

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

Научно-практический центр  
по механизации сельского хозяйства

# **МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Межведомственный тематический сборник

*Основан в 1968 году*

**Выпуск 55**

Минск  
«Беларуская навука»  
2022

УДК [631.171+633/635+636]:631.152.2(085)

В сборнике опубликованы основные результаты исследований по разработке инновационных технологий и технических средств для их реализации при производстве продукции растениеводства и животноводства, рассмотрены вопросы технического сервиса машин и оборудования, использования топливно-энергетических ресурсов, разработки и применения энергосберегающих технологий, электрификации и автоматизации.

Материалы сборника будут полезны сотрудникам научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро, специалистам хозяйств, студентам учреждений высшего образования и колледжей аграрного профиля.

Редакционная коллегия:

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси  
П. П. Казакевич (главный редактор);  
кандидат сельскохозяйственных наук Д. И. Комлач (заместитель главного редактора);  
доктор технических наук, доцент, член-корреспондент НАН Беларуси В. В. Азаренко;  
доктор технических наук, профессор, член-корреспондент УААН В. И. Кравчук (Украина);  
доктор технических наук, профессор, академик РАН Н. М. Морозов (Российская Федерация);  
доктора технических наук профессора В. Н. Дашков, В. О. Китиков, Я. П. Лобачевский (Российская Федерация),  
В. Романюк (Республика Польша), П. А. Савиных (Российская Федерация),  
В. И. Передня, Л. Я. Степук, В. П. Чеботарев, И. Н. Шило;  
кандидаты технических наук доценты Н. Г. Бакач, А. А. Жешко, В. К. Клыбик, Н. Д. Лепешкин, Ю. Л. Салапура;  
кандидаты технических наук А. Н. Юрин, В. В. Голдыбан, Н. Ф. Капустин, Э. В. Дыба, А. Н. Перепечаев;  
кандидат экономических наук А. В. Ленский

Рецензенты:

доктор технических наук, доцент, член-корреспондент НАН Беларуси В. В. Азаренко;  
доктора технических наук профессора В. Н. Дашков, В. И. Передня, В. О. Китиков,  
Л. Я. Степук, В. П. Чеботарев, И. Н. Шило, В. И. Володкевич

Приказом Председателя Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 4 июля 2005 г. № 101 межведомственный тематический сборник «Механизация и электрификация сельского хозяйства» (РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства») включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам.

**Д. И. Комлач<sup>1</sup>, В. Н. Дашков<sup>2</sup>, А. С. Воробей<sup>1</sup>, М. Н. Трибуналов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: labpotato@mail.ru

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: kaf.tia@bsaty.by

## **ОБНАРУЖЕНИЕ ОПАСНЫХ ЗОН ПОВРЕЖДАЕМОСТИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ СЕРИЙНЫХ МАШИН ДЛЯ УБОРКИ И ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ДОРАБОТКИ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО АНАЛИЗИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА**

*Аннотация.* В статье определены опасные зоны возникновения механических повреждений клубней картофеля серийных машин для уборки и послеуборочной доработки с помощью электронного анализирующего устройства.

*Ключевые слова:* клубни картофеля, механические повреждения, опасные зоны, рабочие органы, электронное анализирующее устройство.

**D. I. Komlach<sup>1</sup>, V. N. Dashkov<sup>2</sup>, A. S. Verabei<sup>1</sup>, M. N. Tribunalov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: labpotato@mail.ru

<sup>2</sup>EI "Belarusian State Technological Agrarian University"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: kaf.tia@bsaty.by

## **DISCOVERY DAMAGES ZONES DAMAGEABILITY THE TUBER OF POTATOES SERIALY PRODUCED OF MACHINES FOR HAVERST AND POSTHARVEST REVISION WITH HELP ELECTRONIC ANALYZE DEVICE**

*Abstract.* In article were determined damages zones to discovery damageability the tubers of potatoes serially produced of machines for harvest and postharvest revision with help electronic analyze device.

*Keywords:* the tubers of potatoes, mechanical damages, damages zones, working organs, electronic analyze device.

### **Введение**

Картофель является одним из основных продуктов питания в рационе многих людей во всем мире и занимает второе место после риса по степени широкомасштабного глобального распространения. По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь в 2020 г. в сельскохозяйственных и фермерских хозяйствах при возделывании на территории площадью 25,4 тыс. га собрано 913,6 тыс. т картофеля при средней его урожайности 282 ц/га [1].

Картофель используется в трех направлениях: столовом (использование для питания, а также изготовление из него продуктов переработки), техническом (использование с содержанием крахмала более 18 % в производстве) и кормовом (производство с повышенным содержанием протеина).

Общий тоннаж картофелехранилищ республики составляет 775 тыс. т. Это позволяет в полном объеме обеспечить хранение картофеля до момента наиболее экономически выгодной его реализации и, в свою очередь, дает возможность дополнительно зарабатывать не менее 2000 руб. на 1 т картофеля, заложенного в хранилище.

### Основная часть

Потери картофеля от механических повреждений – актуальная проблема в его производстве. Они приносят наибольший ущерб. Различают потери возвратимые и невозвратимые (естественная убыль массы). Из общего количества убранного в 2020 г. картофеля в общественном секторе невозвратимые потери составили 54,8 тыс. т, что в процентном выражении при минимальной закупочной цене картофеля за 1 т, равной 450 руб., составляет более 24,6 млн бел. руб., или почти 9,5 млн долл. США.

Потери при хранении как контейнерным, так и навалым способом во многом определяются факторами выращивания картофеля. Большое влияние на естественную убыль массы оказывает выбор срока уборки. Для многих сортов задержка уборки оказывает большее отрицательное влияние на потери при хранении, чем преждевременная уборка.

ВВП Республики Беларусь в 2020 г. составил 147 млрд бел. руб. Из них до 8 % дает сельское хозяйство. В денежном выражении – около 11,76 млрд бел. руб. В масштабе отрасли картофелеводства Республики Беларусь механические повреждения наносят огромный ущерб, что в целом говорит об актуальности решаемой народнохозяйственной проблемы.

В РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» в лаборатории механизации производства овощей и корнеклубнеплодов разработано электронное анализирующее устройство для обнаружения и предупреждения опасных зон возникновения механических повреждений клубней картофеля комплекса серийных машин для уборки и послеуборочной доработки.

По статистике потери урожая картофеля достигают 25–30 %. Из них при механизированной уборке – до 13 %, при погрузочно-разгрузочных работах и транспортировке – до 3–6, при хранении и сортировке – до 7–20 % [2].

Главным образом эти потери связаны с механическими повреждениями клубней картофеля. В процессе механизированных уборочных работ клубни картофеля получают механические внутренние и внешние повреждения от воздействия рабочих органов картофелеуборочных машин. Количество наносимых повреждений зависит как от конструктивных особенностей рабочих органов, так и от соответствия их кинематических параметров и режимов условиям работы, сложившимся на момент уборки. Неправильно отрегулированный картофелеуборочный комбайн в процессе работы может повреждать более 60 % клубней, что говорит о необходимости периодического контроля качества убираемого картофеля с целью вмешательства в процесс уборки.

Внешний вид корпуса электронного анализирующего устройства и схематическое расположение основных комплектующих в корпусе показаны на рис. 1. Электронное анализирующее

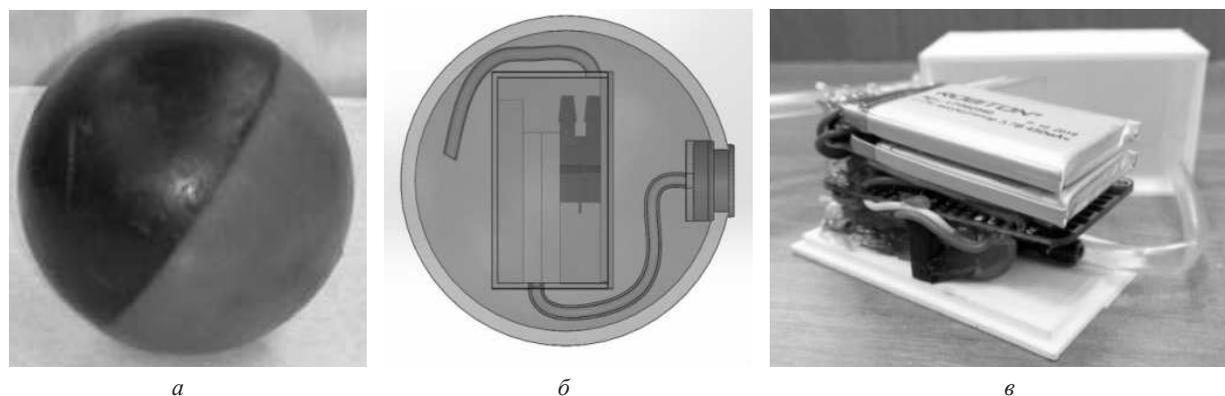


Рис. 1. Электронное анализирующее устройство: *а* – внешний вид корпуса; *б* – схематическое расположение основных комплектующих в корпусе; *в* – комплектующие программного обеспечения

устройство помещается в сферический корпус из эластичного материала, заполненный силиконовым маслом для передачи давления.

Принцип действия электронного анализирующего устройства как объекта управления заключается в следующем.

Объект управления механически связан с датчиком давления, аналоговый сигнал от которого поступает на вычислительный модуль, одновременно принимающий цифровые данные от барометрического датчика. Обработанные данные он передает по цифровому интерфейсу на коммуникационный модуль и с его помощью – удаленному оператору, который в режиме реального времени анализирует состояние искусственного картофеля.

Разработанное программно-аппаратное обеспечение позволяет в режиме реального времени определять внешние нагрузки на клубни картофеля в процессе уборки и послеуборочной доработки и в случае превышения допустимых значений мгновенно информировать об этом оператора.

На рис. 2 приведен пример обнаружения электронным анализирующим устройством возникновения опасных зон механических повреждений клубней картофеля при уборке.

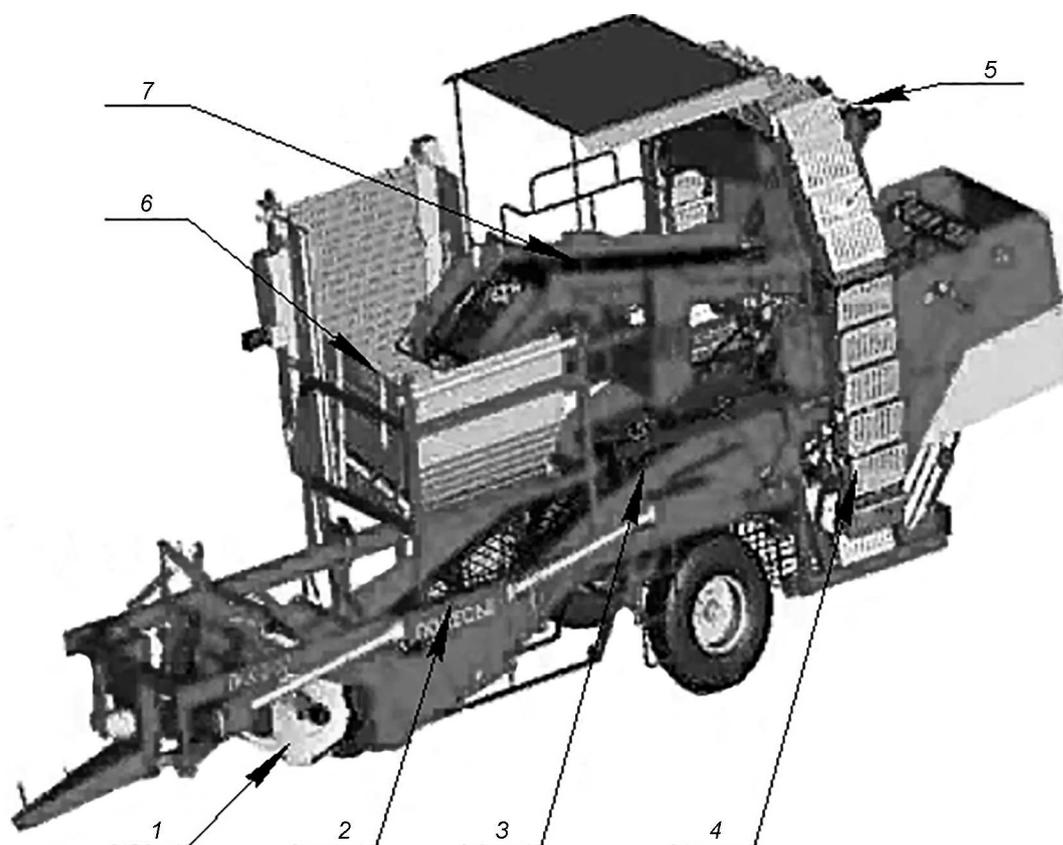


Рис. 2. Опасные зоны картофелеуборочного комбайна: 1 – подкапывающая часть; 2 – элеватор; 3 – встряхиватель; 4 – выгрузной транспортер; 5 – наклонная горка; 6 – приемный бункер; 7 – подающий транспортер

Проанализировав опасные зоны возникновения механических повреждений в картофелеуборочном комбайне, можно сделать вывод, что наибольшее количество механических повреждений в виде ушибов происходит при взаимодействии клубней картофеля с подкапывающими рабочими органами и в задней части бункера (рис. 3).

Доработку клубней начинают при приемке их с поля и загрузке в хранилища и заканчивают в период выгрузки после хранения. Для проведения этих работ необходимо использовать специализированные машины и устройства.



Рис. 3. Диаграмма взаимодействия электронного анализирующего устройства с рабочими органами картофелеуборочного комбайна ПКК-2-05 (опыт производился с четырехкратной повторностью)

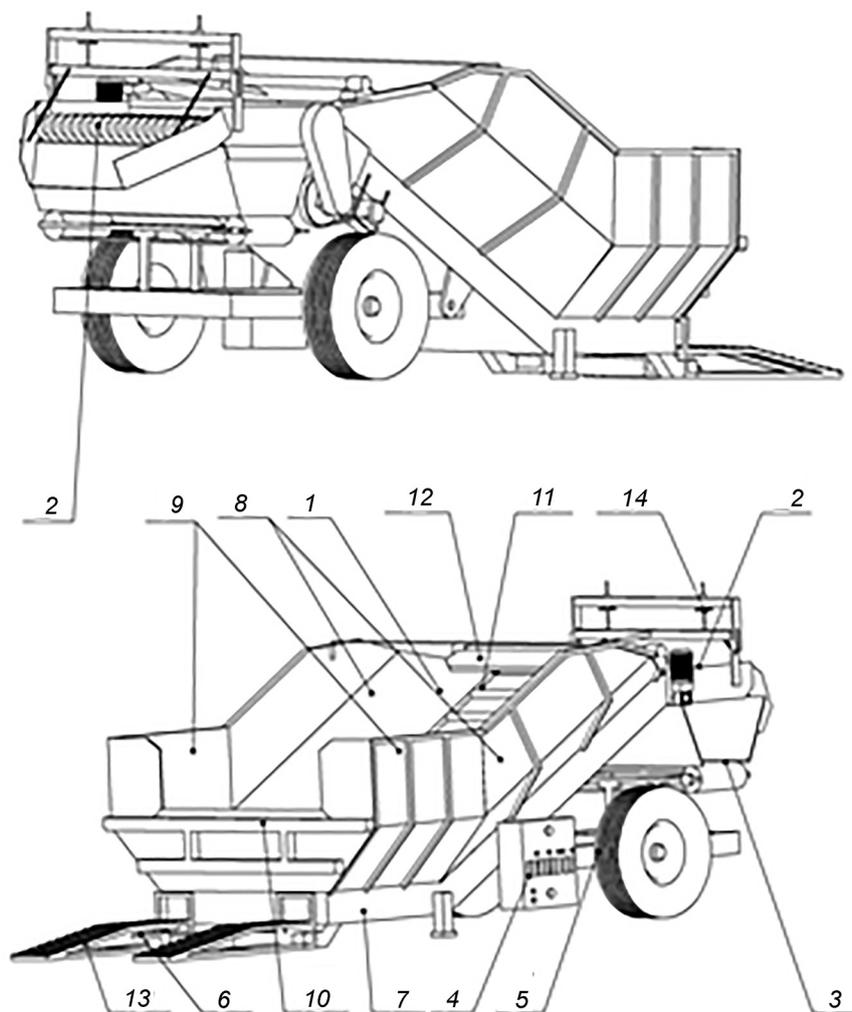


Рис. 4. Приемный бункер: 1 – рамы; 2 – ворохоочиститель; 3 – выносной конвейер; 4 – шкаф управления; 5 – шасси; 6 – прицепное устройство; 7 – основание; 8 – верхний борт; 9 – нижний борт; 10 – ограждение; 11 – подвижное дно; 12 – шибер; 13 – въездные пандусы; 14 – винтовой механизм

Для приема обрабатываемого продукта из саморазгружающихся транспортных средств, отделения примесей, почвы и растительных остатков, подачи продукции на телескопический конвейер и загрузчик телескопический используют приемно-сортировальные бункера типа БПВ-40 (рис. 4).

С целью минимизации повреждения продукции на бункерах приемных должны устанавливаться спиральные полиуретановые рабочие органы, которые, в отличие от металлических, не травмируют продукт, не забиваются камнями, растительными остатками, почвой.

Во избежание травмирования клубней картофеля рабочими органами приемного бункера необходимо производить следующие настройки:

- въездные пандусы *13* бункера устанавливаются на высоту верхнего барьера таким образом, чтобы рама самосвального транспортного средства была выше ограждения *10*, что предотвращает потери при выгрузке;

- скорость движения подвижного дна регулируется изменением режима работы приводного электродвигателя и должна находиться в пределах 0,4–0,6 м/с;

- выбор скорости подвижного дна бункера-дозатора и скорости ворохоочистителя осуществляется со шкафа управления *4* в зависимости от загрузки бункера, которая должна быть равномерной.

Перед началом работы необходимо отрегулировать режим работы ворохоочистителя таким образом, чтобы продукция очищалась на самом последнем этапе, а не раньше. Для этого предусмотрены следующие регулировки:

- скорость подачи из бункера дозатора;
- скорость вращения спиральных валцов;
- угол наклона сита ворохоочистителя.

Угол наклона сита ворохоочистителя устанавливается с помощью винтового механизма *14*. При регулировке нельзя допускать перекося. Минимальный угол наклона устанавливается при наличии значительных примесей в поступающем ворохе.

В целом, используя электронное анализирующее устройство, можно свести механические повреждения клубней картофеля к минимуму, за счет чего производитель получит больший экономический эффект от его реализации.

### **Заключение**

На основании результатов исследований разработаны методические рекомендации с целью обучения инженерно-технических работников сельскохозяйственных предприятий современным научно обоснованным методам подбора рабочих режимов работы машин для уборки и послеуборочной доработки картофеля, обеспечивающих сохранность продукции.

Для настройки новой и регулировки эксплуатируемой в хозяйствах техники для производства картофеля с целью минимизации потерь продукции и ее сохранности предложено использовать разработанное электронное анализирующее устройство.

### **Список использованных источников**

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь : статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2020. – 211 с.
2. Машинные технологии и техника для производства картофеля / С. С. Туболев [и др.] ; под общ. ред. Н. Н. Колчина. – М. : Агроспас, 2010. – 311 с.

**Д. И. Комлач, В. В. Голдыбан, М. И. Курилович**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: labpotato@mail.ru*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МИНЕРАЛЬНЫХ ПОЧВ**

*Аннотация.* В статье предложены методика и оборудование для исследования адгезионных сил на границе соприкосновения рабочих поверхностей сельскохозяйственных машин с почвой. Принципиальной особенностью установки является возможность определения давления поровой воды в уплотненной почве.

*Ключевые слова:* почва, адгезия, матричный потенциал, давление поровой воды тензиометр, земледельческая механика, экспериментальный прибор.

**D. I. Komlach, V. V. Goldyban, M. I. Kurylovich**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: labpotato@mail.ru*

## **RESEACH OF BIONIC PRINCIPLES IN SOLVING PROBLEMS OF TILLAGE MECHANICS**

*Abstract.* The article proposes a methodology and equipment for the study of adhesive forces at the contact boundary of the working surfaces of agricultural machines with the soil. The principal feature of the installation is the ability to determine the pressure of pore water in the soil of the soil when it is loaded.

*Keywords:* soil, adhesion, matrix potential, pore water pressure tensiometer, experimental device, tillage mechanics.

### **Введение**

При возделывании пропашных культур между грунтом и рабочими поверхностями почвообрабатывающих и посадочных машин возникают силы адгезионного взаимодействия. Возникающая почвенная адгезия увеличивает рабочее сопротивление и потребление энергии, способствует налипанию почвы на основные рабочие органы, снижая качество заделки посадочного материала и скорость его прорастания.

По современным представлениям почвенная адгезия обуславливается наличием пленок связанной воды, способных одновременно взаимодействовать с минеральными и органоминеральными частицами почвы и поверхностями соприкасающихся с ними рабочих органов. До достижения предела адгезии связанная вода удерживается со значительной силой вокруг почвенных частиц и поэтому не способна вступать во взаимодействие с другими телами. При влажности, превышающей пределы адгезии, почвенные частицы окружены такими оболочками связанной воды, у которых периферийная часть оказывается способной реагировать на воздействие посторонних тел.

### **Основная часть**

Для перемещения жидкостей в качестве ключевого процесса для развития адгезионных напряжений должен присутствовать гидравлический градиент. Этот градиент в значительной степени определяется матричным потенциалом воды.

Адгезионные напряжения и матричный потенциал почвы следует рассматривать как основные адгезионные характеристики минеральных почв при контактном взаимодействии с рабочими поверхностями сельскохозяйственных орудий. Для их определения нами разработан прибор, внешний вид которой представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид прибора для определения адгезионных характеристик почвы: 1 – рама; 2 – чаша; 3 – шток с уплотняющим диском; 4 – тензодатчик; 5 – тензиометры; 6 – электродвигатель привода чаши; 7 – многоканальный регистратор данных; 8 – индикатор перемещений часового типа; 9 – блок питания; 10 – эксикатор; 11 – молоток Проктера; 12 – почвенный бур

Адгезионные напряжения характеризуются отношением усилия отрыва металлической поверхности к площади ее контакта с почвой и имеют размерность  $\text{Н/м}^2$ , что численно равно 1 Па.

Матричный потенциал воды определяется через давление поровой воды, которое измеряется также в Паскалях. Давление поровой воды величина отрицательная, поскольку необходима работа положительного знака по его преодолению.

Прибор для определения адгезионных характеристик представляет собой раму, на которой закреплены основные его элементы: чаша с исследуемой почвой, прижимной диск с направляющей, механическое приводное устройство для перемещения чаши в вертикальном направлении, тензодатчик CAS 50L, блок питания и тензиометрический комплекс.

Основные элементы чаши для испытаний на адгезию выполнены из пластика с помощью аддитивных технологий. Чаша состоит из цилиндрической обоймы диаметром 9,0 см и высотой 4,9 см, закрепленной между верхним и нижним фиксирующими кольцами.

Нижнее фиксирующее кольцо закреплено в опорной плите. Вертикальное перемещение опорной плиты осуществляется винтовым механизмом посредством электродвигателя и тихоходного редуктора.

Для измерения порового давления воды в чаше выполнены три отверстия, в которых закреплены три направляющие втулки. Через сквозные отверстия диаметром 6 мм во втулках в чашу помещают для определения матричного потенциала на различной глубине минитензиометры (см. рис. 1, 2):

- тензиометр 1 – верхнее отверстие, 1,6 см под поверхностью образца;
- тензиометр 2 – среднее отверстие, 2,4 см под поверхностью образца;
- тензиометр 3 – нижнее отверстие, 3,2 см под поверхностью образца.

Диаметр измерительной трубки тензиометра составляет 5 мм, длина – 20 см. Точность измерения достигает  $\pm 0,5 \text{ кН/м}^2$ .

Один конец тензиометра (см. рис. 2) состоит из керамической пористой мембраны, которая соединена через наполненный водой трубку с датчиком давления (манометром). Эта мембрана является водопроницаемой, но не воздухопроницаемой.



Рис. 2. Минитензиометр Т 5 METER Group (Германия)

В гигроскопичной среде, например, в ненасыщенной глине, между окружающей средой и водой внутри тензиометра существует разница в давлении в мембране. Это вызывает напряжение всасывания в воде внутри тензиометра, которое измеряется как отрицательное давление воды.

Тензиометры подключаются к многоканальному регистратору данных DL6 компании Delta-T Devices Ltd (Кембридж, Англия). Съем данных и их визуализации осуществляются с помощью компьютера и приложения DeltaLINK.

На рис. 3 приведен пример изменения порового давления воды в нагруженном образце почвы влажностью 17 %. Как видно из графика, при внешней нагрузке 5,5 кПа в почве происходит увеличение давление поровой воды для верхнего и нижнего тензиометров на 79 кПа: с 6,4 до 85,4 кПа и с 10,9 кПа до 89,5 кПа соответственно.

После снятия нагрузки матричный потенциал воды увеличивается до своего первоначального состояния, когда нагрузка отсутствовала (становится меньше абсолютное значение отрицательного давления воды).

Изменение матричного потенциала воды на величину 79 кПа характеризует энергетическое состояние воды в почве в момент ее сжатия, а также суммарное действие на воду адсорбционных, капиллярных, осмотических и гравитационных силовых полей.

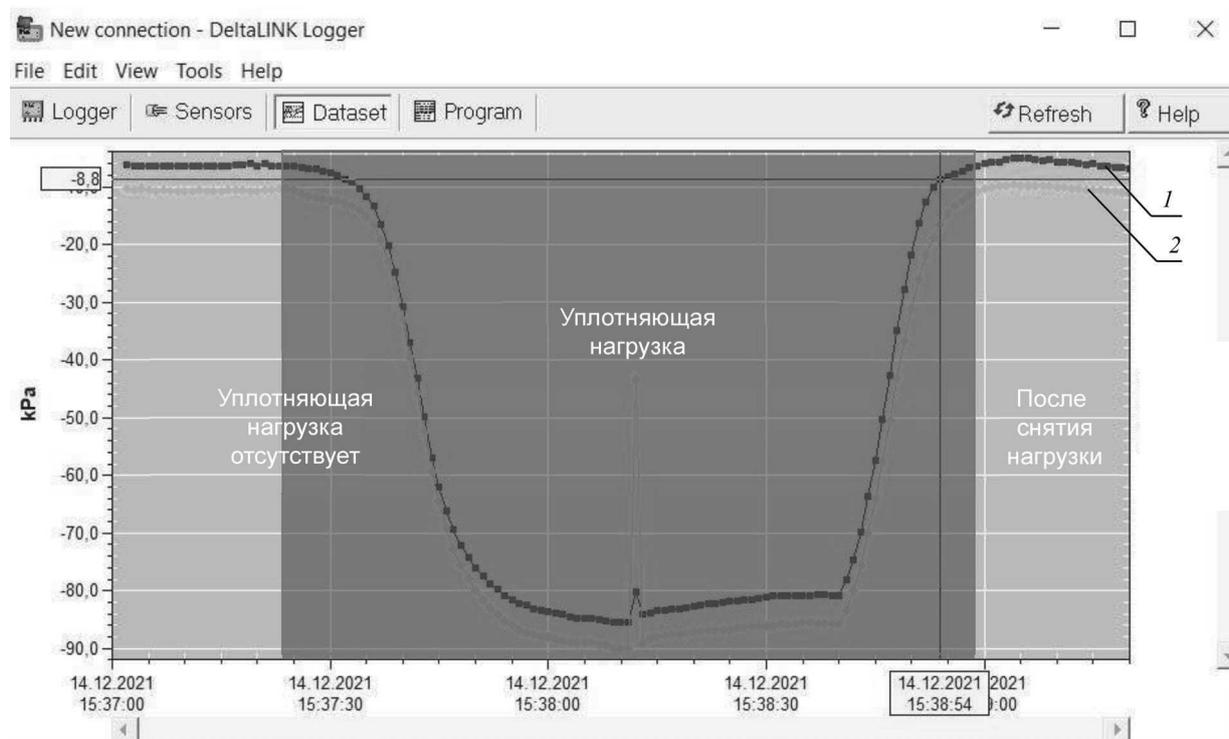


Рис. 3. Изменения матричного потенциала воды.  
Показания тензиометра: 1 – верхнего ( $h = 1,6$  см); 2 – нижнего ( $h = 3,2$  см)

Методика проведения исследований на предлагаемом приборе следующая. Почва перед испытанием должна быть смочена водой, перемешана и выдержана в эксикаторе в течение суток. Для изменения влажности почвы в предварительно высушенную почву добавляется дистиллированная вода.

Влажность почвы в каждом опыте определяется весовым методом согласно ГОСТ 28268-89 «Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопичной влажности и влажности устойчивого завядания растений» с точностью до двух знаков после запятой.

Образец почвы помещается в чашу и уплотняется с помощью молотка Проктера (см. рис. 1: 11) посредством веса груза массой 500 г, поднятого на высоту 40 см и совершающего свободное падение с повторностью 10 раз.

После уплотнения лишняя часть грунта срезается за под лицо с чашей и удаляется, а оставшаяся в чаше часть грунта разравнивается стальным шпателем.

Для имитации поверхности материала, контактирующей с образцами почвы, используется металлический прижимной диск диаметром 8,4 см.

Далее чаша устанавливается в нижнюю обойму. К диску прикладывается прижимная нагрузка 5–25 кг (для диска диаметром 8,4 см нагрузка составляет 9–45 кПа), что соответствует удельному давлению тяжелосуглинистых почв на рабочие поверхности почвообрабатывающих орудий.

Скорость приложения сжимающей и растягивающего усилия составляет 4 мм/мин и может меняться в ту или иную сторону с помощью блока питания (см. рис. 1). Каждый опыт должен проводиться с трехкратной повторностью.

Ниже приведем результаты исследований (см. таблицу) адгезионных характеристик по предлагаемой методике для суглинистых почв Молодечненского района Минской области (д. Дуброво).

**Удельные значения напряжения адгезии, кПа**

Влажность почвы, %	Уплотняющая нагрузка, кПа				
	9	18	27	36	45
14,39	2,3	2,4	2,5	2,7	3
16,70	2,9	3	3,1	3,8	4,1
19,87	3,0	3,2	2,9	4,3	4,8
20,62	3,1	3,4	0	0	0
21,22	2,9	0	0	0	0
22,31	0	0	0	0	0

Как видно из таблицы, с увеличением влажности исследуемого грунта от 14 до 20 % для всего диапазона прижимающих нагрузок напряжение адгезии почвы с металлической поверхностью изменяется от 2,3 до 4,8 кПа, т. е. сцепляемость грунта с металлической поверхностью увеличивается. При влажности почвы ниже 14 % и свыше 22 % адгезии почвы к металлическим поверхностям не наблюдается.

### **Заключение**

Предложенные в статье методика и оборудование позволяют определить основные адгезионные характеристики минеральных почв при взаимодействии с металлическими поверхностями и объяснить отдельные явления, происходящие в почве при ее деформировании в процессе обработки.

**Д. И. Комлач<sup>1</sup>, В. В. Азаренко<sup>2</sup>, Д. А. Григорьев<sup>3</sup>, С. А. Гецман<sup>3</sup>,  
Е. Л. Жилич<sup>1</sup>, А. А. Кувшинов<sup>1</sup>, Ю. Н. Рогальская<sup>1</sup>, В. С. Журко<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: npc\_mol@mail.ru*

*<sup>2</sup>Президиум Национальной академии наук Беларуси*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: azarenko@presidium.bas-net.by*

*<sup>3</sup>ООО «Полиэфир АГРО»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: orgpr@mail.ru*

### **ВЫЯВЛЕНИЕ ПОЛОВОЙ ОХОТЫ У КОРОВ СРЕДСТВАМИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ИКФС «МАЙСТАР»**

*Аннотация.* В статье дана общая характеристика используемых в Республике Беларусь систем идентификации и измерения хозяйственно-биологических параметров коров. Приведены результаты испытания системы идентификации и контроля физиологического состояния животных ИКФС «МАЙСТАР», разработанной РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с отечественным производителем оборудования для молочно-товарных ферм ООО «Полиэфир АГРО». Сделан сравнительный анализ функциональных возможностей и эксплуатационных характеристик испытываемой системы с аналогичным по назначению оборудованием зарубежного производства. Сравнительные испытания показали, что отечественный программно-аппаратный комплекс не уступает по основным технико-технологическим характеристикам, а по некоторым эксплуатационным показателям превосходит зарубежный аналог. Испытания показали возможность эффективного использования системы для достоверного выявления коров в охоте путем анализа показателей двигательной активности, количества прыжков и руминации. Разработанная система адаптивна к технологии производства молока на ферме и физиологическим особенностям животных.

*Ключевые слова:* адаптивные системы, идентификация коров, контроль физиологического состояния животных, транспондер, программно-аппаратный комплекс, управление стадом, хозяйственно-биологические параметры коров, двигательная активность, руминация, прыжки.

**D. I. Komlach<sup>1</sup>, V. V. Azarenka<sup>2</sup>, D. A. Grigoriev<sup>3</sup>, S. A. Getsman<sup>3</sup>,  
E. L. Zhilich<sup>1</sup>, A. A. Kuvshinov<sup>1</sup>, Yu. N. Rogalskaya<sup>1</sup>, V. S. Zhurko<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: npc\_mol@mail.ru*

*<sup>2</sup>Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: azarenko@presidium.bas-net.by*

*<sup>3</sup>LLC "Polyether AGRO"*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: orgpr@mail.ru*

### **IDENTIFICATION OF COW ESTRUS BY MEANS OF THE IMPC "MAYSTAR" HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX**

*Abstract.* The general characteristic of systems used in the Republic of Belarus to identify and measure technological and biological parameters of cows in article are gives. The results of testing the system IMPC "MAYSTAR" of identification and control of the physiological state of animals are presented. The system was

developed by the Republican Unitary Enterprise "Research and Production Center of the National Academy of Sciences of Belarus on Agricultural Mechanization" together with the manufacturer of equipment for dairy farms LLC "Polyether AGRO". Comparative tests have shown that the hardware-software complex IMPC "MAYSTAR" is not inferior in basic technical and technological characteristics to a similar complex produced by ALLFLEX (SCR). Tests have shown that the system can be used effectively to reliably detect cows in the hunt by analyzing the indicators of motor activity, number of jumps and rumination. The system is adaptive to the technology of milk production on the farm and physiological characteristics of cows.

*Keywords:* adaptive systems, cow identification, control of the physiological condition of animals, transponder, hardware-software system, herd management, production-biological parameters of cows, movement activity, rumination, jumping.

## Введение

В настоящее время в мировой практике молочного скотоводства все большее значение придается контролю физиологического состояния животных, который осуществляется при помощи адаптивных систем идентификации и измерения хозяйственно-биологических параметров коров. Такие системы, как правило, интегрированы с доильным оборудованием. При этом удельный вес средств электронной идентификации и компьютеризированной системы управления стадом в общей стоимости оборудования достигает 70 % [1]. Применение распределительных систем идентификации и контроля предусматривает использование индивидуальных трансиверов (транспондеров), а также наличие централизованных систем обработки данных, считываемых с транспондеров антеннами, закрепленными в фиксированных местах. Такой подход позволяет проводить комплексную оценку измеренных показателей двигательной активности, руминации, температуры путем их сопоставления с продуктивностью и скоростью молокоотдачи у коров. Ведущие производители оборудования для доения коров и управления стадом стремятся получить полный контроль над каждой коровой путем онлайн регистрации и централизованной обработки полученных данных с последующей выработкой технологических решений, которые направляются непосредственно менеджеру, оператору или специалисту фермы в виде рекомендаций к действию по отношению к конкретной корове.

## Основная часть

Технологии, базирующиеся на электронной идентификации и компьютеризированном учете индивидуальных хозяйственно-биологических параметров животных, успешно претворяются в жизнь ведущими производителями оборудования для животноводства. Ряд производителей предлагает к применению комплексные системы управления движением стада, включающие селекционные ворота, автоматизированное доильное оборудование, измерители потока молока, автоматизированные раздатчики кормов, специальное программное обеспечение, а также аппаратные и программные средства управления (АСУ). Автоматизированные системы управления стадом разрабатываются и поставляются в Республику Беларусь компаниями «DeLaval» (доильный зал MidiLine, Швеция) и «GEA» (доильный зал DairyProQ, Германия), «SCR» (доильный зал ОАО «Гомельагрокомплект», Израиль), «Dairymaster» (Ирландия). Информация обрабатывается программой управления фермой, что обеспечивает полный контроль над всеми технологическими и физиологическими процессами. Обмен данными осуществляется в режиме реального времени [2].

В качестве базового устройства используются трансиверы, которые осуществляют обмен данными с программой управления фермой и обеспечивают полный контроль над всеми технологическими и физиологическими процессами.

Системы интегрированного управления производственными процессами зарубежного производства могут функционировать только в комплекте с фирменными контролерами для отдельных технологических операций, что практически исключает возможность модернизации оборудования без постоянной замены комплектующих. Кроме того, сбор и анализ информации о надоях, потреблении корма, показателях воспроизводства осуществляются согласно стандартам стран производителей. Системы управления не формируют базу данных, пригодную для использования в отечественных автоматизированных программах крупномасштабной селекции [3].

Информационное обеспечение технологических процессов молочного предприятия является важнейшим показателем уровня его технического развития. Информатизация, являясь основой перспективного развития современной молочной индустрии, обеспечивает технологические и экономические преимущества, которых невозможно достичь при традиционной организации производства. Углубление уровня информатизации и автоматизации в молочном скотоводстве имеет огромное значение, проявляющееся через повышение производительности труда, улучшение качества молочных продуктов, оптимальное использование производственных ресурсов и др.

Информатизация и автоматизация меняют качество труда, упрощая его физически и делая более содержательным, высвобождает сотрудников, занятых на трудоемких и зачастую неквалифицированных работах. В то же время развитие информационного обеспечения и автоматизированных систем управления процессами предъявляет повышенные требования к уровню технической подготовки специалистов и персонала.

С целью повышения уровня информационного обеспечения и автоматизации технологических процессов на молочно-товарных фермах, лабораторией механизации процессов производства молока и говядины РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с ООО «Полиэфир АГРО» разработан и создан программно-аппаратный комплекс системы идентификации и контроля физиологического состояния животных (ИКФС «МАЙСТАР»).

Комплекс предназначен для автоматического сбора сведений о физиологическом состоянии и хозяйственно-биологических параметрах животных, программный анализ полученных данных, которые предоставляются пользователю через интерфейс компьютерной программы в простом для восприятия виде, через удобную в использовании систему отчетов и графиков, а также в виде конкретных предупреждений и рекомендаций к действию.

Система идентификации и контроля физиологического состояния животных (ИКФС) работает как автономно, так и совместно с автоматизированной системой доильного зала. ИКФС состоит из транспондеров, закрепленных на ошейниках коров, приемников и компьютерной программы, обрабатывающей полученные данные. ИКФС обеспечивает централизованный компьютерный учет и систематизацию полученных данных о состоянии и параметрах коров, контроль над физиологическими показателями каждого животного в стаде, группировку их по различным показателям, отслеживание динамики влияния факторов и мероприятий.

В качестве основного элемента системы используются индивидуальный датчик – трансивер (транспондер). Транспондер производства ООО «Полиэфир АГРО» – идентификационное устройство с большим набором функций. Транспондер устанавливается на ремне ошейника коровы и обеспечивает непосредственное измерение физиологических параметров животного, первичную обработку и обмен данными с системой через приемные антенны, расположенные в помещениях фермы и на выгулах.

Базовая функция транспондера – идентификация коровы в доильном зале, селекционном устройстве, кормовой станции и др. Каждый транспондер имеет собственный уникальный номер. Транспондер также предназначен для снятия, формирования и передачи данных о физиологическом состоянии животного, а именно о двигательной активности, прыжках, руминации и температуре. Он позволяет осуществлять передачу данных в реальном времени, имеет внутреннюю память, возможность заряда внутренней батареи и проверки уровня ее заряда в отчетах программы ПК «МАЙСТАР». Транспондер нечувствителен к помехам из окружающей среды и внешних источников. Срок службы данного устройства при соблюдении простых правил эксплуатации составляет 8 лет.

ИКФС обеспечивает выявление охоты 24/7 с отображением оптимального времени для осеменения, а также отслеживает поведение (стояние, лежание, движение) и жвачку, по которым можно определять факторы, влияющие на продуктивность и здоровье коров. Адаптивность системы обеспечивается не только за счет технических параметров измерительных элементов транспондера, но и обусловлена широкими возможностями программного обеспечения. Собственный электронный модуль транспондера обеспечивает накопление, первичную обработку измеряемых показателей и периодическую передачу в виде компактного пакета информации при минимальных энергозатратах, что позволяет увеличить срок эксплуатации системы. При этом

транспондер производства ООО «Полиэфир АГРО» имеет важное преимущество, которое заключается в возможности периодической подзарядки при помощи беспроводного устройства.

Сравнительные испытания ИКФС «МАЙСТАР» проводились на базе молочно-товарного комплекса «Заболоть» УО СПК «Путришки» Гродненского района. В ходе испытаний показатели системы сравнивались с показателями системы зарубежного производителя ALLFLEX (SCR), широко применяемой на предприятиях Республики Беларусь. Система имеет большой спектр технологических возможностей, позволяет достоверно выявлять половую охоту у коров, контролировать состояние и поведение животных и может быть использована в качестве объекта для сравнения.

Для проведения сравнительных испытаний была отобрана опытная группа из 17 здоровых новотельных коров, аналогичных по своим хозяйственно-биологическим параметрам и сроку хозяйственного использования. Транспондеры ИКФС «МАЙСТАР» и Heatime ALLFLEX (SCR) были закреплены на отдельных ошейниках коров. Приемники обеих систем были размещены в коровниках комплекса в аналогичных для приема данных условиях. Взаимного влияния сигналов транспондеров различных систем в ходе исследования не наблюдалось. Обе системы работали в штатном режиме и обеспечивали свои функции в соответствии с техническими характеристиками. Сравнение эффективности работы двух систем проводилось путем анализа информации с двух программ управления стадом и первичной информации зоотехнического учета на исследуемой ферме.

По результатам сравнительных испытаний было установлено, что обе системы обеспечивают достоверное выявление половой охоты у коров, которая подтверждалась данными об осеменении в первичной документации и результатами опроса специалистов и персонала фермы. По утверждению сотрудников, предупреждения, выданные компьютерными программами обеих систем, совпадали с результатами визуального наблюдения за животными, которые в активной фазе стадии полового возбуждения демонтировали повышенную двигательную активность, а в дальнейшем проявляли рефлекс неподвижности. Оценка качества выделений из половых путей исследуемых животных также подтверждала достоверность определения половой охоты у подопытных коров каждой из сравниваемых систем. Отсутствие полового возбуждения в соответствующий период следующего полового цикла и полученные позже положительные результаты диагностики стельности также косвенно свидетельствуют о достоверности определения половой охоты у подопытных животных.

Для оценки достоверности выявления охоты у коров были проанализированы графики двигательной активности и руминации по обеим системам, а в системе ИКФС «МАЙСТАР» дополнительно использовался график количества прыжков. В ходе испытаний анализировались и сравнивались отклонения указанных показателей, которые в период полового возбуждения на графиках двух систем четко обозначались в виде так называемого ромба, состоящего из высокого пика двигательной активности и ярко выраженного минимума на графике руминации. На рис. 1, 2 показаны графики двигательной активности и руминации одной из подопытных коров в аналогичный период времени на ПО «МАЙСТАР» и ПО Data Flow 2.

График позволяет провести детальный анализ изменения измеряемых показателей и определить наиболее благоприятное время для осеменения, которое, по утверждению ряда исследователей, как правило составляет 8–12 ч после пика двигательной активности. Дополнительный контроль достоверности осуществлялся путем анализа периода от предыдущих охот и осеменений, по графикам и отметкам об осеменении в программе управления стадом и первичной документации на ферме.

В то же время, как показали результаты испытаний, при использовании системы ИКФС «МАЙСТАР» в ряде случаев необходимость использования графиков в каждодневной практике техника по искусственному осеменению отпадает, поскольку программа в нескольких местах выдает пользователю предупреждение об наступившей половой охоте. Такие предупреждения пользователь видит при обращении к вкладке «Ежедневник» и непосредственно в основном списке коров стада в виде специальных символов. Результаты наблюдений показали, что такие предупреждения система ИКФС «МАЙСТАР» выдает пользователю на несколько часов раньше,

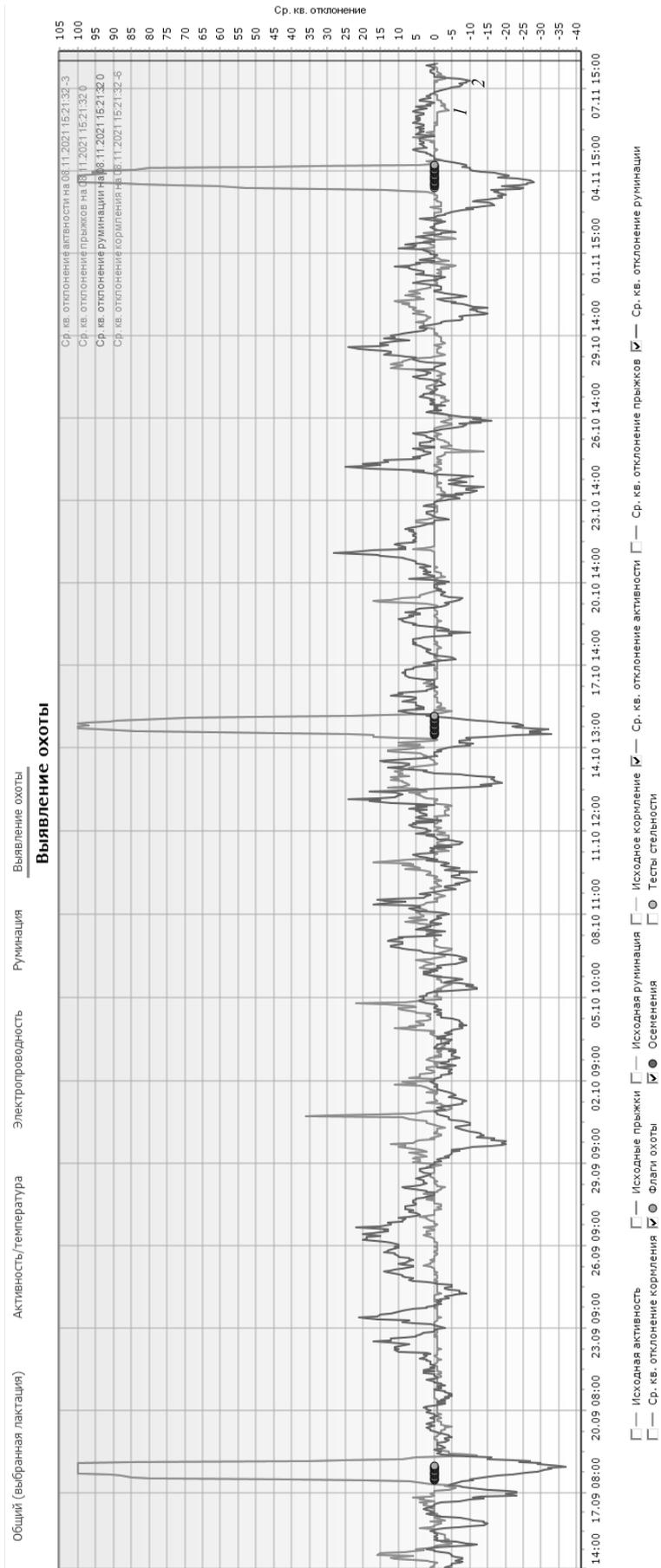


Рис. 1. Окно программы «МАЙСТАР» с графиками двигательной активности и руминации. Среднеквадратичное отклонение: 1 – активности; 2 – руминации

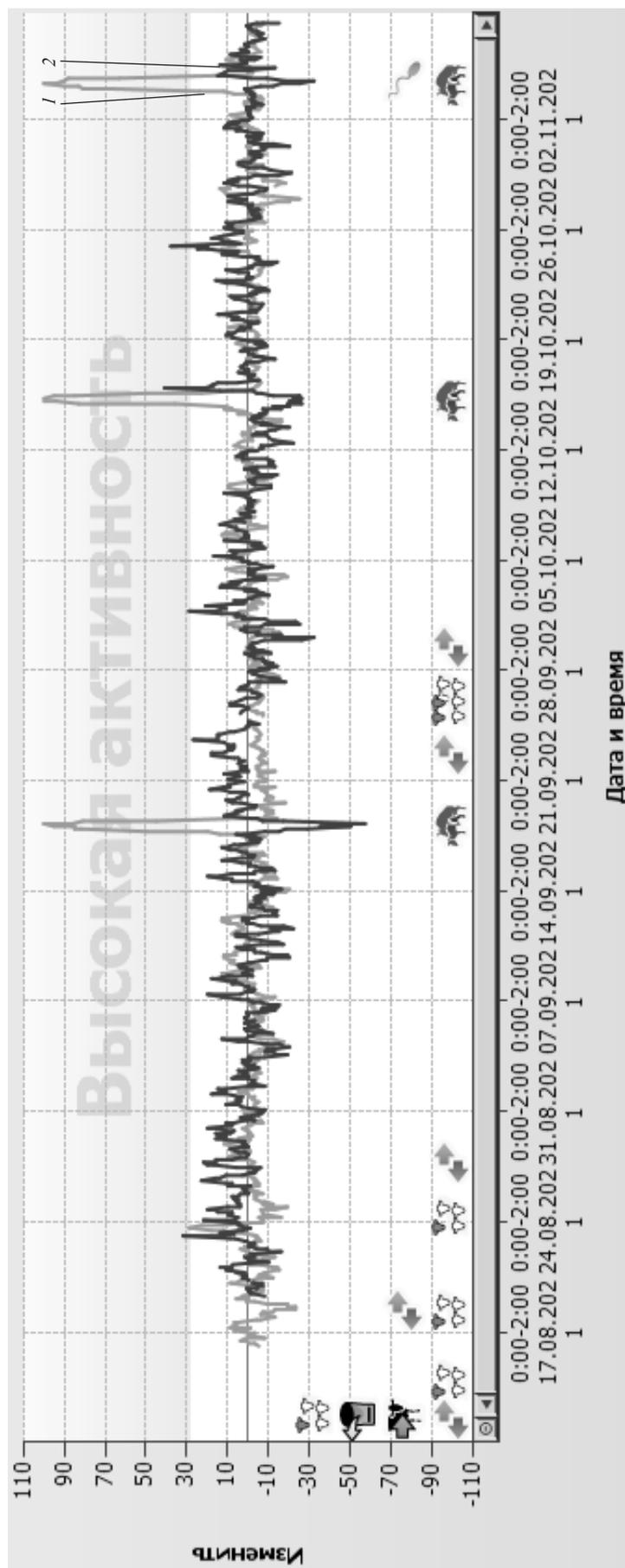


Рис. 2. Окно программы Data Flow 2 с графиками двигательной активности и руминации. Выверенное изменение: 1 – руминации; 2 – активности

чем система, взятая для сравнения. Такой эффект достигается за счет того, что на графиках обеих систем пользователь не видит непосредственных результатов измерений. Программа демонстрирует результат статистической обработки эмпирических данных по специальному алгоритму, который обеспечивает распознавание и сглаживание нетипичных и случайных отклонений и показывает достоверные изменения измеряемых параметров. Оригинальный алгоритм обработки данных в программе ИКФС «МАЙСТАР» обеспечивает более раннее, но не менее достоверное выявление охоты по трем показателям, вместо двух у системы зарубежного производителя. Данное преимущество особенно важно для ферм и комплексов, где коров осеменяют в расположенных в зоне доильного зала социальных боксах, куда животные попадают через селекционные ворота. Такой способ выделения коров по времени привязан к графику доения и графику работы осеменатора, поэтому, в зависимости от времени начала половой охоты, здесь возможно либо слишком раннее, либо слишком позднее осеменение. В данном случае более раннее определение охоты способствует повышению эффективности осеменений.

Таким образом, сравнительные испытания показали, что разработанная лабораторией механизации процессов производства молока и говядины РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с ООО «Полиэфир АГРО» система идентификации и контроля физиологического состояния животных (ИКФС «МАЙСТАР») обеспечивает достоверное определение половой охоты у коров в реальных производственных условиях и является эффективным инструментом, обеспечивающим необходимый уровень воспроизводства стада. Своевременное выявление охоты у коров позволит не только увеличить выход телят и сократить сервис-период, но и за счет повышения эффективности осеменения уменьшить негативные последствия раннего осеменения, к которому вынуждены прибегать специалисты, не имеющие возможности точного определения половой охоты у коров. Возможность осеменения в оптимальные сроки объективно будет способствовать формированию устойчивой кривой лактации по стаду, увеличит производство молока и сократит количество непродуктивных кормонок.

### **Заключение**

В целом ИКФС «МАЙСТАР» представляет собой многофункциональный программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий системную реализацию задач по управлению стадом и организации технологии производства молока. Адаптивность системы определяется возможностью учета индивидуальных показателей каждого животного в контексте сохранения здоровья, увеличения срока хозяйственного использования и повышения продуктивности. Интерфейс программного комплекса прост в обращении, интуитивно понятен для пользователя. Гибкая система отчетов и графиков позволяет отслеживать и анализировать индивидуальные и групповые показатели животных. Программа управления стадом обеспечивает возможность для развития в части расширения функциональных возможностей системы путем формирования новых алгоритмов анализа полученных данных. Разработка новых алгоритмов позволит проводить комплексную оценку здоровья, продуктивности и других хозяйственно полезных качеств животных, необходимую для управления стадом, проведения селекционной работы, правильной организации кормления, трафика животных в рамках поточно-цеховой системы и суточного графика доения, а также более точного и осмысленного принятия операционных решений, которые формируются в виде простых и однозначных рекомендаций к конкретному действию.

### **Список использованных источников**

1. Marinello, F. Application of the Kinect sensor for dynamic soil surface characterization / F. Marinello // Precision Agriculture. – 2015. – Vol. 5. – P. 1–12.
2. Unal, H. Determination of operating parameters in milking robots with free cow traffic / H. Unal, H. Kuraloglu // Engineering for Rural Development. – 2015. – Vol. 14. – P. 100.
3. Тихомиров, И. А. Соблюдение технологии машинного доения – залог повышения качества молока и продуктивного долголетия коров / И. А. Тихомиров, В. К. Скоркин, Т. А. Рахманова // Вестник ВНИИМЖ. – № 4 (28). – 2017. – С. 53–60.

Д. И. Комлач<sup>1</sup>, М. И. Курилович<sup>1</sup>, С. М. Босяков<sup>2</sup>, В. В. Голдыбан<sup>1</sup>

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: labpotato@mail.ru

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: bosiakov@bsu.by

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РАБОЧЕГО ДАВЛЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОТДЕЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СОРТИРОВАЛЬНОЙ МАШИНЫ

*Аннотация.* В статье приведен расчет рабочего давления пневматической системы отделения некондиционных клубней картофеля в сортировальных машинах автоматического типа.

*Ключевые слова:* клубень картофеля, пневматическая система, автоматическая инспекция, закон сохранения энергии, закон сохранения количества движения, давление.

D. I. Komlach<sup>1</sup>, M. I. Kurylovich<sup>1</sup>, S. M. Bosiaikov<sup>2</sup>, V. V. Goldyban<sup>1</sup>

<sup>1</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: labpotato@mail.ru

<sup>2</sup>EI "Belarusian State University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: bosiaikov@bsu.by

## ASSESSMENT OF THE PNEUMATIC SYSTEM OPERATING PRESSURE OF THE AUTOMATIC SORTING MACHINE SECTION

*Abstract.* In the study, the technique for assessment the working pressure of the pneumatic system for separating substandard potato tubers in automatic sorting machines is presented.

*Keywords:* potato tuber, pneumatic system, automatic inspection, energy conservation law, pressure.

### Введение

Ранее нами предложена перспективная схема сортировальной машины для отделения некондиционных клубней картофеля струей сжатого воздуха [1]. Пневматическая система отделения сортировальной машины состоит из электронного блока управления 1, импульсного клапана 2, форсунки 3, компрессора 4,

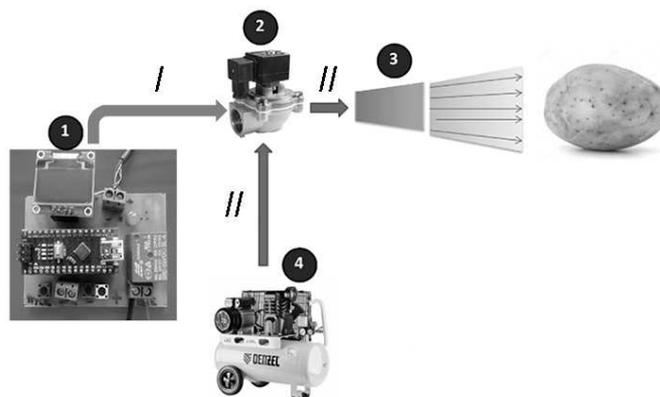


Рис. 1. Схема пневматической системы отделения: I – управляющий сигнал; II – сжатый воздух; 1 – электронный блок управления; 2 – импульсный клапан; 3 – форсунка; 4 – компрессор

форсунки 3, компрессора 4 (рис. 1). Импульсный клапан осуществляет кратковременную подачу воздуха. Для управления режимом работы импульсного клапана специально изготовлен электронный управляющий блок, который подключен к вычислительному модулю через виртуальный СОМ-порт. Блок управления позволяет установить необходимую длительность открытия клапана.

Принцип действия автоматической сортировальной машины заключается в следующем. Картофель, поступая на вальцовый подающий конвейер, перемещается в зону распознавания, где ему придается вращение посредством ременного привода. Клубни, идентифицированные как некондиционные, перемещаясь вальцовым транспортирующим устройством к системе отделения, удаляются с вальцового конвейера струей сжатого воздуха. Неотделенные клубни продолжают движение по технологической линии.

### Основная часть

Рассмотрим схему движения клубня картофеля по вальцам в форме однополосного гиперболоида вращения [2], представленную на рис. 2.

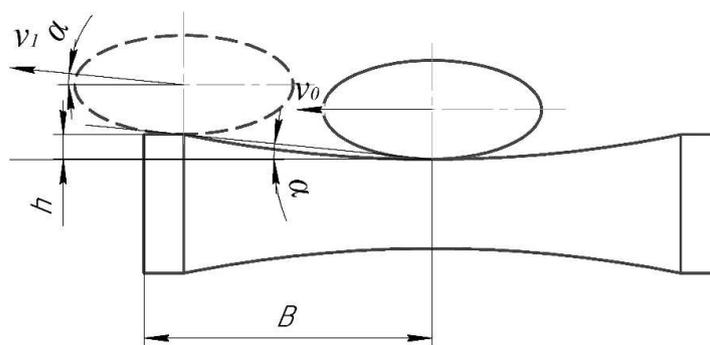


Рис. 2. Схема движения клубня картофеля по вальцу:  $v_0$  – начальная скорость клубня картофеля;  $v_1$  – скорость клубня картофеля при вылете с вальца;  $h$  – высота подъема клубня картофеля при движении по вальцу;  $\alpha$  – угол вылета клубня картофеля с вальца по отношению к горизонту;  $2B$  – длина вальца ( $B$  – расстояние по горизонтали прохождения клубня по поверхности вальца)

Для оценки давления, необходимого для отделения некондиционных клубней картофеля с вальцов, определим начальную скорость  $v_0$ , которую необходимо сообщить клубню для его перемещения на расстояние  $L$ . Согласно закону сохранения энергии при перемещении клубня картофеля по вальцу имеем:

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{mv_1^2}{2} + A_{F_{\text{тр}}}, \quad (1)$$

где  $m$  – максимальная масса продовольственного клубня картофеля, кг;  $v_0$  – начальная скорость клубня картофеля, м/с;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $h$  – высота подъема клубня картофеля при движении по вальцу, м;  $v_1$  – скорость вылета клубня картофеля с вальца, м/с;  $A_{F_{\text{тр}}}$  – работа силы трения, Дж ( $A_{F_{\text{тр}}} = F_{\text{тр}}B = fmgB \cos(\alpha)$ , где  $f$  – коэффициент трения скольжения).

Скорость  $v_1$  определим из кинематического уравнения движения тела, движущегося с начальной скоростью, направленной под углом к горизонту:

$$v_1 = \frac{L}{t \cdot \cos \alpha}, \quad (2)$$

где  $L$  – расстояние необходимое для удаления клубня картофеля, м;  $t$  – время перемещения клубня картофеля на расстояние  $L$ , с;  $\alpha$  – угол вылета клубня картофеля с вальца по отношению к горизонту.

С учетом (2) из уравнения (1) получим

$$v_0 = \sqrt{\frac{L^2}{t^2 \cos^2 \alpha} + 2gh + 2gBf \cos \alpha}. \quad (3)$$

Из закона сохранения количества движения будем иметь выражение для силы, которую необходимо приложить клубню картофеля для перемещения на расстояние  $L$ , а также выражение для соответствующего давления:

$$F = \frac{mv_0}{\Delta t}, \quad p = \frac{F}{S} = \frac{mv_0}{S\Delta t}, \quad (4)$$

где  $\Delta t$  – промежуток времени, в течение которого действует сила, с;  $S = \frac{\pi d^2}{4}$  – площадь выходного отверстия форсунки ( $d$  – диаметр выходного отверстия форсунки).

Соотношения (1)–(4) являются основными для расчета давления пневматической системы отделения некондиционных клубней картофеля.

Для расчета начальной скорости  $v_0$ , силы  $F$  и давления  $p$  примем следующие численные данные:  $m = 0,15$  кг,  $L = 0,6$  м,  $\Delta t = 0,2$  с,  $\alpha = 5^\circ$ ,  $d = 5$  мм,  $h = 5$  мм,  $B = 0,15$  м,  $f = 0,4$  [2, 3]. В результате получим

$$v_0 = 3,21 \text{ м/с}, \quad F = 9,63 \text{ Н}, \quad p \approx 482 \text{ кПа}.$$

Отметим, что параметр  $L$  для расчета задавался на основании размерных параметров автоматической сортировальной машины.

### Заключение

Расчетные данные с достаточно высокой степенью точности соответствуют результатам экспериментальных исследований, согласно которым необходимое давление воздуха достигает 500 кПа [4]. Относительная погрешность расчета по сравнению с экспериментальными данными составляет  $\sim 3,6$  %.

### Список использованных источников

1. Голдыбан, В. В. Метод и устройство для автоматической инспекции клубней картофеля / В. В. Голдыбан, М. И. Курилович // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26–27 нояб. 2020 г. / БГАТУ. – Минск, 2020. – С. 161–164.
2. Результаты разработки макетного образца автоматической сортировальной машины / В. В. Голдыбан [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2020. – Вып. 54. – С. 118–125.
3. Еднач, В. Н. Исследование сил трения клубней картофеля о рабочие органы картофелеуборочных и сортировальных машин / В. Н. Еднач, С. Р. Белый, В. А. Сокол // Научно-технический прогресс в сельском хозяйстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 110-летию со дня рожд. акад. М. Е. Мацепуро, Минск, 17–18 окт. 2018 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва ; редкол.: П. П. Казакевич [и др.]. – Минск, 2018. – С. 364–366.
4. Голдыбан, В. В. Экспериментальное обоснование основных параметров автоматической сортировальной машины / В. В. Голдыбан, Д. И. Комлач, М. И. Курилович // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы докл. Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 22–23 окт. 2020 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2020. – С. 3–6.

**Д. И. Комлач<sup>1</sup>, В. Н. Еднач<sup>2</sup>, Д. Н. Колоско<sup>2</sup>,  
Е. Л. Жилич<sup>1</sup>, Ю. Н. Рогальская<sup>1</sup>, С. А. Гецман<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: npc\_mol@mail.ru

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: Val-ee@tut.by

<sup>3</sup>ООО «Полиэфир АГРО»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: orgpr@mail.ru

### **АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ МОЛОЧНОГО СКОТОВОДСТВА И ОБОСНОВАНИЕ ПУТЕЙ ЕЕ РЕШЕНИЯ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены проблемы рентабельности молочного скотоводства. Стратегической задачей молочного скотоводства является производство конкурентоспособного молока и молочных продуктов для обеспечения потребностей населения. Несмотря на наличие хорошей кормовой базы и хорошего генетического потенциала молочного стада, сегодня остро стоит проблема улучшения качества молочного сырья при сохранении стоимости и объемов производства. Исходя из этого агропромышленная политика сегодня направлена на то, чтобы сделать данную отрасль высокоэффективной и конкурентоспособной, а также существенно повысить продовольственную безопасность.

*Ключевые слова:* скотоводство, молоко, качество, кормовая база, концентрат, генетический потенциал, автоматизированная доильная установка, процесс, индивидуальный учет, идентификация, почтвртное доение, робот, мастит.

**D. I. Komlach<sup>1</sup>, V. N. Ednach<sup>2</sup>, D. N. Kolosko<sup>2</sup>,  
E. L. Zhilich<sup>1</sup>, Yu. N. Rogalskaya<sup>1</sup>, S. A. Getsman<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: npc\_mol@mail.ru

<sup>2</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: Val-ee@tut.by

<sup>3</sup>LLC "Polyester AGRO"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: orgpr@mail.ru

### **ANALYSIS OF THE CAUSES OF THE PROBLEM OF PROFITABILITY OF DAIRY CATTLE BREEDING AND JUSTIFICATION OF WAYS TO SOLVE IT**

*Abstract.* The article considers the problems of profitability of dairy cattle breeding. The strategic objective of dairy cattle breeding is the production of competitive milk and dairy products to meet the needs of the population. Despite the presence of a good feed base and a good genetic potential of the dairy herd, today there is an acute problem of improving the quality of dairy raw materials, while maintaining the cost and production volumes. Based on this, the agro-industrial policy today is aimed at making this industry highly efficient and competitive, as well as significantly improving food security.

*Keywords:* cattle breeding, milk, quality, feed base, concentrate, genetic potential, automated milking system, process, individual accounting, identification, post-quarter milking, robot, mastitis.

## Введение

Стратегической задачей молочного скотоводства является производство молока и молочных продуктов для обеспечения потребности населения и поставки их на экспорт взамен покупаемых энергоресурсов и других материально-технических средств, не производимых отечественными предприятиями [1].

В последние годы на мировом рынке производителей молока и молочных продуктов Беларусь укрепила свои позиции среди мировых экспортеров, но чтобы закрепиться на занятых позициях, необходимо производить только качественную и конкурентоспособную продукцию, которая будет отвечать всем требованиям современного рынка.

## Основная часть

Молоко занимает исключительное место среди продуктов животного происхождения. Являясь источником полезных веществ в рационе человека, оно хорошо переваривается и легко усваивается организмом. Потребление молочных продуктов нельзя исключить или существенно сократить.

Наличие в Республике Беларусь достаточного количества естественных лугов и пастбищ, окультуренных кормовых угодий позволяет укрепить кормовую базу и за счет этого сохранить на ближайшую перспективу молочное животноводство на высоком уровне.

Агропромышленная политика сегодня направлена на то, чтобы сделать данную отрасль высокоэффективной и конкурентоспособной, существенно повысить надежность обеспечения страны продукцией сельского хозяйства при одновременном увеличении ее качества. Ставится задача провести корректировку экономических отношений в сельском хозяйстве, смысл которой заключается в совершенствовании кормовой базы, за счет применения обоснованных рационов из легкоусвояемых концентратов, позволяющих формировать биологический потенциал молочного стада, селекционно-племенной работы, а также в повышении заинтересованности товаропроизводителей в конечных результатах.

В настоящее время производители молочной продукции стремятся к увеличению объемов производства, при этом зачастую забывая о качестве, которое в значительной степени зависит от доильной установки. Схема составляющих для получения конкурентоспособного молока представлена на рисунке.

Хотя генетический потенциал и кормовая база оказывают большое влияние на молочную продуктивность, однако доильное оборудование является ключевым звеном в технологии производства молока на молочной ферме, так как именно на доильной установке проявляются все

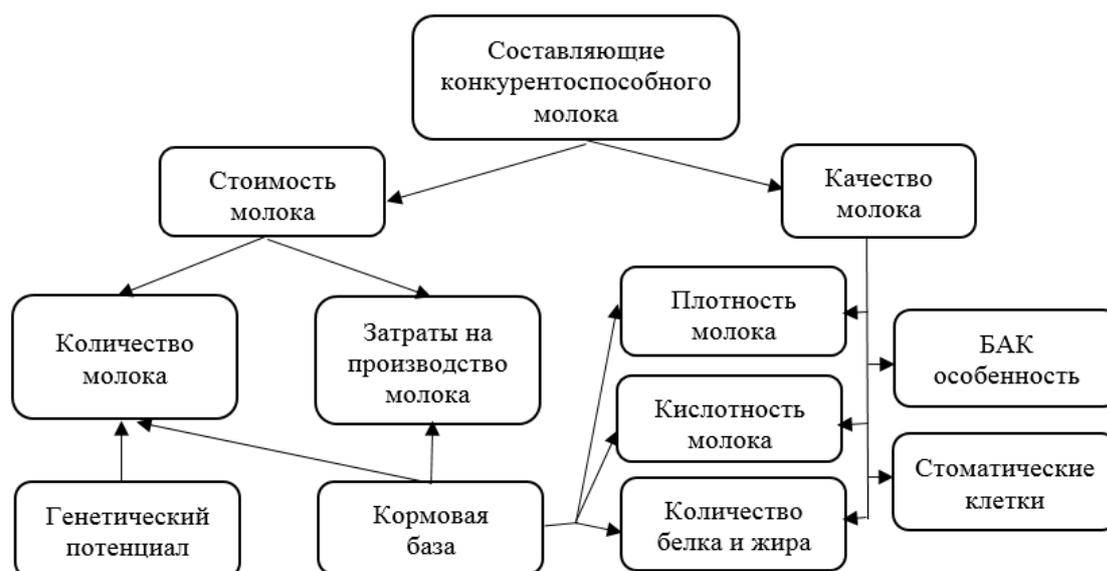


Схема составляющих получения конкурентоспособного молока

факторы получения молока: начиная от эргономики работы персонала, здоровья животных и заканчивая качественными показателями получаемой продукции, воспроизводством, физиологическим состоянием животных, – и только оно позволяет перевести молочную отрасль на индустриальную основу.

Осуществляемый в стране курс на последовательной перевод животноводства на индустриальную технологию производства молочной продукции существенно улучшит положение в этой отрасли сельского хозяйства. Этому способствовало, в частности, отечественное оборудование нового поколения, созданное в рамках научно-технической подпрограммы Союзного государства «Развитие производства оборудования для обеспечения получения качественной молочной продукции», по которой впервые были разработаны первые образцы доильного оборудования типа «Тандем», «Елочка», «Параллель», имеющие стоимость значительно ниже импортных образцов – в 1,4–1,6 раза. Выпускаемое оборудование существенно отличается и по затратам на сервисное обслуживание – минимум в 1,5–1,6 раза.

Доение коров в доильных залах резко повысило производительность труда и получило наибольшее распространение во всем мире благодаря более удобному рабочему месту для оператора машинного доения, минимальному пути перемещения молока от доильного аппарата к холодильнику, возможности максимально автоматизировать процесс доения и взаимодействия с программами менеджмента стада.

Кроме перечисленных выше доильных установок, для доения коров в залах особое место занимает доильная установка типа «Карусель», представляющая собой вращающуюся платформу, на которой установлены боксы для коров и доильное оборудование.

Главное отличие такой установки в том, что животное доставляют к оператору на подвижной платформе, а оператор находится на месте и подключает доильный аппарат к каждой подъезжающей корове.

Все большую популярность приобретают современные автоматизированные доильные установки для доения коров в залах, которые имеют устройства управления процессом доения, обеспечивающие заданные режимы доения и индивидуальный учет молока с возможностью занесения данных в компьютер [2].

Дополнительно доильные установки оснащаются системой автоматизированного управления стадом, взаимодействующей с базовой системой идентификации.

Несмотря на достаточный быстрый рост инноваций в области доильного оборудования, главным недостатком существующих отечественных доильных установок для доения в залах является отсутствие устройств для почетвертного доения коров, что не позволяет отделять некачественное молоко от качественного в разные емкости. В связи с этим производить конкурентоспособное молоко высокого качества на существующих доильных установках в доильных залах не всегда возможно.

Почетвертное доение сегодня получило распространение только в роботизированных доильных установках «Робот», которые выпускаются в одно- и многобоксовом исполнении. Пока более широкое распространение имеет робот в однобоксовом исполнении, поскольку он позволяет доить коров без участия оператора. Однако использование в молочном производстве роботизированных доильных установок затруднительно, поскольку стоимость робота частями переносится на готовую продукцию, что в значительной мере повышает стоимость конечного продукта [3]. Также отмечается большая капиталоемкость, причем более половины стоимости доильного робота приходится на автоматизацию процесса поиска сосков и надевания доильных стаканов.

Достоинством принципа почетвертного доения, применяемого на роботизированной доильной установке, является то, что доение каждой четверти вымени происходит самостоятельно и отдельно от других. За счет этого роботизированное доение обеспечивает высокое качество молока, отделяя молоко здоровых коров от молока маститных коров в разные емкости [4–6]. С учетом достоинств данное направление совершенствования доильного оборудования является перспективным, поскольку несмотря на высокую стоимость, оно положительно влияет на здоровье животных, а также увеличивает качество и количество получаемого молока за счет отдельного доения четвертей вымени, что позволяет отбраковывать только некондиционное молоко.

## Выводы

1. Конкурентоспособное молоко зависит от качества и стоимости доильного оборудования.
2. Получать высококачественное молоко на существующих доильных установках не всегда возможно.
3. Высококачественное молоко получают при доении коров с помощью роботов, отделяя некачественное молоко от качественного, благодаря почетвертному доению.
4. Более 70 % получаемого молока в стране производится на молочно-товарных фермах с доением коров в доильных залах, поэтому применение однокорковых роботов является затратным, поскольку его стоимость полностью ложится на готовую продукцию.
5. Разработка отечественных доильных установок для доения коров в залах с почетвертным доением позволит отделять некачественное молоко от качественного, к тому же эти установки значительно дешевле роботов.

## Список использованных источников

1. Кононов, В. П. Проблема совместимости высокой молочной продуктивности, воспроизводительной способности и продуктивной жизни коров в современном скотоводстве / В. П. Кононов // *Farm Animals*. – 2013. – № 1. – С. 40–47.
2. Кирсанов, В. В. Результаты обработки экспериментальных данных с роботов доения по четвертям вымени / В. В. Кирсанов, Д. Ю. Павкин, А. А. Цымбал // *Инновации в сельском хозяйстве*. – 2015. – № 4 (14). – С. 122–128.
3. Бойнович, М. Элементы автоматизации доения коров / М. Бойнович, Н. Линьков, Л. Александрова // *Молочное и мясное скотоводство*. – 1991. – № 1. – С. 19.
4. *Инновационные решения технологических процессов в животноводстве : учеб. пособие / А. В. Маклахов [и др.] ; Вологодская ГМХА им. Н. В. Верещагина. – Вологда : Вологда – Молочное, 2016. – 170 с.*
5. Цой, Ю. А. Разработка счетчика индивидуальных надоев молока, удовлетворяющего требованиям международной организации ICAR / Ю. А. Цой, В. В. Кирсанов, Д. Ю. Павкин // *Техника и оборудование для села*. – 2015. – № 7. – С. 21–23.
6. Кирсанов, В. В. Направления совершенствования исполнительных механизмов доильных установок / В. В. Кирсанов, С. И. Шукин, В. Н. Легеза // *Достижения науки и техники АПК*. – 2010. – № 1. – С. 64–65.

Д. И. Комлач<sup>1</sup>, Д. Н. Колоско<sup>2</sup>, Е. Л. Жилич<sup>1</sup>, Ю. Н. Рогальская<sup>1</sup>, С. А. Гецман<sup>3</sup>

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: npc\_mol@mail.ru

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>ООО «Полиэфир АГРО»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: orgpr@mail.ru

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РАЗВИТИЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО ДОЕНИЯ

*Аннотация.* В статье рассмотрены технологические принципы развития роботизированного доения. Ошибкой в анализе эффективности применения роботизированных систем является их оценка с точки зрения экономии трудозатрат, особенно на предприятиях, где роботом пытаются заменить неквалифицированный и плохо мотивированный персонал. Однако за счет применения роботизированных систем невозможно уменьшить общий фонд заработной платы, поскольку для эксплуатации таких систем требуются специалисты с гораздо более высоким уровнем квалификации и соответствующим уровнем оплаты труда. Поэтому при разработке собственной концепции развития роботизированного доения необходимо принимать наиболее простые, недорогие, универсальные решения, которые могут применяться в рамках любой технологической концепции и конфигурации оборудования с высоким уровнем унификации, взаимозаменяемости, ремонтпригодности и эксплуатационной устойчивости.

*Ключевые слова:* молочное скотоводство, доильное оборудование, унификация, роботизированная система, трудозатраты, технология, монобокс, платформа, карусель, параллель.

D. I. Komlach<sup>1</sup>, D. N. Kolosko<sup>2</sup>, E. L. Zhilich<sup>1</sup>, Yu. N. Rogalskaya<sup>1</sup>, S. A. Getsman<sup>3</sup>

<sup>1</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: npc\_mol@mail.ru

<sup>2</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>LLC "Polyester AGRO"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: orgpr@mail.ru

## TECHNOLOGICAL PRINCIPLES OF THE DEVELOPMENT OF ROBOTIC MILKING

*Abstract.* The article discusses the technological principles of the development of robotic milking. An error in the analysis of the effectiveness of the use of robotic systems is their assessment from the point of view of saving labor costs, especially in enterprises where unskilled and poorly motivated personnel are trying to replace the robot. However, due to the use of robotic systems, it is impossible to reduce the total salary fund, since the operation of such systems requires specialists with a much higher level of qualification and an appropriate level of remuneration. Therefore, when developing its own concept for the development of robotic milking, it is necessary to take the simplest, inexpensive, universal solutions that can be applied within any technological concept and configuration of equipment with a high level of unification, interchangeability, maintainability and operational stability.

*Keywords:* dairy cattle breeding, milking equipment, unification, robotic system, labor costs, technology, monobox, platform, carousel, parallel.

## Введение

Мировой опыт молочного скотоводства сохраняет устойчивую тенденцию развития роботизированного доения как одного из перспективных направлений, обладающих целым рядом преимуществ. В то же время результаты, полученные на фермах и комплексах Беларуси, вынуждают задумываться над необходимостью выработки объективных критериев оценки эффективности и трансформации подходов, которые должны быть направлены на устойчивое развитие роботизированного доения, адаптированного к условиям Республики Беларусь. Для этого необходимо четко сформулировать технологические принципы инженерных решений, применяемые при разработке новых роботизированных систем доения.

## Основная часть

В практике молочного скотоводства при использовании роботизированных систем доения сформировались две противоположные тенденции. Первая тенденция заключается в том, что в успешных сельскохозяйственных предприятиях с высоким уровнем менеджмента молочного стада применение роботизированного доения оправдывает себя по технологической эффективности и результатам экономической деятельности. Вторая тенденция наблюдается на предприятиях с невысокими производственно-экономическими показателями, где не удается увеличить производительность труда пропорционально росту дополнительных затрат. В результате инвестиции, направленные на приобретение дорогостоящей техники и оборудования, не позволяют создавать добавленную стоимость и не возвращаются в виде дополнительной прибыли, достаточной для покрытия издержек, связанных с закупкой и эксплуатацией нового дорогостоящего оборудования [1].

Ошибкой в анализе эффективности применения роботизированных систем является их оценка с точки зрения экономии трудозатрат, особенно на предприятиях, где роботом пытаются заменить неквалифицированный и плохо мотивированный персонал. При этом необходимо учитывать, что общий фонд заработной платы не может быть уменьшен, поскольку для эксплуатации таких систем требуются специалисты с гораздо более высоким уровнем квалификации и соответствующим уровнем оплаты труда. Основным преимуществом роботизированного доения является системный подход к организации технологии производства молока, обеспечивающий возможность существенного повышения продуктивности и срока хозяйственного использования животных за счет инновационных принципов доения в сочетании с новыми, отличными от традиционных, технологическими решениями, которые реализуются на базе комплексного использования автоматизированных систем измерения хозяйственно-биологических параметров животных, а также многофункциональных программ управления стадом и оборудованием.

Роботизированное доение может осуществляться по трем вариантам: первый предполагает доение в секции для беспривязного содержания коров, второй реализуется в специальном доильном зале, третий предполагает доение в помещении для привязного содержания коров [2].

Применение роботизированных доильных систем, размещенных в помещении с беспривязным содержанием коров, обуславливает особую организацию в содержании животных. Размер группы соответствует производительности робота. Необходимо правильно организовать условия для рационального трафика животных, включая систему ограждений для прохода коров на дойку и к кормовому столу, режим кормления и др. Для этого роботизированные системы доения снабжают различным периферийным оборудованием, таким как сортировочные ворота, которые позволяют распределять животных: «отправлять» их на пастбище, на лечение и т. д.

Технология применения монобоксов является одной из самых проработанных на рынке оборудования. Использование специализированных устройств для подготовки коровы к доению, подключения аппарата и обработки вымени после доения только для одного доильного места позволяет проводить данные операции максимально быстро и физиологично.

В то же время концепция монобокса является одним из самых технически сложных и дорогих вариантов реализации процесса доения. Функциональное наполнение монобокса в некоторых случаях выглядит избыточным, что в сочетании со сложностью организации трафика приводит

к тому, что один дорогостоящий робот доит одну корову, в лучшем случае, за семь минут [3]. Крупные размеры отечественных ферм требуют установки большого количества монобоксов, в результате стоимость доильного оборудования существенно увеличивается. Кроме того, каждый бокс, оборудованный собственным манипулятором, требует дорогостоящего, своевременного обслуживания и ремонта.

Альтернативой монобоксу служит сдвоенный бокс, который является более бюджетным решением вопроса реализации процесса доения. В то же время конфигурация по определению вымени менее функциональна и не обеспечивает удвоения производительности по сравнению с монобоксом. Зачастую одна корова, уже находясь в боксе, ожидает пока робот подключит другую корову, зашедшую в параллельный бокс чуть раньше.

Необходимо также отметить, что размещение боксов любой конфигурации в помещении для содержания животных обуславливает необходимость решения проблем, возникающих в холодное время года и связанных с микроклиматом.

Доение в зале с использованием манипуляторов, осуществляемое на роторных доильных установках, является одним из привлекательных технических решений. Производительность такой конфигурации позволяет обслуживать животных при различных вариантах посещения [4, 5]. В то же время использование данной конфигурации по определению ограничено на крупных комплексах с групповым доением. При этом возможность увеличения количества доильных мест ограничена производительностью манипуляторов.

Необходимость использования специализированных манипуляторов с высокой скоростью быстрогодействия и сложной системой динамической ориентации существенно усложняет и удорожает конструкцию, а достаточно длительные остановки роторной платформы, необходимые для подключения аппарата, не позволяют увеличивать производительность оборудования. Размещение и фиксация животных на платформе – также сложная инженерная задача. Для отечественных сельхозпредприятий немаловажным фактом является сложность ручного проведения операций в ограниченном пространстве, свободном от оборудования, размещенного внутри платформы.

Исходя из вышесказанного, роторный зал «Карусель» с расположением животных по типу «Параллель» более пригоден для группового роботизированного доения на крупных фермах и комплексах, в том числе и с поточно-цеховой системой технологии производства молока, что является перспективным решением для крупных предприятий Республики Беларусь и ближнего зарубежья. В существующей конфигурации роторная установка оборудована роботами-манипуляторами на каждом доильном месте, что позволяет добиться максимальной производительности, необходимой для крупных комплексов. Технические подходы и инженерные решения, отработанные в конструкции монобокса, легко переносятся на данную конфигурацию доильной установки, что формирует хорошие условия для взаимозаменяемости и ремонтпригодности. В то же время наличие роботизированных манипуляторов в количестве, соответствующем доильным местам, приводит к ощутимому удорожанию как самой установки, так и ее последующего сервиса. Стоимость доильного оборудования на одну корову в такой конфигурации зачастую превышает даже моноблочное исполнение. При этом каждый манипулятор потенциально имеет риск поломки, оперативное устранение которой связано со значительными затратами. В настоящее время такие роторные залы с использованием небольшого числа свободных манипуляторов не предлагаются производителями доильного оборудования.

Доение в доильном зале предполагает необходимость устройства проходов и накопителей, оборудованных несколькими сортировочными воротами, что на практике представляется достаточно сложным решением.

Применяемые роторные доильные залы предполагают выдаивание коров в течение оборота платформы, что неэффективно даже в случае выровненного по скорости молокоотдачи стада. В реальности многие коровы не успевают выдоиться за оборот платформы, что приводит к ее остановке и, как следствие, к снижению производительности до уровня классических доильных залов. При этом увеличение периода оборота платформы еще больше снижает производительность, в связи с чем технологическая концепция роботизированных роторных доильных залов требует серьезной доработки.

Также в настоящее время зарубежными производителями выпускаются передвижные роботы, разработанные специально для ферм с привязным содержанием коров и выполненные в виде устройства, перемещаемого вдоль коровника. Такая конфигурация сформирована по принципу монобокса и имеет основные его недостатки. При этом существующая конструкция выглядит достаточно громоздкой по причине использования механизмов для перемещения бокса и фиксации животных во время доения. Фиксация осуществляется сзади коровы, когда робот находится в слепой зоне животного, что создает необходимость приучения к данной процедуре и вызывает стресс. Кроме того, использование данного типа роботов, как и в случае с монобоксом, требует поддержания определенного температурного режима в коровнике в зимний период.

### **Заключение**

В основу концепции инженерных решений, используемых в системах роботизированного доения, положена конфигурация оборудования, которая предполагает реализацию тех или иных подходов, в первую очередь к техническому обеспечению процессов подготовки коровы к доению, подключения аппарата (доильного стакана), собственно доения, а также финиша процесса, включая отключение аппарата (стаканов) и обработку вымени (сосков) после доения.

По результатам проведенного анализа необходимо отметить, что функциональность наиболее продвинутых систем роботизированного доения выглядит несколько избыточной для отечественного рынка, что влечет за собой необоснованное удорожание оборудования. Поэтому при разработке собственной концепции развития роботизированного доения необходимо принимать наиболее простые, недорогие, универсальные решения, которые могут применяться в рамках любой технологической концепции и конфигурации оборудования с высоким уровнем унификации (в том числе использования отдельных узлов для модернизации существующих доильных установок разного типа), взаимозаменяемости, ремонтпригодности и эксплуатационной устойчивости.

### **Список использованных источников**

1. Кухарь, В. С. Система менеджмента качества для экономической стабильности предприятий в условиях экономической интеграции / В. С. Кухарь, С. Б. Исмуратов, И. М. Донник // Аграрный вестник Урала. – 2016. – № 10. – С. 86–90.
2. Лоретц, О. Г. Управление затратами при производстве молока в хозяйстве / О. Г. Лоретц, Г. Ю. Симйонка, О. Е. Лиходеевская // Аграрный вестник Урала. – 2015. – № 2. – С. 88–90.
3. Скворцов, Е. А. Кадровый аспект внедрения роботехники в сельском хозяйстве / Е. А. Скворцов // Аграрный вестник Урала. – 2016. – № 2. – С. 99–105.
4. Цой, Ю. А. Функционально-стоимостной анализ роботизированных систем и выбор альтернативных вариантов добровольного доения коров / Ю. А. Цой, В. В. Кирсанов, А. П. Петренко // Техника и оборудование для села. – 2014. – № 8 (206). – С. 33.
5. Кирсанов, В. В. Направления совершенствования исполнительных механизмов доильных установок / В. В. Кирсанов, С. И. Щукин, В. Н. Легеза // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 1. – С. 64–65.

**А. Н. Перепечаев<sup>1</sup>, Е. В. Кислов<sup>1</sup>, А. И. Тарима<sup>1</sup>, В. И. Карпунин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: pan-SI@yandex.ru

<sup>2</sup>УО «Белорусский национальный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: oup@bntu.by

## **ОБОРУДОВАНИЕ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЬНА**

*Аннотация.* В статье проведены данные о результатах заготовки в Республике Беларусь льнотресты и выработки льноволокна, имеющемся оборудовании для уборки льна и первичной переработки льнотресты, приведен перечень оборудования, производимого в республике для уборки льнотресты и модернизации линий выработки длинного и короткого льняного волокна.

*Ключевые слова:* льнотреста, уборка, льноволокно, технологический процесс, линии выработки, производительность, потребность, модернизация, разработка.

**A. N. Perepechaev<sup>1</sup>, E. V. Kislov<sup>1</sup>, A. I. Tarima<sup>1</sup>, V. I. Karpunin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: pan-SI@yandex.ru

<sup>2</sup>EI "Belarusian National Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: oup@bntu.by

## **EQUIPMENT FOR HARVESTING AND PRIMARY PROCESSING OF FLAX**

*Abstract.* The article presents data on the results in the Republic of Belarus of flax stands and the production of flax fiber, the available equipment for harvesting flax and primary processing of flax, a list of equipment produced in the republic for harvesting flax and the modernization of long and short production.

*Keywords:* flax growing, cleaning, flax fiber, technological process, production lines, productivity, demand, modernization, development.

### **Введение**

Льняное волокно является основным видом сырья для текстильной промышленности, производимым в Республике Беларусь. Из него производят изделия, широко применяемые в быту и различных отраслях народного хозяйства: одежные, бельевые, скатертные, полотенечные ткани, ткани технического (брезенты, мешковину) и медицинского назначения (бинты, вату), крученые изделия (канаты, веревки, шпагаты) и т. д.

Являясь альтернативой хлопку, льноволокно может в значительной мере заменить его в текстильной промышленности, а также при производстве продукции стратегического назначения и тем самым повысить финансовую и стратегическую независимость страны от импорта хлопка и готовой продукции из него [1].

По своим характеристикам и химическому составу льноволокно очень похоже на хлопок, при этом оно сохраняет все свои уникальные свойства, такие как бактерицидность, экологичность и т. д. Технологии, в основе которых лежит рациональное сочетание механических и химических приемов воздействия на короткое льняное волокно, позволяют гибко варьировать параметры получаемого волокна (длину, линейную плотность, степень очистки от костры и пр.).

Несмотря на резкое увеличение в настоящее время выработки химических волокон, спрос на изделия из льноволокна не уменьшается, поэтому принимаются меры по увеличению их выпуска и повышению качества [2]. Задачи по увеличению производства льноволокна решаются как в системе сельского хозяйства, так и в текстильной промышленности.

### Основная часть

Сегодня возделыванием льна, приготовлением и переработкой льнотресты в основном занимаются льнозаводы. Выращивание льна-долгунца осуществляется в 36 районах Республики Беларусь [3].

В 2020 г. было заготовлено 168,7 тыс. т льнотресты при урожайности 35,9 ц/га, из которой было произведено 47,8 тыс. т льноволокна, что к 2019 г. составило 103,3 %. Вместе с тем план производства льноволокна выполнен только на 86,9 %. В Брестской области заготовлено 8,3 тыс. т льноволокна (113,7 % к плану), Витебской – 11,6 (75,8), Гомельской – 3,9 (84,8), Гродненской – 8,7 (100,0), Минской – 8,5 (81,0) и Могилёвской области – 6,9 тыс. т (82,0 % к плану) [4].

В 2021 г. посевная площадь льна достигла 41,9 тыс. га, что составляет 88 % от посевной площади 2020 г. При ожидаемой урожайности 43 ц/га планируется заготовить 180,0 тыс. т льнотресты и произвести 41,9 тыс. т льноволокна.

Планируемый объем поставок льноволокна для республиканских государственных нужд (Госзаказ) на 2021 г. в Белорусский государственный концерн по производству и реализации товаров легкой промышленности согласно [5] составляет 18,1 тыс. т, в том числе длинного – 7,3 тыс. т.

Общая потребность РУПТП «Оршанский льнокомбинат» в длинном льноволокне при полной загрузке составляет 8,2 тыс. т средним номером 11,5. При среднем номере заготовленной льнотресты 0,85 льнозаводы в состоянии поставить не более 5,5 тыс. т длинного льноволокна средним номером 10,6. Недостаток отечественного длинного льноволокна приводит к неполной загрузке модернизированных мощностей РУПТП «Оршанский льнокомбинат». (В течение последних лет данное предприятие загружено на 75 %. Эффективность его работы прямым образом зависит от основных поставщиков льноволокна – отечественных льнозаводов.)

Невысокое качество сырья и потери товарной продукции определяют убыточность переработки льна, низкие объемы производства льноволокна и его неудовлетворительное качество, а также регулярную недопоставку данной продукции для республиканских государственных нужд.

Объемы и качество заготовленной льнотресты напрямую связаны с соблюдением технологии возделывания, уборки и первичной переработки льнотресты.

В настоящее время в республике создан и производится базовый комплекс машин для механизации процессов возделывания льна. Отечественными предприятиями выпускается требуемая номенклатура машин для обработки почвы, посева, внесения минеральных удобрений и ухода за посевами, которые являются универсальными и обеспечивают требуемые качественные показатели выполнения технологического процесса.

На стадии уборки льна требуются специфические машины: льнотеребилки, льнокомбайны, оборачиватели, ворошилки, пресс-подборщики, подборщики-очесыватели. Обеспеченность льноводческих хозяйств республики указанной техникой составляет согласно [5], ед.:

Льнотеребилки .....	134	Пресс-подборщики .....	557
Льноуборочные комбайны .....	265	Подборщики-очесыватели	
Оборачиватели .....	248	(оборачиватели-очесыватели).....	50

Приведенные данные позволяют заключить, что при благоприятных погодных условиях уборка льна может производиться в регламентированные сроки.

Вместе с тем в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» проводятся работы по созданию новых образцов льноуборочной техники. В частности, разработана новая ворошилка-вспушиватель лент льна ВВЛ-3 (рис. 1). В отличие от аналогов она может успешно

применяться на различных фонах, независимо от ширины захвата уборочных машин, которая колеблется от 1,20 до 1,52 м.

Разработан также отечественный самоходный пресс-подборщик льна ПЛС-1 (рис. 2). Машина обеспечивает формирование слоя льнотресты требуемых параметров, оборудуется системой оперативного управления рабочим процессом. Показатели выполнения процесса соответствуют показателям импортных аналогов.

Переработка льнотресты в республике осуществляется на 20 льнозаводах, на которых установлены 43 технологические линии выработки длинного льноволокна и столько же линий выработки короткого льноволокна. Таким образом, выработка длинного льноволокна осуществляется на 34 линиях российского (МТА-1Л, МТА-2Л) и 9 линиях западноевропейского (7 линий фирмы DEPOORTERE NV и 2 линии фирмы VAN DOMMELE ENGINEERING NV) производства, а выработка короткого волокна – на 32 линиях российского (КПАЛ, КПАЛ-И), 12 линиях западноевропейского (фирмы DEPOORTERE NV) и 1 линии белорусского (ЛКЛВ-0,75) производства. Суммарная производственная мощность льнозаводов составляет 180 тыс. т льнотресты в год.

Анализ технико-экономических показателей работы льнозаводов свидетельствует о том, что практически на всех льнозаводах при переработке льняной тресты, как на российских, так и на западноевропейских технологических линиях, не достигаются нормативные значения по показателю выхода длинного волокна, притом что общий выход длинного и короткого волокна превышает нормативные значения. В связи с этим удельный вес длинного льноволокна в общем объеме производства льноволокна заводами льнозаводов остается крайне низким и составляет в последние годы 19–21 %. Качество длинного и короткого льноволокна в основном также не достигает нормативных значений, в связи с чем значительная доля вырабатываемого льнозаводами волокна не соответствует требованиям РУПТП «Оршанский льнокомбинат» и у заводов возникают трудности с выполнением госзаказа.

Кроме того, практически ни одна из эксплуатируемых линий выработки длинного волокна, в том числе линий западноевропейских фирм, не достигает паспортных значений по пропуску льнотресты.

Одной из причин, сдерживающей получение из заготовленной тресты конкурентоспособного длинного и короткого льноволокна, является физический и моральный износ оборудования соответствующих технологических линий российского производства. При плановом сроке службы 10 лет продолжительность эксплуатации линий МТА-1Л и КПАЛ составляет более 25 лет, МТА-2Л и КПАЛ-И – более 17 лет. В настоящее время их работоспособность поддерживается за счет замены основных рабочих органов и быстроизнашивающихся узлов и деталей, изготавливаемых на отечественных предприятиях.

Также следует отметить, что линии выработки длинного льноволокна российского производства предназначены для переработки льнотресты, заготовленной в снопах. При повсеместном переходе на рулонную технологию уборки льна данное оборудование не позволяет обеспечивать



Рис. 1. Ворошилка ВВЛ-3



Рис. 2. Пресс-подборщик льна ПЛС-1

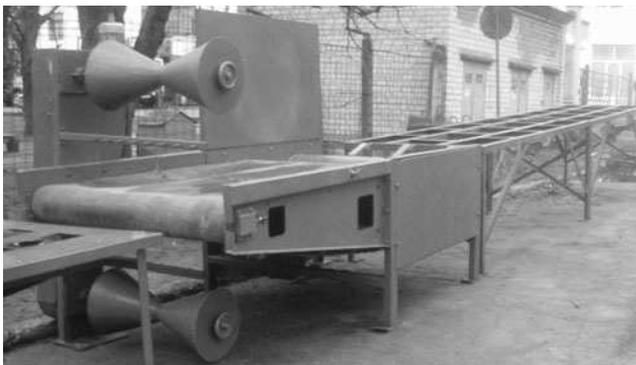


Рис. 3. Машина раскладочная МР-1400

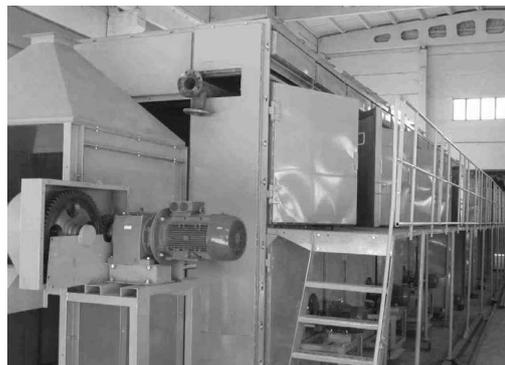


Рис. 4. Машина сушильная тресты МСТ-2

в полной мере требуемые параметры технологического процесса выработки длинного волокна, что приводит к снижению количественных и качественных показателей льнозаводов по выработке волокна.

В связи с этим актуальной является разработка машин для первичной переработки льна в республике и освоение их производства.

Для модернизации существующих технологических линий выработки длинного и короткого льноволокна российского производства и повышения их эффективности РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» (далее – «ГЗ СИиТО») разработан ряд базовых машин и организовано их производство.

Для линий выработки длинного льноволокна разработана и поставлена на серийное производство раскладочная машина МР-400 (рис. 3), которая позволяет механизировать процесс размотки рулонов как с проложенным внутри рулона шпагатом, обеспечивая при этом его смотку, так и без шпагата. Преимущества машины: простота и технологичность конструкции, регулируемая скорость размотки за счет частотного регулятора, возможность создания буферного запаса рулонов на столе-накопителе. Серийное производство машины освоено филиалом ОАО «Гомсельмаш» «Гомельский завод специнструмента и технологической оснастки».

Для подсушки слоя льнотресты перед механической переработкой разработана машина сушильная тресты МСТ-2 (рис. 4). Машина устанавливается в линии выработки длинного льноволокна между размотчиком рулонов льнотресты и слоеформирующей машиной. Тип машины: паровая, конвейерная, многоблочная с рециркуляцией и подогревом агента сушки по блокам. Преимущество машины: наличие системы автоматического регулирования параметров агента сушки – температуры, влажности. Опытный образец машины МСТ-2 изготовлен ОАО «Калинковичский РМЗ» и установлен на КУП «Кормален».



Рис. 5. Машина слоеформирующая МС-6,97



Рис. 6. Линия размотки рулонов тресты ЛРТ-2



Рис. 7. Машина трясильная МТ-1,3

Для переработки отходов трепания льнотресты в короткое волокно разработана машина трясильная МТ-1,3 (рис. 7), основная функция которой – снизить массовую долю костры и сорных примесей в обработанных отходах трепания, а следовательно, и массу материала, поступающего в сушильную машину, сокращая затраты тепловой энергии на подсушку. Машины трясильная МТ-1,3 прошла приемочные испытания и рекомендована к серийному производству. Завод-изготовитель – филиал ОАО «Гомсельмаш» «ГЗ СИиТО».

Для производства короткого волокна разработана линия выработки короткого льноволокна ЛКЛВ-0,75, предназначенная для замены куделеприготовительных агрегатов КПАЛ и КПАЛ-И на существующих льнозаводах. Опытный образец линии ЛКЛВ-0,75 (рис. 8) изготовлен филиалом ОАО «Гомсельмаш» «ГЗ СИиТО», смонтирован в технологическом потоке ОАО «Любанский льнозавод» и эксплуатируется с октября 2013 г.

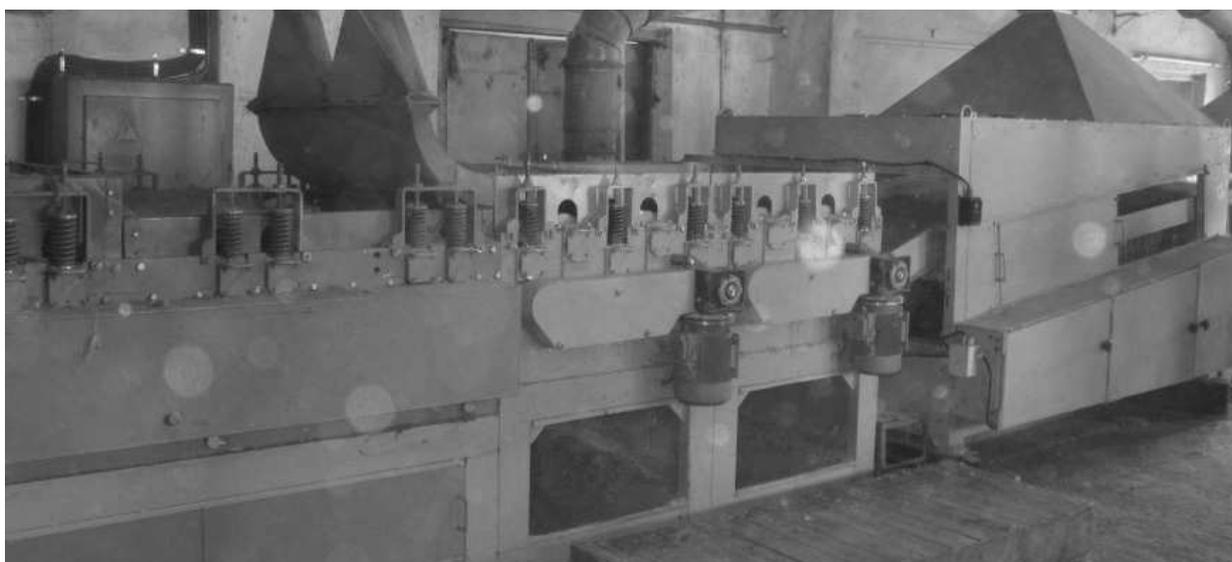


Рис. 8. Линия выработки короткого волокна ЛКЛВ-0,75

## Заключение

В настоящее время перед учеными и конструкторами РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» стоит задача по разработке и освоению в производстве отечественных мяльной машины и трепальной машины для линии выработки длинного льноволокна, а также сушильной машины и проходного пресса для линии выработки короткого льноволокна для замены подобного оборудования российского производства. С этой целью проведены исследования по поиску технических решений, направленных на совершенствование переработки льнотресты. После решения этой задачи льнозаводы Республики Беларусь получают возможность полной модернизации на основе нового оборудования отечественного производства.

## Список использованных источников

1. Иванова, В. Н. Льняной комплекс России в контексте структурной перестройки экономики страны / В. Н. Иванова, И. А. Егорова // Инновации в производстве товаров нового поколения из льна : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Россия, Вологда, 28 февр. 2005 г. / ФГУП «ИНИИ комп. авт. легкой пром.» ; В. А. Грищенко (отв. ред.) [и др.]. – Вологда, 2005. – С. 10–14.
2. Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2016) : сб. материалов XIX Междунар. науч.-практ. форума, 23–27 мая 2016 г. – Иваново : ИВГПУ, 2016. – Ч. 1. – 404 с.
3. Состоялся республиканский научно-практический семинар «День льняного поля – 2021» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mshp.gov.by/news/c3bfd3a5f8785d89.html>. – Дата доступа: 02.08.2021.
4. Объемы производства продукции растениеводства в хозяйствах всех категорий за 2016–2020 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mshp.gov.by/programms/a322551116bdde11.html>. – Дата доступа: 02.08.2021.
5. Рабочий план по проведению уборки зерновых, зернобобовых культур, льна-долгунца в 2021 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mshp.gov.by/programms/a322551116bdde11.html>. – Дата доступа: 02.08.2021.

**В. В. Голдыбан**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: labpotato@mail.ru*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОНИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ПРИ РЕШЕНИИ ОТДЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ**

*Аннотация.* В статье рассмотрена проблема почвенной адгезии в растениеводстве и пути ее решения. Предложено применение морфологически негладких и электроосмотических поверхностей для снижения адгезии и ее последствий.

*Ключевые слова:* земледельческая механика, бионика, адгезия, трение, обработка почвы.

**V. V. Goldyban**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: labpotato@mail.ru*

## **THE USE OF BIONIC PRINCIPLES IN SOLVING PROBLEMS OF TILLAGE MECHANICS**

*Abstract.* The article considers the problem of soil adhesion in crop production and ways to solve it. The use of morphologically non-smooth and electroosmotic surfaces to reduce adhesion and its consequences is proposed.

*Keywords:* tillage mechanics, bionics, adhesion, friction, tillage.

### **Введение**

В процессе эксплуатации почвообрабатывающих сельскохозяйственных машин к их рабочим поверхностям прилипает почва, что значительно затрудняет работу машин из-за возникающих сил адгезии на границе металл – почва. Почвенная адгезия приводит к росту тягового сопротивления при вспашке свыше 30 %, увеличивая потребление энергии в сельском хозяйстве от 30 до 50 %, а также к сокращению сроков появления всходов.

Почвенная адгезия обуславливается наличием пленок связанной воды, способных одновременно взаимодействовать частицами почвы и поверхностями соприкасающихся с ними рабочих органов (на глинистых почвах примерно 75–80 % объема пор заполнено водой, на тяжелых суглинистых – 67–75, на легкосуглинистых – 50–60, на супесчаных – 40–50, на песчаных – 25–20 %).

Вероятность прилипания почвы к рабочим органам почвообрабатывающих машин определяется степенью ее увлажнения. Удельный вес переувлажненных почв (полугидроморфных и гидроморфных) в составе сельскохозяйственных земель республики составляет 65,4 %. По областям этот показатель изменяется от 52,3 % в Гродненской области до 79,6 % в Брестской. Значительные площади полугидроморфных и гидроморфных почв характерны для Гомельской (71,1 %) и Витебской (70,6 %) областей [1].

В период осенних и весенних полевых работ переувлажненные дождями почвы из-за прилипания к рабочим органам ухудшают качественные показатели работы машин, увеличивая общую энергоемкость процесса.

Сегодня проблема адгезии рассматривается в качестве одной из ключевых не только в сельском хозяйстве, но и в различных областях промышленности, медицины, в строительстве, привлекая усилия большого количества исследователей на ее решение.

## Основная часть

В начале XX в. были проведены обширные фундаментальные исследования механизма адгезии, предложено большое разнообразие теорий и методологий, а также интерпретаций явления адгезии. Эти исследования были основаны на большом количестве экспериментальных наблюдений, отраслевой практике и экспериментальном анализе.

Основополагающими для понятия сущности адгезии стали исследования Фонтейна и Акиямы. Так, Фонтейн показал, что водная пленка играет доминирующую роль при возникновении адгезии почвы. Адгезия почвы как сила на единицу площади, вызванная водной пленкой, равна напряженности влаги. Адгезия велика при очень тонкой водной пленке и наоборот.

Акияма и Йокои исследовали непрерывную водную пленку и контактные состояния менисков воды в почве на границе соприкосновения. Они считали, что капиллярное давление водной пленки было источником адгезии почвы при контактном состоянии непрерывной пленки, а капиллярное давление и поверхностное натяжение – источником сцепления почвы.

На самом деле, как напряженность водной пленки, так и капиллярное давление обусловлены поверхностным натяжением водной пленки или менисков воды и, следовательно, выводы, сделанные Фонтейном, Акияма и Йокои, были сходными, так как все они указывали на важное воздействие поверхностного натяжения воды на адгезию почвы.

Эти углубленные исследования механизма адгезии значительно продвинули исследования улучшения антиадгезионных свойств различных материалов. Были разработаны различные новые методы повышения антиадгезионных свойств для почвообрабатывающих, землеройных и дорожных машин. Эти методы учитывали структурные особенности и условия работы взаимодействующих с почвой элементов, например: методы разогрева и заполнения газом или жидкостью, электроосмос разъединительного типа, механические способы, модификацию поверхности формы и материалов.

Во всем мире деятельность, связанная с теоретическими исследованиями и техническими разработками, стимулируется в значительной степени, например: российские ученые провели исследования антиадгезионных свойств наземных машин и гражданских инженерных машин; исследователями в Европе была предпринята попытка разработать ковш экскаватора с изогнутой поверхностью с антиадгезионными свойствами; японские ученые проводят исследования антиадгезионных свойств с использованием ультразвука; американские исследователи предприняли попытку провести очистку поверхности с помощью лазерной техники; немецкие ученые разрабатывают новые материалы с антиадгезионными свойствами.

В ходе реализации проектов заданий 4.1 «Разработка на основе элементов бионики теоретических основ к созданию антиадгезионных и антифрикционных поверхностей рабочих органов машин для возделывания корнеклубнеплодов» и 4.24 «Исследование электроосмоса и оценка его эффективности в уменьшении тягового усилия при обработке почвы» ГПНИ «Качество и эффективность агропромышленного производства на 2016–2020 годы» подпрограммы «Механизация и автоматизация процессов в АПК» в направлении улучшения антиадгезионных свойств нами определен ряд узких мест, которым уделено мало внимания, а именно: изучению морфологии негладкой поверхности и электроосмоса поверхностного типа как бионических механизмов исключительных антиадгезионных характеристик почвенных животных и их приложению к рабочим органам почвообрабатывающих машин [2–5].

С целью снижения почвенной адгезии при проектировании рабочих поверхностей почвообрабатывающих и посадочных машин нами исследованы и заимствованы принципы построения поверхности кутикулы почвеннороящих животных, которые благодаря наличию выпуклых куполов (бугорков), ямочек (впадин), всевозможных видов тиснения, чешуек и гребней, расположенных регулярно либо случайно, обладают способностью полностью предотвращать налипание почвы к их телам [2, 3].

Взаимодействие между негладкой поверхностью тела и почвой производит эффект микровибрации, прерывистый эффект водной пленки и эффект воздушной пленки на границе соприкосновения, что не только уменьшает площадь контакта и статическое время контакта, но и приво-

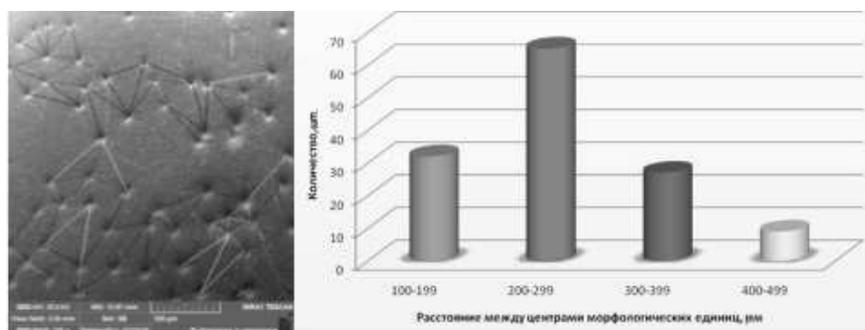
дит к прерывистому распределению водной пленки, образуя несколько воздушных пленок на границе соприкосновения между телом животного и почвой. В результате как адгезионные силы, так и силы трения между поверхностью тела животного и почвой уменьшаются.

С помощью растрового электронного микроскопа нами изучены бионические прототипы почвеннороющих насекомых с целью создания теоретических основ проектирования антиадгезионных и антифрикционных поверхностей рабочих органов машин. Выявлены наиболее характерные элементы покрова насекомых, облегчающие их перемещение в почве и предотвращающие налипание почвы к телам. Обоснованы основные геометрические параметры бионических элементов рабочих поверхностей и определена их планарная плотность. Проведено моделирование взаимодействия рабочих органов с исследуемой средой и оценено влияние их основных параметров на энергетику и качественные показатели технологического процесса. Разработаны и изготовлены экспериментальная установка и образцы рабочих органов, позволившие экспериментально подтвердить снижение до 15 % тягового сопротивления по сравнению с гладкой поверхностью (рис. 1).

Еще одним механизмом антиадгезии является биоэлектрический потенциал, существующий на поверхности почвенных животных. Когда почвенное животное находится в контакте с почвой, микроскопическая электроосмотическая система образуется между подвижными частями тела и другими неподвижными частями поблизости. В результате вода из почвы под действием разности потенциалов перемещается в зоны контакта, пленка воды на контактной поверхности становится толще, а налипание грунта на поверхность тела уменьшается за счет смазки.

Явление поверхностного электроосмоса разъединительного типа, присущее биологическим организмам, было использовано нами для создания электроосмотических поверхностей с очень низким напряжением на электродах, для снижения адгезии и сопротивления трению окружающей почвы [4, 5].

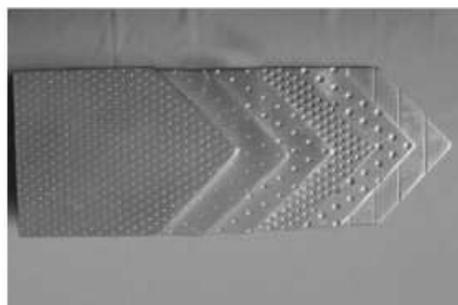
С целью проверки эффективности применения электроосмоса разъединительного типа к проектированию антифрикционных поверхностей почвообрабатывающих машин нами изготовлены экспериментальная установка и образцы тестируемых поверхностей.



*a*



*б*



*в*



Рис. 1. Разработка антиадгезионных и антифрикционных рабочих поверхностей почвообрабатывающих машин: *a* – к определению расстояния между морфологическими единицами; *б* – экспериментальная установка; *в* – образцы исследуемых рабочих органов [2, 3]

Наибольшее снижение потребной мощности на преодоление трения почвы о диск посредством электроосмоса получено для диска со вставками-анодами диаметром 2 и 10 мм при напряжении электроосмоса 30 В и силе тока 0,35 А. При этом мощность на трение снижается на 34 % – с 230 до 153 Вт (рис. 2). Установлено, что при увеличении напряжения электроосмоса с 30 до 60 В потребная мощность на преодоление трения снижается на 25 % – с 230 до 174 Вт, что составляет 25 %.

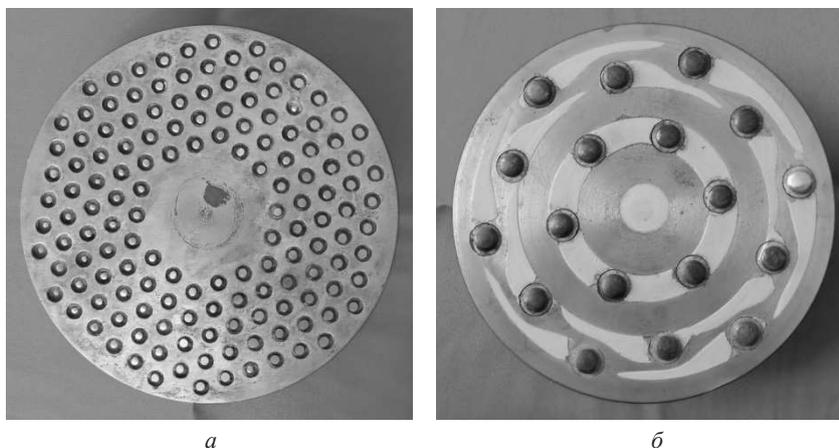


Рис. 2. Диски с электроосмотической поверхностью: диаметр электродов – 2 мм (а) и 10 мм (б); расстояние между электродами – 10 мм (а) и 30 мм (б)

При подключении отрицательного полюса к диску, а положительного полюса к вставкам-электродам (диаметром 10 мм) при напряжении электроосмоса 30 и 60 В эффект от электроосмоса незначительный: мощность на преодоление трения металлического диска о почву снижается лишь на 6 и 5 % соответственно. Уменьшение диаметра вставок-электродов до 2 мм и расстояния между ними до 10 мм показало положительный эффект по снижению трения диска о почву только для напряжения электроосмоса 30 В. Так, потребную мощность на преодоление трения удалось снизить при прямой полярности электродов на 22 %, а при обратной – на 13 %.

### Заключение

Проблема адгезии и сопротивления, с которой столкнулись почвообрабатывающие орудия и машины, является общей технической проблемой в сельском хозяйстве и во многих других областях техники. Явление адгезии между рабочими поверхностями почвообрабатывающих машин и почвой повышает их рабочее сопротивление и потребление энергии, снижает качество их работы. Для влажной почвы адгезия является результатом действия в почве капиллярного давления и вязкого сопротивления водяной пленки на границе раздела, для сухой – сил межмолекулярного притяжения и отрицательного давления воздуха. Обычные методы снижения адгезии почвы включают выбор формы поверхности и отделочных материалов, применение электроосмоса, магнитного поля, вибрации и смазки.

Почвенные животные демонстрируют исключительные антиадгезионные способности и функции снижения сопротивления. Эти живые организмы наделены исключительными и идеальными механизмами борьбы с прилипанием различных веществ к их телам.

### Список использованных источников

1. Программа мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв в Республике Беларусь на 2011–2015 гг. / В. Г. Гусаков [и др.] ; под. ред. В. Г. Гусакова ; Нац. акад. наук Беларуси, Мин-во сельского хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, Гос. комитет по имуществу Респ. Беларусь, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2010. – 106 с.
2. Голдыбан, В. В. Экспериментальные установки для исследований по земледельческой механике / В. В. Голдыбан // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2020. – Вып. 53. – С. 66–71.

3. Голдыбан, В. В. К разработке на основе элементов бионики антиадгезионных и антифрикционных поверхностей почвообрабатывающих машин / В. В. Голдыбан // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию со дня образования РУП «Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механизации сел. хоз-ва», Минск, 18–20 окт. 2017 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва ; редкол.: П. П. Казакевич [и др.]. – Минск, 2017. – С. 298–306.

4. Голдыбан, В. В. Снижение сил резания при почвообработке с помощью бионического метода электроосмоса / В. В. Голдыбан, А. Н. Антоненко, К. Н. Мисников // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 110-летию со дня рожд. акад. М. Е. Мацепуро, Минск, 17–18 окт. 2018 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва ; редкол.: П. П. Казакевич [и др.]. – Минск, 2018. – С. 275–280.

5. Ветохін, В. Використання природних аналогів при проектуванні процесів та знарядь обробітку ґрунту / В. Ветохін, В. Голдыбан // Науково-технічні засади розробки, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій : тези наук. доповідей XIX Міжнар. наук. конф., присвяч. 85-річчю від дня народж. акад. Л. В. Погорілого та 150-річчю від дня народж. проф. К. Г. Шиндлера / редкол.: В. Кравчук (гол. ред.) [та ін.]. – Дослідницьке : УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, 2019. – С. 17–19.

**Д. И. Комлач, А. Н. Антоненко, В. В. Голдыбан**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: labpotato@mail.ru*

## **К РАЗРАБОТКЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ТРАКТОРОВ И АВТОМОБИЛЕЙ С МАЛОТОКСИЧНЫМ ПРОЦЕССОМ СГОРАНИЯ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены основные средства снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизельных двигателей и приведено нетрадиционное новое актуальное решение проблемы снижения токсичности отработавших газов дизельных двигателей мобильных транспортных средств и тракторов за счет совершенствования процесса сгорания топлива в двух разделенных камерах сгорания.

*Ключевые слова:* рабочий процесс, выбросы вредных веществ, рециркуляция, сажевый фильтр, камера сгорания, малотоксичный процесс сгорания.

**D. I. Komlach, A. N. Antonenko, V. V. Goldyban**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: labpotato@mail.ru*

## **TO THE DEVELOPMENT OF DIESEL ENGINES FOR TRACTORS AND VEHICLES WITH A LOW-TOXIC COMBUSTION PROCESS**

*Abstract.* The article discusses the main means of reducing emissions of harmful substances with exhaust gases of diesel engines and provides an unconventional new topical solution to the problem of reducing the toxicity of exhaust gases of diesel engines of mobile vehicles and tractors by improving the combustion process in two separated combustion chambers.

*Keywords:* working process, emissions of harmful substances, recirculation, particulate filter, combustion chamber, low-emission combustion process.

### **Введение**

Дизельные двигатели, применяемые на автомобильном транспорте и тракторной технике в качестве энергетических установок, являются одним из существенных источников загрязнения окружающей среды. Присутствующие в отработавших газах (ОГ) токсичные компоненты обладают различными химическими свойствами, по-разному воздействуют на организм человека. Наиболее опасны для человека, животного и растительного мира следующие компоненты ОГ: сажа, бенз(а)пирен, оксиды азота, альдегиды, оксиды углерода и углеводороды. Степень их воздействия на организм человека зависит от концентрации вредных соединений в атмосфере, состояния человека и его индивидуальных особенностей. Таким образом, ОГ дизелей в силу большого количества и высокой токсичности чрезвычайно опасно действуют на здоровье людей, а также на всю окружающую среду. Поэтому в настоящее время одной из важнейших проблем является разработка способов и средств снижения токсичности ОГ дизелей, обладающих высокими показателями по очистке и ресурсу работы.

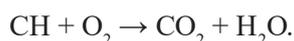
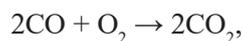
### **Основная часть**

*Анализ систем снижения токсичных выбросов дизелей.* Основная доля вредных веществ, содержащихся в ОГ дизелей и загрязняющих окружающую среду, состоит из окислов азота  $\text{NO}_x$ , углеводородов  $\text{CH}$ , окиси углерода  $\text{CO}$ , а также углерода  $\text{C}$  (сажи). Из перечисленных веществ  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$  и  $\text{C}$  являются продуктами неполного сгорания топлива. Количество  $\text{NO}_x$  в выхлопных

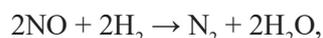
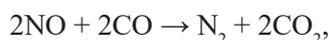
газах связано, в основном, с высокой температурой сгорания топлива. Окислы азота образуются в двигателе при взаимодействии кислорода и азота, содержащихся в воздухе при температуре свыше 1800 °С. Чем выше температура сгорания, тем больше образуется NO<sub>x</sub>. На температуру сгорания влияют конструктивные факторы (например, степень сжатия) и режим работы двигателя (состав смеси, нагрузка) [1]. Уменьшение количества и изменение качественного состава вредных веществ, выбрасываемых в окружающую среду с ОГ, достигается целым комплексом мероприятий. Среди них следует отметить ряд конструктивных разработок: специальные конструкции камер сгорания для работы на бедных смесях, в том числе с различными типами форкамер; рециркуляцию ОГ, т. е. подачу их части на вход в двигатель; системы регулирования фаз газораспределения, уменьшающие перекрытие клапанов на пониженных режимах и т. д. Однако даже при использовании в конструкции двигателей всех самых передовых решений удовлетворить нормы токсичности, установленные, например, в США, Японии и странах Европы, не удастся.

Вследствие этого современные автомобили с дизельными двигателями снабжаются каталитическими нейтрализаторами.

Нейтрализатор состоит из носителя, заключенного в корпус. Носитель представляет собой керамический материал (сотовой конструкции или в виде шариков), покрытый тонким слоем катализатора из благородных металлов, например: платины, палладия, родия. При температуре поверхности катализатора свыше 250–300 °С содержащиеся в ОГ окислы углерода СО эффективно окисляются, а их концентрация в выхлопных газах снижается во много раз. Окисление углеводородов СН происходит при более высокой температуре (400 °С):

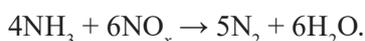


Вместе с тем последовательное ужесточение норм токсичности потребовало создания нейтрализаторов, снижающих не только концентрацию СО и СН, но и одновременно окислов азота NO<sub>x</sub>. Такие нейтрализаторы называются трехкомпонентными. Основная проблема заключается в том, что в отличие от указанных выше реакций окисления уменьшение концентраций NO<sub>x</sub> является реакциями восстановления:



(при низких значениях коэффициента избытка воздуха  $a < 1$ )

Для снижения выбросов оксидов азота применяют частичную рециркуляцию ОГ, т. е. перепуск ОГ во впускной трубопровод (английская аббревиатура – EGR). Эта технология позволяет одновременно снижать содержание сажи и NO<sub>x</sub>. Другой способ снижения выброса NO<sub>x</sub> основан на подаче реагента AdBlue (32,5%-й раствор карбамида (мочевины) в деионизированной воде) в выхлопную трубу перед каталитическим нейтрализатором (английская аббревиатура – SCR). Реакции восстановления азота проходят при температуре свыше 350 °С. Расход раствора AdBlue составляет 4–5 % расхода дизельного топлива.



В выхлопных газах дизеля присутствуют, иногда в больших количествах, частицы углерода (сажа). Это происходит из-за наличия зон богатой смеси в струе распыляемого топлива. Сажевыделение дизеля создает характерный черный дым выхлопа и так же, как и другие вещества, ограничивается нормами токсичности. Снижение сажевыделения достигается более ранним впрыском (правда, ограниченным «жесткостью» сгорания и повышением нагрузок на детали) и ограничением подачи насоса. Среди конструктивных мероприятий следует отметить увеличение скорости впрыска и качества распыления топлива за счет увеличения давления подачи, а также электронное регулирование подачи. Дымление двигателя резко возрастает при приближении состава смеси к стехиометрическому ( $a = 1$ ), поэтому дизели, несмотря на то что вблизи  $a = 1$

мощность и крутящий момент максимальны, имеют ограничение цикловой подачи топлива по пределу дымления. Для снижения выброса сажи с ОГ выпускной трубопровод дизеля оснащается специальным сажевым фильтром [2].

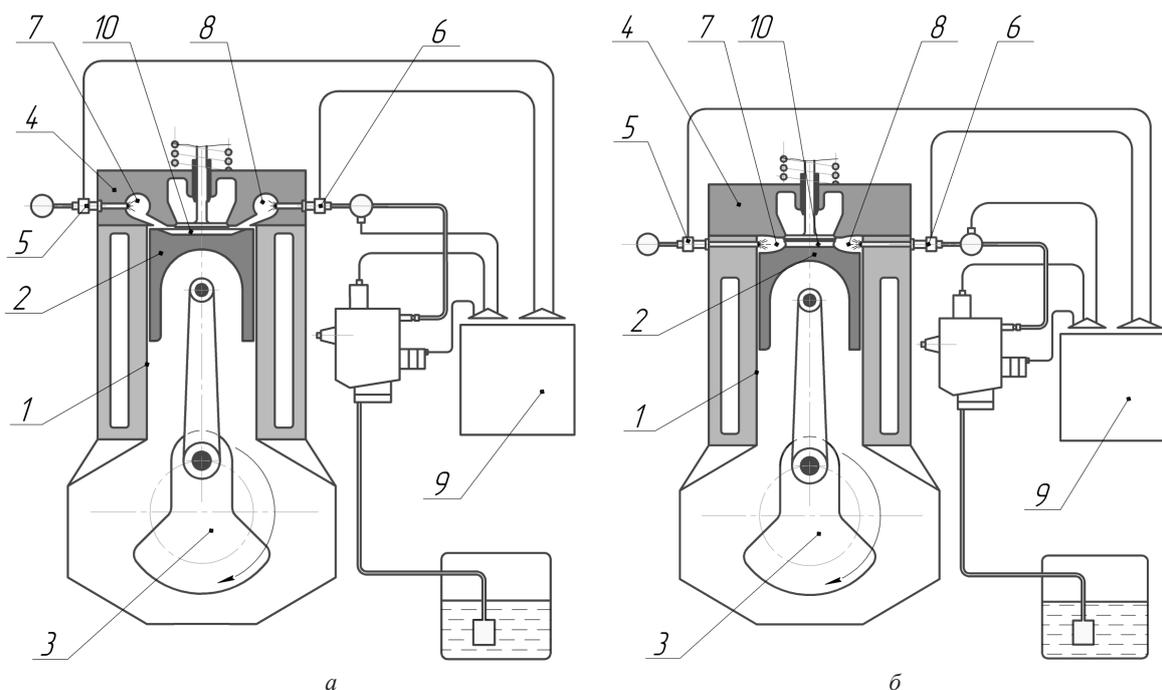
Известно, что токсичность ОГ дизельных двигателей определяется в первую очередь тремя факторами. Первый фактор – низкая температура ОГ и работа на бедных смесях, в результате чего эффективность каталитических нейтрализаторов крайне низкая. Второй фактор – повышенный выброс на некоторых режимах, особенно при прогреве, продуктов неполного сгорания с характерным неприятным запахом (акролеина, альдегидов и др.), многие из которых канцерогенные. Третий фактор – частицы сажи и твердые частицы, которые являются носителями канцерогенов. Одним из наиболее эффективных способов снижения сажеобразования является использование наддува. Все применяемые сегодня системы по снижению токсичных веществ в ОГ имеют высокую стоимость изготовления, малый ресурс, не отвечают в полной мере требованиям стандарта по экологии Евро-6, что требует разработки принципиально новых решений. Экологическая чистота выхлопа должна обеспечиваться конструкцией самого дизельного двигателя и малотоксичным процессом сгорания. Дизельный двигатель при работе на всех режимах должен сам обеспечивать малотоксичный рабочий процесс с минимальным содержанием токсичных компонентов в ОГ. Наиболее значительное влияние на экологические и топливно-экономические показатели дизельного двигателя оказывает процесс сгорания топлива. Это объясняется тем, что основная масса токсичных компонентов ОГ представляет собой продукты горения топливовоздушной смеси.

#### ***Описание конструкции дизельного двигателя с малотоксичным процессом сгорания.***

Предлагаемый двигатель внутреннего сгорания (см. рисунок) не отличается от традиционного и содержит по меньшей мере один цилиндр 1 с поршнем 2, кинематически связанным с коленчатым валом 3, и головку цилиндра 4. Две электромагнитные форсунки подачи топлива 5 и 6 обеспечивают впрыск топлива в две отдельные камеры сгорания 7 и 8, которые выполнены равного объема. Топливо из бака к электромагнитным форсункам подачи топлива 5 и 6 подается системой топливоподачи к электронным блокам управления подачей топлива 9, позволяющим оптимальным для нагрузочного режима двигателя образом управлять продолжительностью, фазами и законом подачи топлива. Камеры сгорания 7 и 8 соединены между собой перепускным каналом 10 с возможностью выравнивания в них давления во время сгорания топлива только в одной камере сгорания при расположении поршня 2 вблизи верхней мертвой точки. Перепускной канал 10 выполнен в днище поршня 2, хотя он может быть расположен и в головке цилиндра 4. Геометрический объем перепускного канала 10 не превышает 0,5 рабочего объема одной камеры сгорания, например, объема камеры сгорания 7.

Способ работы двигателя внутреннего сгорания осуществляют следующим образом. На максимальной мощности дизельного двигателя электронный блок управления подачей топлива 9 посылает свои импульсы по проводам на катушки электромагнитных форсунок подачи топлива 5 и 6 одновременно как по четным, так и по нечетным рабочим циклам. При этом электромагнитные форсунки подачи топлива 5 и 6 выполняют цикловую подачу топлива в отдельные камеры сгорания 7 и 8. Каждая электромагнитная форсунка подачи топлива 5 и 6 впрыскивает 0,5 расчетной цикловой подачи топлива, рассчитанной по величине воздушного заряда цилиндра двигателя. Во избежание образования большого количества оксидов азота NOx топливо в камерах сгорания 7 и 8 сгорает с некоторым дефицитом свободного кислорода, увеличенным содержанием продуктов неполного сгорания и первичных частиц сажи. При вращении кривошипа коленчатого вала 3 и прохождения поршнем 2 верхней мертвой точки горячая смесь из камер сгорания 7 и 8 выбрасывается в перепускной канал 10, содержащий большое количество сжатого чистого воздуха.

Наличие свободного атомарного кислорода в перепускном канале 10 при высокой температуре смеси (более 1500 °С) обеспечивает полное дожигание продуктов неполного сгорания и первичных частиц сажи в конечной фазе сгорания. Фактически процесс сгорания топлива на максимальных нагрузках в цилиндре предлагаемого двигателя не отличается от сгорания топлива в рабочем цилиндре современного дизеля с разделенной камерой сгорания.

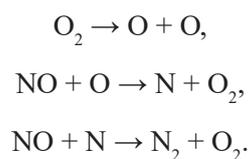


Схемы дизельного двигателя внутреннего сгорания, работающего по предлагаемому способу:  
 а – с двумя разделенными вихревыми камерами сгорания, расположенными в головке цилиндров;  
 б – с двумя отдельными камерами сгорания, выполненными в поршне рабочего цилиндра; 1 – цилиндр;  
 2 – поршень; 3 – коленчатый вал; 4 – головка цилиндра; 5, 6 – электромагнитные форсунки подачи топлива;  
 7, 8 – отдельные камеры сгорания; 9 – электронный блок подачи топлива; 10 – перепускной канал

Полные мощности в обычных условиях эксплуатации мобильной техники используются сравнительно редко: для ускорения автомобиля или при преодолении больших подъемов, а в подавляющем большинстве случаев автомобиль эксплуатируется с частичными нагрузками, связанными с малыми цикловыми подачами топлива.

При работе предлагаемого дизельного двигателя на частичных нагрузках и холостом ходу подачу топлива осуществляют следующим образом: первой электромагнитной форсункой подачи топлива 5 выполняют впрыск топлива только по четным рабочим циклам в первую камеру сгорания 7, а второй электромагнитной форсункой подачи топлива 6 осуществляют впрыск топлива только по нечетным рабочим циклам во вторую камеру сгорания 8. При этом цикловая подача топлива каждой форсунки соответствует нагрузке и всему воздушному заряду, подвергаемому сжатию в двух камерах сгорания цилиндра 1 дизельного двигателя. На переходных режимах работы одна электромагнитная форсунка подачи топлива может работать как по четным, так и по нечетным рабочим циклам, а вторая электромагнитная форсунка подачи топлива, например, только по нечетным рабочим циклам, и наоборот. Малотоксичный рабочий процесс при работе дизельного двигателя на частичных нагрузках и холостом ходу обеспечивается следующим образом. Для снижения образования оксидов азота  $\text{NO}_x$  первая стадия сгорания топлива осуществляется в каждой камере сгорания 7 и 8 поочередно через четыре оборота коленчатого вала при обогащенной рабочей смеси. Все топливо одного цикла, рассчитанное электронным блоком управления 9 в соответствии с загрузкой двигателя и зарядом воздуха при формировании обедненной смеси, впрыскивается только одной форсункой подачи топлива в одну из камер сгорания 7 или 8. Вследствие этого рабочая смесь переобогащается топливом и процесс сгорания в первой фазе сгорания топлива осуществляется в условиях недостатка кислорода при более низкой температуре, а вторая стадия диффузионного сгорания протекает в перепускном канале 10 при обедненной смеси и интенсивной турбулизации топливовоздушной смеси за счет скоростного истечения чистого воздуха из той камеры сгорания, в которой электромагнитная форсунка

пропускает впрыск топлива. Такое исполнение рабочего процесса в цилиндре дизельного двигателя в условиях частичных нагрузок и переходных режимов тормозит процесс эмиссии  $\text{NO}_x$  из-за дефицита кислорода на первой стадии сгорания топлива в условиях высоких температур при положении поршня около верхней мертвой точки, когда имеются наилучшие условия для образования  $\text{NO}_x$ , а на второй стадии, в период догорания топлива, процесс образования оксидов азота  $\text{NO}_x$  прекращается в результате снижения общего температурного уровня рабочих газов в цилиндре двигателя из-за их расширения, в начале движения поршня к нижней мертвой точке. Снижение выбросов промежуточных продуктов неполного сгорания углеводородных топлив происходит за счет перетекания большого количества сжатого воздуха, содержащего свободный кислород из второй камеры сгорания в перепускной канал 10, турбулизации смеси в конечной фазе сгорания и ускорением реакций окисления. Следует отметить, что при диссоциации молекулы кислорода и образовании атомарного кислорода в перепускном канале 10 оксид азота вступает с ним в реакцию и распадается до молекул азота и кислорода:



Высокая степень использования кислорода позволяет достигнуть на частичных нагрузках и холостом ходу более низких, чем у дизелей, оборудованных одной форсункой подачи топлива на один цилиндр, показателей содержания токсичных веществ в ОГ. Сокращение периода задержки воспламенения топлива обеспечивается существенным сокращением степени рециркуляции (или ее отсутствием) и снижением количества инертных газов в рабочем воздушном заряде при возрастании в нем процентного содержания молекул кислорода в момент начала впрыска топлива. Необходимо отметить, что в предлагаемом малотоксичном рабочем процессе в начальный период сгорания рабочая смесь содержит высокий процент содержания кислорода при его общем количественном дефиците, что снижает интенсивность тепловыделения, температуру рабочих газов и образование оксидов азота  $\text{NO}_x$  при соблюдении условия минимальной задержки воспламенения топлива. Вместе с тем в конечной фазе сгорания топлива, в период диффузного сгорания при обедненной рабочей смеси, за счет скоростного истечения чистого воздуха из второй камеры сгорания, где электромагнитная форсунка подачи топлива не выполняет впрыск топлива в камеру сгорания, и турбулизации рабочей смеси интенсивно нарастают скорость сгорания и тепловыделение. Снижение количества инертных газов в рабочем воздушном заряде при возрастании процентного содержания кислорода в рабочей смеси во второй фазе процесса сгорания обеспечивает высокую скорость сгорания топлива, повышает температуру рабочих газов и их давление в начале рабочего хода, что увеличивает среднее индикаторное давление цикла и положительно сказывается на топливной экономичности дизеля. При этом высокая температура рабочей смеси при избытке кислорода в период догорания топлива в начале расширения обеспечивает полное сгорание компонентов несгоревшего топлива и минимальное содержание в ОГ углеводородов и сажи. Малотоксичный рабочий процесс сгорания характеризуется умеренной скоростью тепловыделения в первом периоде сгорания и возрастанием ее интенсивности во втором периоде, что существенно снижает образование вредных веществ в цилиндрах дизеля, а топливо в цилиндрах сгорает до конечных безвредных продуктов.

### Заключение

Таким образом, согласованная работа двух электромагнитных форсунок подачи топлива в две отдельные камеры сгорания равного объема, сообщающихся между собой с помощью перепускного канала, выполненного в днище поршня, реализуют в наибольшей мере малотоксичный процесс сгорания топлива в дизельном двигателе, обеспечивающий минимальный уровень токсичности и дымности дизеля. Предлагаемая организация протекания процесса сгорания топлива на переходных режимах и холостом ходу двигателя внутреннего сгорания с впрыском топлива

в камеру сгорания обеспечивает требуемую экологическую безопасность и топливную экономичность. Новизна, или отличительная особенность, изобретения – это наличие в каждом рабочем цилиндре дизельного двигателя вместо одной-двух отдельных, равных по объему камер сгорания с двумя электромагнитными форсунками подачи топлива. Тогда малотоксичный процесс сгорания топлива в дизельном двигателе, работающем с переменным режимом нагрузок, заключается в том, что на холостом ходу и частичных нагрузках топливо сгорает поочередно, например, по четным рабочим циклам – в первой камере сгорания, а по нечетным рабочим циклам – во второй камере сгорания. При этом в камере сгорания, куда не впрыскивается топливо, сжимается атмосферный воздух с остатками ОГ, оставшихся в камере сгорания после сгорания в ней топлива в предыдущем рабочем цикле. В процессе расширения эта камера очищается от остатков ОГ (они смешиваются со сжатым воздухом и вытесняются в рабочий цилиндр). После очередного газообмена в следующем рабочем цикле при сгорании топлива в этой камере сгорания остаточные газы будут отсутствовать, что уменьшает задержку воспламенения и положительно сказывается на малотоксичном сгорании топлива. Вместе с тем атмосферный воздух, содержащий большое количество активных молекул свободного кислорода, при перетекании в перепускной канал и рабочий цилиндр в конечном периоде процесса сгорания способствуют турбулизации топливоздушную смеси в перепускном канале и мгновенно дожигают при высокой температуре и давлении промежуточные продукты неполного сгорания топлива, включая сажу и окислы углерода. Выделившаяся при этом тепловая энергия повышает температуру сжатого воздуха и среднее индикаторное давление цикла, что также увеличивает топливную экономичность дизельного двигателя.

#### **Список использованных источников**

1. Лиханов, В. А. Снижение токсичности автотракторных дизелей / В. А. Лиханов, А. М. Сайкин. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Колос, 1994. – С. 73–79.
2. Дмитриевский, А. Снижение токсичности отработавших газов современных дизелей [Электронный ресурс] / А. Дмитриевский // Основные средства. – 2016. – Режим доступа: <https://os1.ru/article/7221-snijenie-toksichnosti-otrabotavshih-gazov-sovremennyh-dizeley>. – Дата доступа: 02.08.2021.

**В. И. Передня, Е. Л. Жилич, А. А. Кувшинов, Ю. Н. Рогальская, А. М. Злотник**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: npc\_mol@mail.ru*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ И КОНТРОЛЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖИВОТНЫХ**

*Аннотация.* В статье рассмотрена проблема автоматизации технических процессов молочного предприятия. Автоматизация меняет качество труда, упрощая его физически, делает более содержательным, предъявляя при этом повышенные требования к уровню технической подготовки персонала. С целью автоматизации технических процессов на молочно-товарных фермах рассмотрено применение программно-аппаратного комплекса системы идентификации и контроля физиологического состояния животных для автоматического сбора сведений о физиологическом состоянии животных, анализа полученных данных и выдачи их в простом для восприятия виде, в том числе выдачи предупреждений и рекомендаций.

*Ключевые слова:* автоматизация, учет, комплекс, система управления, программное обеспечение, средства управления, трансивер, датчик, ошейник, доильный аппарат, контроль, контроллер, процесс, система интегрированного управления, анализ.

**V. I. Perednya, E. L. Zhilich, A. A. Kuvshinov, Yu. N. Rogalskaya, A. M. Zlotnik**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: npc\_mol@mail.ru*

## **APPLICATION OF THE SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX OF THE SYSTEM OF IDENTIFICATION AND CONTROL OF THE PHYSIOLOGICAL STATE OF ANIMALS**

*Abstract.* The article deals with the problem of automation of technical processes in a dairy enterprise. Automation changes the quality of work, simplifying it physically, making it more meaningful, while making increased demands on the level of technical training of personnel. In order to automate technical processes at dairy farms, the authors considered the use of a hardware and software system for the identification and control of the physiological state of animals for the automatic collection of information about the physiological state of animals, analysis of the data obtained and issuing them in an easy-to-understand form, including the issuance of warnings and recommendations.

*Keywords:* automation, accounting, complex, control system, software, controls, transceiver, sensor, collar, milking machine, control, controller, process, integrated control system, analysis.

### **Введение**

В настоящее время на ряде высокопродуктивных молочных ферм республики осваиваются новые технологические схемы производства молока при беспривязном содержании дойного стада. Эксплуатируется порядка 150 образцов доильных установок с электронными системами управления стадом. Удельный вес средств электронной идентификации и компьютеризированной системы управления стадом в общей стоимости оборудования достигает 70 % [1]. Применение распределительных систем идентификации и контроля предусматривает использование индивидуальных трансиверов, а также наличие централизованных систем обработки данных, считываемых с трансиверов антеннами, закрепленными в фиксированных местах.

## Основная часть

Технологии, базирующиеся на электронной идентификации животных и компьютеризированном учете индивидуальных особенностей, успешно претворяются в жизнь производителями сельскохозяйственного оборудования развитых стран.

Ряд производителей предлагает к применению комплексные системы управления движением стада, включающие селекционные ворота, автоматические доильные аппараты, измерители потока молока, автоматизированные раздатчики кормов, специальное программное обеспечение, а также аппаратные и программные средства управления (АСУ). Так, АСУ движением животных разрабатываются и поставляются в Республику Беларусь компаниями DeLaval ((Швеция), доильный зал MidiLine) и GEA ((Германия), доильный зал DairyProQ), SCR ((Израиль), доильный зал ОАО «Гомельагрокомплект»), DairyMaster (Ирландия). В качестве исполнительных механизмов применяются трансиверы, обеспечивающие обмен данными между доильными аппаратами и программой управления фермой, обеспечивают полный контроль над всеми технологическими и физиологическими процессами. Обмен данными осуществляется в режиме реального времени [2].

Некоторые из локальных контроллеров АСУ доильным залом предоставляют оператору набор функций и позволяют управлять с одного места практически всем оборудованием, установленным в зале. Допускается также удаленная связь с оборудованием зала при помощи мобильного телефона.

Однако системы интегрированного управления производственными процессами зарубежного производства могут функционировать только в комплекте с фирменными контроллерами отдельных технологических операций, что практически исключает возможность модернизации оборудования без постоянной замены комплектующих.

Кроме того, сбор и анализ информации о надоях, потреблении корма, показателях воспроизводства осуществляются согласно стандартам стран производителей. Системы управления не формируют базу данных, пригодную для использования в отечественных автоматизированных программах крупномасштабной селекции [3].

Автоматизация технических процессов молочного предприятия является важнейшим показателем уровня его технического развития. Обеспечивая технологические и экономические преимущества, которых невозможно достичь при традиционной организации производства, она является основой перспективного развития современной молочной индустрии. Углубление уровня автоматизации в молочной промышленности имеет огромное значение, проявляющееся через повышение эффективности труда, улучшение качества молочных продуктов, оптимальное использование производственных ресурсов и др.

Автоматизация меняет качество труда, упрощая его физически, делает более содержательным, предъявляет повышенные требования к уровню технической подготовки персонала, высвобождает сотрудников, занятых на трудоемких и зачастую неквалифицированных работах.

С целью автоматизации технических процессов на молочно-товарных фермах лабораторией механизации процессов производства молока и говядины РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с ООО «Полиэфир АГРО» разработан и создан программно-аппаратный комплекс системы идентификации и контроля физиологического состояния животных (ИКФС) для автоматического сбора сведений о физиологическом состоянии животных, анализа полученных данных и выдачи их в простом для восприятия виде, в том числе выдачи предупреждений и рекомендаций.

ИКФС обеспечивает централизованный компьютерный учет и систематизацию параметров, контроль над физиологическими показателями каждого животного в стаде, группировку их по различным показателям, отслеживание динамики влияния факторов и мероприятий. Исполнительным элементом ИКФС является индивидуальный датчик – трансивер, предназначенный для снятия, формирования и передачи данных о физиологическом состоянии животного, а именно о двигательной активности, руминации и температуре.

Индивидуальный датчик монтируется на ошейнике с грузом, который обеспечивает его стабильное положение. На ошейнике также монтируется номер коровы, набранный из стандартных прямоугольных цифр. Общий вид и устройство ошейника представлены на рис. 1.

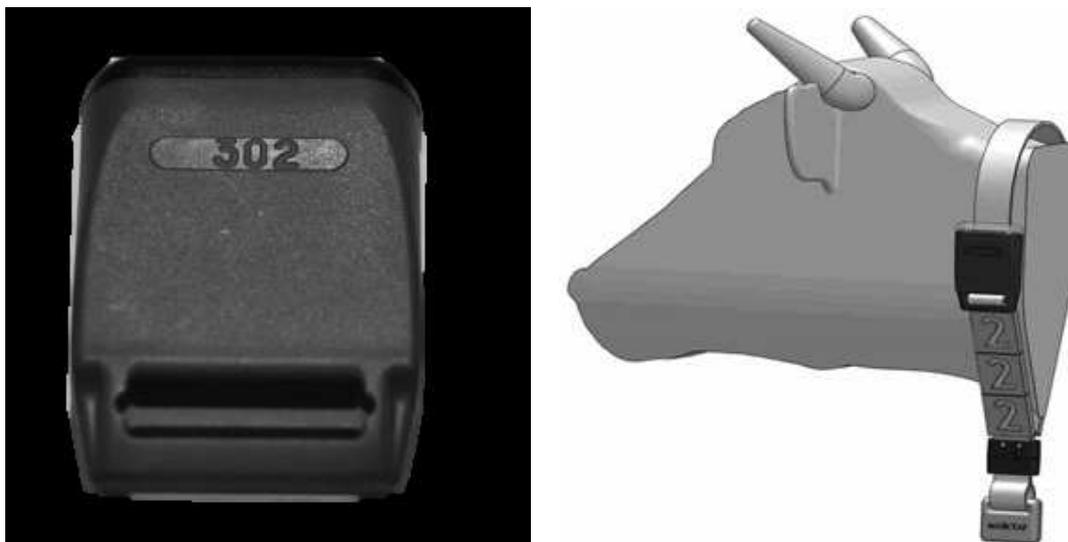


Рис. 1. Ошейник с трансивером

В общем плане система идентификации и контроля физиологического состояния животных состоит из приемников, трансиверов, закрепленных на ошейниках коров, и программы, обрабатывающей полученные данные.

Трансивер производства ООО «Полиэфир АГРО» – идентификационное устройство с большим набором функций. Устанавливается на ремне ошейника на шее коровы, позволяет выявлять идентификацию животного (имеет уникальный номер), обеспечивает выявление охоты 24/7 с отображением оптимального времени для осеменения, отслеживание состояния здоровья (стояние, лежание, движение), пищевое поведение и прочее активное поведение. Также позволяет осуществлять передачу данных в реальном времени в радиусе 90 м. Имеет внутреннюю память датчика, возможность замены внутренней батареи, проверки уровня заряда батареи в отчетах программы ПК «Майстар». Нечувствителен к помехам от воздействия окружающей среды и внешних источников. Таким образом, каждое животное в стаде всегда находится под контролем. Срок службы данного устройства – 8–10 лет.

Необработанный график активности животного можно посмотреть непосредственно в программе в личной карточке (рис. 2). Как правило, пиковые (явно выделяющиеся) значения несут в себе полезную информацию. Изначально на графике отображены данные за последний месяц. Данные по активности хранятся в течение определенного периода, задаваемого в настройках программы хранения указанных данных. По умолчанию период равен 100 дням.

К достоинствам ИКФС можно отнести:

- исключение ручного внесения сведений зоотехнического учета;
- формирование базы данных информации по заданным параметрам;
- отсутствие необходимости в составлении зоотехнических отчетов и выполнении зооветеринарных мероприятий;
- индивидуальный почасовой мониторинг двигательной активности, руминации;
- уменьшение трудозатрат, требуемых для диагностики и выявления проблем со здоровьем животных.

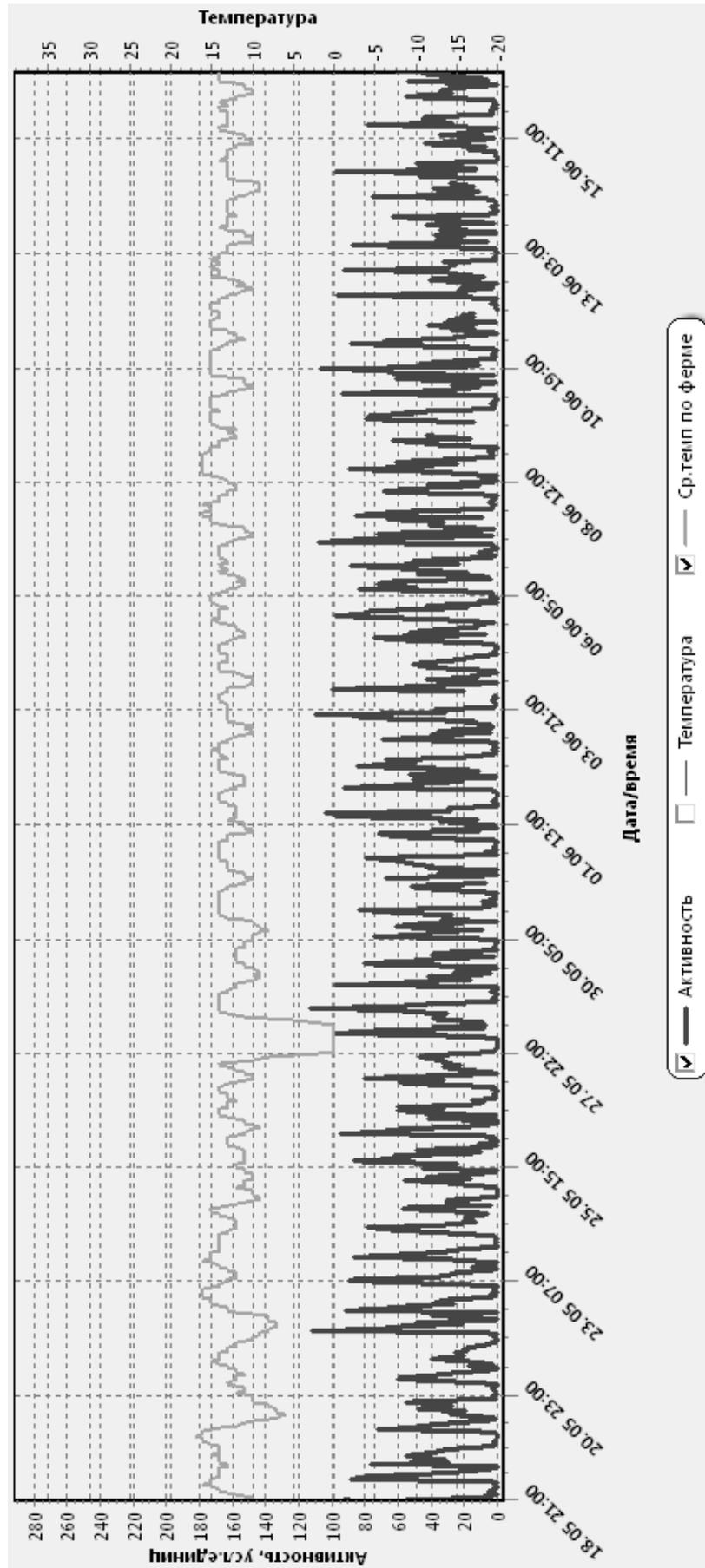


Рис. 2. Общий вид графика активности

## Заключение

Конечной целью автоматизации производственных процессов на молочных предприятиях является создание полностью автоматизированного производственного сектора, в котором функции работников сводятся к настройке производственного цикла на определенный режим работы, наблюдению за ним, наладке контрольных приборов, механизмов и устройств, профилактическому ремонту и устранению неисправностей.

Видно, что в Республике Беларусь недостаточно проработаны вопросы производства оборудования для идентификации и контроля состояния животных, а имеющееся оборудование представлено зарубежными образцами, что создает неблагоприятную ценовую обстановку. Создание отечественной системы позволяет решить существующие проблемы и развить отрасль.

## Список использованных источников

1. Marinello, F. Application of the Kinect sensor for dynamic soil surface characterization / F. Marinello // Precision Agriculture. – 2015. – Vol. 5. – P. 1–12.
2. Unal, H. Determination of operating parameters in milking robots with free cow traffic / H. Unal, H. Kuraloglu // Engineering for Rural Development. – 2015. – Vol. 14. – P. 100.
3. Тихомиров, И. А. Соблюдение технологии машинного доения – залог повышения качества молока и продуктивного долголетия коров / И. А. Тихомиров, В. К. Скоркин, Т. А. Рахманова // Вестник Всерос. науч.-исслед. ин-та механизации животноводства. – 2017. – № 4 (28). – С. 53–60.

**В. Ф. Радчиков<sup>1</sup>, А. В. Астренков<sup>2</sup>, Н. Н. Гадлевская<sup>3</sup>,  
В. И. Передня<sup>4</sup>, Е. Л. Жилич<sup>4</sup>, Ю. Н. Рогальская<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству»

г. Жодино, Республика Беларусь

E-mail: labkrs@mail.ru

<sup>2</sup>УО «Полесский государственный университет»

г. Пинск, Республика Беларусь

E-mail: box@polessu.by

<sup>3</sup>РУП «Институт рыбного хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: belniirh@tut.by

<sup>4</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: npc\_mol@mail.ru

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ КАРПА ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ СТОИМОСТИ КОМБИКОРМОВ**

*Анотация.* В результате осеннего облова установлено, что поштучный выход с нагула составил: по трехлетку – 85 %, среднештучная масса – 840 г; по двухлетку – 85–86 % и 410–440 г, что несколько выше норматива. При кормлении товарного трехлетка карпа малокомпонентными комбикормами можно получить рентабельность более 50 %, двухлетка карпа – 18–20 %.

*Ключевые слова:* рыба, карп, комбикорма, среднесуточная масса, рентабельность.

**V. F. Radchikov<sup>1</sup>, A. V. Astrenkov<sup>2</sup>, N. N. Gadlevskaya<sup>3</sup>,  
V. I. Perednya<sup>4</sup>, E. L. Zhilich<sup>4</sup>, Yu. N. Rogalskaya<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>RUE "SPC NAS of Belarus on Animal Husbandry"

Zhodino, Republic of Belarus

E-mail: labkrs@mail.ru

<sup>2</sup>EI "Poleski State University"

Pinsk, Republic of Belarus

E-mail: box@polessu.by

<sup>3</sup>RUE "Institute of Fisheries"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: belniirh@tut.by

<sup>4</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: npc\_mol@mail.ru

## **IMPROVING THE EFFICIENCY OF CARP FARMING BY REDUCING THE COST OF FEED**

*Abstract.* As a result of the fall fishing was determined that the yield in feeding period was: on three-year feeding – 85 %, average weight – 840 g; on a two-year feeding – 85–86 %, average weight – 410–440 g, that is slightly higher than the norm. In the study of the three-year market carp in feeding with less compound feeds it is possible to obtain more than 50 % of profitability, with two-year market carp – 18–20 %.

*Keywords:* fish, carp, mixed feeds, average daily gain, profitability.

## Введение

Прудовое рыбоводство является наиболее эффективным с экономической, рыбоводной и экологической точек зрения. В будущем доминирующее положение прудового рыбоводства в отрасли не только сохранится, но и усилится, поскольку это наиболее конкурентоспособная в рыночных условиях форма ведения рыбного хозяйства.

Около 40 % рыбхозов, занимающихся прудовым рыбоводством по традиционной технологии, имеют показатели по общей рыбопродуктивности значительно ниже средних по республике и зональных нормативов. В связи с этим имеются большие резервы увеличения производства товарной рыбы в рыбхозах с невысокой рыбопродуктивностью. Для передовых хозяйств, где товарная продукция составляет 15–20 ц/га, возможности увеличения производства рыбы по традиционной технологии исчерпаны. Поэтому дальнейший рост ее производства в действующих рыбхозах без перехода на интенсивные технологии крайне ограничен. Использование интенсивных технологий предусматривает: культивирование высокопродуктивных пород, линий и гибридов карпа; использование технических средств для его кормления (автокормушки) и аэрации воды в прудах; высокие плотности посадки рыбы на нагул; поликультуру на основе карпа, растительноядных рыб, щуки и других видов; управление гидрохимическим и гидробиологическим режимами прудов; профилактику заболеваний рыб; использование высококачественных концентрированных кормов.

Вместе с тем использование высококачественных комбикормов на прудах без учета физиологической потребности рыб не всегда оправдано. В нашей республике для получения товарного карпа используют комбикорм К-111 с содержанием протеина 23 %. Объем потребляемых рыбой за сезон кормов распределяется примерно следующим образом: май – 3 %, июнь – 19, июль – 36, август – 37, сентябрь – 5 %. Потребление кормов, начиная с мая, увеличивается, в то время как доля энергии корма, затрачиваемой на прирост, постоянно снижается.

Происходит это потому, что после зимовки качество резервных питательных веществ в теле годовика карпа низкое, его организм ослаблен, что приводит к снижению поиска естественной пищи. С повышением температуры воды обмен веществ в организме двухлетка карпа ускоряется. При недостатке естественной пищи кормление карпа высокобелковыми комбикормами в этот период (конец мая – середина июня) сказывается положительно на приросте биомассы и накоплении резервных питательных веществ, а также пополнении организма витаминами. Во второй половине вегетационного сезона гидрохимические условия в прудах ухудшаются, температура воды колеблется в пределах 20–25 °С, кислородный режим ухудшается и составляет 1–5 мг/л, развитие естественной кормовой базы может находиться от высокого до слабого, изменяются процессы обмена у выращиваемого карпа. В этот период начинает преобладать углеводный обмен, карп наиболее эффективно, с определенной частью естественной пищи, потребляет и переваривает углеводистые корма и накапливает в организме гликоген и жир [1]. В этот период карпа можно кормить высокоуглеводными кормами, в частности, малокомпонентными комбикормами (МКК), в состав которых входят зерно злаковых культур, меласса и премикс.

Установлено, что наличие в кормах углеводов, жиров и других соединений, служащих источником энергии, может оказывать азотосберегающий эффект, который обнаружен у карпа Е. З. Эрманом [2]. Ученый показал, что при введении в рацион карпа углеводистой пищи (13,8 % крахмала) количество выделенного рыбами азота уменьшается на 52–59 %. При этом азотосберегающий эффект углеводов у карпа проявляется при использовании в качестве основного белкового компонента как растительной, так и животной пищи.

Как свидетельствует М. А. Щербина [3], двухлеток карп может расти, питаясь кормами с большим диапазоном энергопротеинового отношения, что свидетельствует об исключительной приспособленности его к использованию разнообразных источников питания.

Из вышеизложенного следует, что МКК не оказывает отрицательного влияния на рыбоводные показатели при выращивании товарного карпа [4–8].

## Материалы и методы исследований

Цель работы – установить эффективность применения МКК для кормления товарного карпа. Материалом для исследований служили малокомпонентные комбикорма, традиционные комбикорма рецепта К-111, двухлеток и трехлеток карпа.

Зоотехнические показатели определяли по ГОСТированным методикам. Исследования проводили на базе РПТУП «Рыбхоз «Новоселки» Дрогичинского района Брестской области.

## Результаты и их обсуждение

После весеннего и в начале летнего периода усиленного потребления азотистых веществ наступает период, когда с увеличением температуры относительное поедание их падает. Затем наблюдается другой максимум, совпадающий с максимальной температурой воды. По времени он расходится с максимумом весового потребления пищи. Из этого следует, что у карпа имеется два выраженных периода изменения белкового обмена. Первый минимум наблюдается с конца июня до начала июля и связан со значительным уменьшением потребления азотсодержащих веществ. Накопление жира происходит под кожей, но характер питания у карпа в этот период не меняется.

Второй минимум использования рыбой белка на прирост наблюдается в августе, когда она находится почти в состоянии азотистого равновесия. В это время происходит накопление в организме высококалорийных веществ. В августе весовой рост карпа идет за счет обмена веществ с преобладанием процессов отложения жира. Таким образом, в течение вегетационного периода, по мере роста, карп начинает уменьшать относительную величину потребления пищи.

Учитывая эти физиологические особенности карпа, разработана схема опытов по кормлению его в производственных условиях. Нагульные пруды в РПТУП «Рыбхоз «Новоселки» зарыбили карпом в конце апреля. Плотность зарыбления по двухлетку составила 4,0 тыс. экз/га, среднеступная навеска – 22–23 г, а по трехлетку – 2,0–2,5 тыс. экз/га и 110–125 г соответственно (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Схема зарыбления производственных прудов

Номер варианта	Категория и номер пруда	Возраст рыбы, лет	Площадь, га	Посажено (карп)		
				тыс. экз/га	среднеступная масса, г	всего, кг
I (кормление МКК с 20 июня)	Выростной-4	1+	19	4,0	22	1 672
	Выростной-5	2+	25	2,5	119	7 438
	Нагульный-1	2+	70	2,5	125	21 875
II (кормление МКК с 20 июля)	Выростной-6	1+	20	4,0	22	1 760
	Выростной-7	1+	20	4,0	23	1 840
	Выростной-10	1+	50	4,0	22	4 400
	Выростной-11	1+	25	4,0	22	2 200
Контроль (кормление только К-111)	Нагульный-2	1+	70	4,0	22	6 160
	Нагульный-7	2+	70	2,0	115	16 100
	Нагульный-8	2+	70	2,0	110	15 400

Исследованиями предусматривалось два варианта кормления: переход на МКК с 20 июня и с 20 июля. В контрольных прудах весь сезон рыбу кормили традиционным комбикормом К-111. За период выращивания критических ситуаций по состоянию прудов не наблюдалось. Кормление продолжалось по 3 сентября.

Как показали результаты осеннего облова (табл. 2), поштучный выход с нагула по трехлетку составил 85 %, среднеступная масса – 840 г, по двухлетку – 85–86 % и 410–440 г соответственно, что несколько выше норматива [9].

Рыбопродуктивность опытных прудов в варианте I опытов по трехлетку, получавшему МКК с 20 июня, была не меньше, чем в контрольном варианте (14,9 ц/га). Прирост двухлетка находился на уровне контроля (12,8 и 12,1 ц/га соответственно) (табл. 3).

Т а б л и ц а 2. Влияние МКК на рыбоводные показатели

Номер варианта	Категория и номер пруда	Возраст рыбы, лет	Выловлено (карп)				
			тыс. экз/га	выход, %	среднeshтучная масса, г	всего, кг	прирост, кг
I (кормление МКК с 20 июня)	Выростной-4	1+	3,375	84,4	405	25 970	24 298
	Выростной-5	2+	2,125	85,2	841	44 678	37 240
	Нагульный-1	2+	2,146	85,8	840	126 185	104 310
II (кормление МКК с 20 июля)	Выростной-6	1+	3,400	85,0	440	29 920	28 160
	Выростной-7	1+	3,400	85,0	410	27 880	26 040
	Выростной-10	1+	3,440	86,0	425	72 250	67 850
	Выростной-11	1+	3,440	86,0	425	36 550	34 350
Контроль (кормление только К-111)	Нагульный-2	1+	3,214	80,4	405	91 117	84 957
	Нагульный-7	2+	1,704	85,2	800	95 424	79 324
	Нагульный-8	2+	1,704	85,2	802	95 663	80 263

Т а б л и ц а 3. Рыбопродуктивность производственных прудов

Номер варианта	Категория и номер пруда	Возраст рыбы, лет	Общая рыбопродуктивность, кг/га	Рыбопродуктивность (кг/га), полученная за счет		
				зоопланктона	зообентоса	комбикормов
I (кормление МКК с 20 июня)	Выростной-4	1+	1 280,0	20,6	59,4	1 200,0
	Выростной-5	2+	1 490,0	11,7	59,7	1 418,6
	Нагульный-1	2+	1 490,0	32,6	62,4	1 399,7
II (кормление МКК с 20 июля)	Выростной-6	1+	1 410,0	38,7	51,6	1 338,7
	Выростной-7	1+	1 300,0	19,9	58,4	1 228,7
	Выростной-10	1+	1 360,0	30,0	65,0	1 265,0
	Выростной-11	1+	1 370,0	35,6	59,4	1 275,0
Контроль (кормление только К-111)	Нагульный-2	1+	1 210,0	32,0	63,0	1 115,0
	Нагульный-7	2+	1 133,2*	3,9	58,5	1 070,8
	Нагульный-8	2+	1 146,6**	10,0	42,9	1 093,7

Примечание. Общая рыбопродуктивность пруда с учетом белого амура и карася составила: \* – 1420,0 кг/га; \*\* – 1430,0 кг/га.

В варианте II, где двухлетка карпа перевели на МКК только с 20 июля, рыбопродуктивность оказалась несколько выше, чем в контроле. Кормовой коэффициент при использовании МКК был также не выше, чем на К-111 (2,55–4,10 по двухлетку и 2,76–4,27 по трехлетку) (табл. 4).

Т а б л и ц а 4. Затраты комбикормов на опытных прудах

Номер варианта	Категория и номер пруда	Возраст рыбы, лет	Затраты комбикорма, т			Кормовой коэффициент
			всего	К-111	МКК	
I (кормление МКК с 20 июня)	Выростной-4	1+	62	18	44	2,55
	Выростной-5	2+	120	20	100	3,22
	Нагульный-1	2+	444	87,5	356,5	4,27
II (кормление МКК с 20 июля)	Выростной-6	1+	101	59	42	3,60
	Выростной-7	1+	57	40	17	2,19
	Выростной-10	1+	256	95	161	3,77
	Выростной-11	1+	95	54	41	2,76
Контроль (кормление только К-111)	Нагульный-2	1+	349	349	–	4,10
	Нагульный-7	2+	255	255	–	3,26
	Нагульный-8	2+	222	222	–	2,76

Изучение экономической эффективности выращивания карпа показала, что самая низкая себестоимость рыбы получилась в варианте I, где дольше кормили МКК (2,4 тыс. руб/кг). В варианте II она составила в среднем 2,6 тыс. руб/кг, а в контроле – 3,6 тыс. руб/кг. В результате и самая высокая рентабельность получена в варианте I, а самая низкая – в контроле. Экономический эффект на опытных прудах составил 600 руб/кг выращенной рыбы (табл. 5).

Т а б л и ц а 5. Экономическая эффективность использования малокомпонентного комбикорма в кормлении карпа

Номер варианта	Категория и номер пруда	Затраты на комбикорма, тыс. руб.				Себестоимость, тыс. руб/кг карпа	Прибыль, тыс. руб/кг	Рентабельность, %
		К-111	МКК	всего	на 1 кг рыбы			
I (кормление МКК с 20 июня)	Выростной-4	10 858	16 958	27 816	1,22	2,1	1,1	52
	Выростной-5	12 064	38 545	50 609	1,42	2,5	1,3	52
	Нагульный-1	52 780	137 395	190 175	1,94	2,5	1,3	52
II (кормление МКК с 20 июля)	Выростной-6	35 589	16 187	51 776	1,93	3,0	0,2	6,7
	Выростной-7	24 128	6 552	30 680	1,25	2,4	0,8	3,3
	Выростной-10	57 304	62 049	119 353	1,88	2,7	0,5	18,5
	Выростной-11	32 573	15 801	48 374	1,52	2,2	1,0	45,0
Контроль (кормление только К-111)	Нагульный-2	210 516	–	210 516	2,69	3,8	0	0,0
	Нагульный-7	153 816	–	153 816	2,05	3,5	0,3	8,6
	Нагульный-8	133 910	–	133 910	1,75	3,6	0,2	5,6

### Заключение

Перевод товарного трехлетка карпа на кормление малокомпонентными комбикормами с 20 июля и двухлетка карпа с 20 июня обеспечивает рыбопродуктивность на уровне рыбы, потребляющей стандартный комбикорм К-111.

При исследовании в кормлении товарного трехлетка карпа малокомпонентными комбикормами можно получить рентабельность более 50 %, двухлетка карпа – 18–20 %.

### Список использованных источников

1. Желтов, Ю. А. Рецепты комбикормов для выращивания рыб разных видов и возрастов в промышленном рыбодоводстве / Ю. А. Желтов. – Киев : ИНКОС, 2006. – 154 с.
2. Эрман, Е. З. Об азотосберегающем эффекте у карпа / Е. З. Эрман // Вопросы ихтиологии. – М., 1969. – Т. 9. – Вып. 4 (57). – С. 760–762.
3. Щербина, М. А. Переваримость питательных веществ искусственных кормов и эффективность их использования двухлетним карпом / М. А. Щербина. – М. : Пищевая промышленность, 1973. – 132 с.
4. Столович, В. Н. Малокомпонентные корма для карпа / В. Н. Столович, А. В. Астренков // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства : Междунар. науч.-практ. конф., Горки, 16–17 июня 2005 г. : в 2 ч. / Бел. гос. с.-х. акад. ; редкол.: М. В. Шалак [и др.]. – Горки, 2005. – Вып. 8, ч. 1. – С. 161–162.
5. Столович, В. Н. Производственные испытания малокомпонентного комбикорма для двухлетков и трехлетков карпа в рыбхозе «Новоселки» / В. Н. Столович, А. В. Астренков, Л. С. Дударенко // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т рыбного хозяйства. – Минск, 2006. – Вып. 22. – С. 208–212.
6. Астренков, А. В. Использование малокомпонентных комбикормов при кормлении двухлетка карпа / А. В. Астренков // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т рыбного хозяйства, Науч.-практ. центр по животноводству. – Минск, 2007. – Вып. 23. – С. 60–66.
7. Астренков, А. В. Низкобелковые корма для карпа / А. В. Астренков, В. Н. Столович // Рациональное использование пресноводных экосистем – перспективное направление реализации национального проекта «Развитие АПК» : Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 17–19 дек. 2007 г. / Всерос. науч.-исслед. ин-т пресноводного рыбного хозяйства ; редкол.: Г. Е. Серветник [и др.]. – М., 2007. – С. 127–129.
8. Использование малокомпонентных комбикормов при выращивании карпа / А. В. Астренков [и др.] // Стратегия развития аквакультуры в современных условиях : Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 11–15 авг. 2008 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т рыбного хозяйства, Науч.-практ. центр по животноводству ; редкол.: М. М. Радько [и др.]. – Минск, 2008. – С. 39–45.
9. Рыбоводно-биологические нормы для эксплуатации прудовых хозяйств. – М. : ВНИИПРХ, 1985. – 56 с.

**Э. В. Дыба, В. В. Микульский**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: dibua-18@mail.ru*

## **ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРАБЛЕЙ-ВАЛКОВАТЕЛЕЙ ГРЕБЕНЧАТОГО ТИПА ГВГ-9,5**

*Аннотация.* В статье представлено обоснование основных параметров граблей-валкователей гребенчатого типа ГВГ-9,5.

*Ключевые слова:* корма, травы, кормопроизводство, влажность, технология, скашивание, ворошение, сушка, качество, грабли-валкователи, параметры, граблина, скорость, производительность.

**E. V. Dyba, V. V. Mikulski**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: dibua-18@mail.ru*

## **SUBSTANTIATION OF BASIC PARAMETERS OF COMB-TYPE RAKE RAKES GVG-9,5**

*Abstract.* Justification of key parameters of a rake swath collectors of edge GVG-9.5 type is presented in article.

*Keywords:* feed, herbs, fodder production, humidity, technology, mowing, pickling, drying, quality, rake-rolls, parameters, rake, speed, productivity.

### **Введение**

Интенсификация сельскохозяйственного производства на основе внедрения ресурсосберегающих технологий является стратегическим направлением, обеспечивающим прирост объемов производства всех видов сельскохозяйственной продукции. Так, например, в животноводческой отрасли до 2025 г. предусматривается достижение объемов производства молока на уровне не менее 8 959,5 тыс. т, выращивания крупного рогатого скота (КРС) – 700,7 тыс. т [1]. Естественно производство намеченных объемов молока и мяса немислимо без гарантированного обеспечения животных кормами, которые в структуре себестоимости продукции составляют 55–70 % от общих затрат. Наличие кормов и их качество являются основными факторами, определяющими продуктивность животных и эффективность производства молока и мяса.

Подсчитано, что для достижения намеченных объемов производства молока на уровне 8 959,5 тыс. т и мяса КРС – 700,7 тыс. т к 2025 г. необходимо обеспечить общее производство кормов для КРС питательностью 15 101,2 тыс. т к. ед. (концентрированные корма – 4872,9 тыс. т к. ед., травяные корма – 10 228,3 тыс. т к. ед.), содержание сырого протеина – 2 255,8 тыс. т (концентрированные корма – 730,9 тыс. т, травяные корма – 1 524,9 тыс. т). Потребность в травяных кормах должна составлять: зеленые корма – 12 912,2 тыс. т (2 330, 6 тыс. т к. ед.), сено – 1 143,7 тыс. т (549,0 тыс. т к. ед.), сенаж – 14 907,7 тыс. т (4 174,2 тыс. т к. ед.), силос – 19 456,0 тыс. т (5 447,7 тыс. т к. ед.) [1].

Как известно, качество травяных кормов, получаемых из скошенных трав, зависит от множества факторов, основным из которых является скорость их сушки (проявляющаяся) до кондиционной влажности. Однако неустойчивые погодные условия, характерные для нашей республики в период сенокоса, значительно усложняют эту задачу. Так, исследованиями доказано, что при сушке в хорошую погоду общие потери сухого вещества травы колеблются от 10 до 30 %, а при неблагоприятных погодных условиях они достигают 50 % и более, при этом отмечаются значительные потери протеинов и других питательных веществ [2].

## Основная часть

В настоящее время при высоких урожаях зеленой массы в мировой практике, в частности, в Западной Европе, практикуются скашивание и укладка в прокос, а не в валок, для ускорения процесса сушки, поэтому все большее количество уборочных комплексов и косилок скашивают убираемую массу в широкие прокосы с последующим их ворошением. Этот прием позволяет ускорить процесс полевой сушки на 25–35 %. В условиях республики скашивание в прокос и интенсивное ворошение прокоса позволяют получить травяные корма кондиционной влажности в более короткие сроки. Соответственно, качество такого корма высокое, в нем максимально сохраняются каротин, протеин, углеводы и другие вещества, питательные и витаминные комплексы, влияющие на его энергетическую ценность. Дальнейшее досушивание и сохранение энергетической ценности травяных кормов во многом зависит от качества их сгребания в валки [3].

Анализ материалов, опубликованных в отечественной и зарубежной патентной и научно-технической литературе, показывает, что технологическая операция сгребания высушенной или провяленной массы выполняется с помощью граблей-валкователей ротационного (рис. 1) или колесно-пальцевого (рис. 2) типа. В настоящее время в нашей стране и за рубежом наибольшее распространение получили ротационные грабли, которые сгребают траву граблями, установленными на вращающихся роторах. Данные грабли имеют один, два, четыре или шесть роторов. Лидерами в области их производства являются зарубежные фирмы – Claas, Krone, Stoll (Германия), Kuhn (Франция), Pöttinger (Австрия), SIP (Словения) и другие; отечественные производители – ОАО «Управляющая компания холдинга «Боруйскагромаш», ОАО «Лидагропромаш».

Основное преимущество ротационных граблей-валкователей перед колесно-пальцевыми – минимальная чувствительность рабочих органов к засорению и препятствиям в виде камней, плотной растительности, кустарников, что и явилось основанием столь широкого их распространения. Однако несмотря на это ротационные грабли-валкователи имеют существенный технологический недостаток, который заключается в принципе работы самой машины.

Дело в том, что процесс сгребания травяной массы ротационными граблями-валкователями происходит путем волочения их по поверхности поля, в результате чего увеличивается вероятность увлечения за собой камней и других инородных тел в валок. При уборке таких валков увеличивается вероятность повреждения и выхода из строя рабочих органов кормоуборочной техники, что в свою очередь приводит к увеличению сроков уборки и потере кормов. Кроме того, высокая окружная скорость зубьев граблей (10–15 м/с) и постоянный их контакт с поверхностью почвы приводят к увеличению засорения формируемого валка землей и пылью (особенно при работе валкователя на сложном рельефе), а также к высоким потерям листьев и соцветий (особенно при многоукосной системе заготовки кормов) вследствие их интенсивного обивания. Все это влечет и потери энергетической ценности кормов.

Отличительной особенностью колесно-пальцевых граблей-валкователей от ротационных является то, что сгребание скошенной травы осуществляется с помощью вертикально вращающихся пальцевых рабочих колес, расположенных под углом в 45°–50° к линии движения машины.



Рис. 1. Ротационные грабли-валкователи Swadro фирмы KRONE

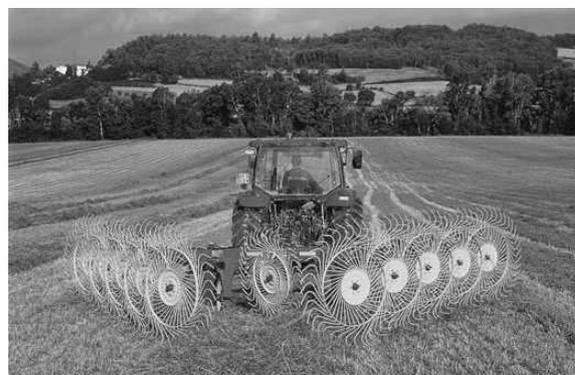


Рис. 2. Колесно-пальцевые грабли-валкователи QR 10 фирмы Sitrex S.P.A.

При этом привод пальцевых колес осуществляется не от вала отбора мощности трактора, как у ротационных машин, а от сил трения с растительной массой, расположенной на земле, что положительно отражается не только на стоимости машины, но и на технологическом процессе сгребания зеленой массы. Дело в том, что при работе колесно-пальцевых граблей-валкователей окружная скорость пальцев рабочих колес в несколько раз ниже, чем у зубьев ротационных граблей, благодаря чему режимы работы колесно-пальцевых граблей являются щадящими, а следовательно, их можно применять для валкования бобовых трав и бобово-злаковых смесей с многоукосной системой их заготовки [4].

Однако полное исключение засорения формируемого валка известными колесно-пальцевыми граблями-валкователями не представляется возможным, так как им присущ все тот же недостаток, что и ротационным граблям, заключающийся в принципе их работы – волочении.

В результате такого поиска фирмами Umwelttechnik (Германия), ELHO (Финляндия), Bergima Engineering (США), Repossi Macchine Agricole S.R.L. (Италия), New Holland North America (США) и другими были разработаны грабли-валкователи гребенчатого типа, принцип работы которых основан на минимальном контакте зубьев с поверхностью почвы (рис. 3).

Исследованиями данных фирм установлено, что именно благодаря минимальному контакту зубьев с поверхностью почвы земля и камни не поднимаются и не оседают на валке, что снижает риск повреждения рабочих органов кормоуборочного комбайна или пресс-подборщика, а также обеспечивает получение более высокого качества корма в сравнении с роторными или колесно-пальцевыми граблями-валкователями и схожие показатели в сравнении с ленточными валкователями. При этом стоимость граблей-валкователей гребенчатого типа в 2 раза ниже ленточных, что делает их более экономически эффективными.



*а*



*б*



*в*

Рис. 3. Грабли-валкователи гребенчатого типа: *а* – Clementer 550 F фирмы Umwelttechnik (Германия); *б* – 6000FP BIG фирмы Repossi Macchine Agricole S.R.L. (Италия); *в* – V-Twin 950 Super фирмы ELHO (Финляндия)

Кроме того, к преимуществам граблей-валкователей гребенчатого типа перед роторными можно отнести:

- отсутствие дорогостоящих кулачковых редукторов и карданного привода рабочих органов валкователя, что значительно снижает стоимость машины и сокращает энергопотребление на выполнение процесса сгребания в валок;

- обеспечение вспушивания трав, а следовательно, более высокой скорости их сушки в валке;
- возможность оборачивания валков и перемещения их на новое место.

Таким образом, учитывая весьма убедительные достоинства граблей-валкователей гребенчатого типа перед ротационными и колесно-пальцевыми, приведенный экономический эффект от снижения количества примесей в кормах, становится абсолютно очевидной актуальность создания и освоения производства отечественного аналога, внедрение которого обеспечит повышение качества основных видов кормов, а значит, приблизит выполнение планов в отрасли кормопроизводства Республики Беларусь.

Исходными данными для обоснования основных параметров гребенчатых граблей-валкователей являются качественный сбор скошенных трав без потерь, а также их производительность, которая определяется по формуле

$$W_r = B_r v_a \eta_r, \quad (1)$$

где  $B_r$  – ширина захвата граблей-валкователей, м;  $v_a$  – поступательная скорость агрегата, км/ч;  $\eta_r$  – коэффициент использования ширины захвата граблей-валкователей при сгребании скошенных трав.

Как известно, на качество работы гребенчатых граблей-валкователей влияют количество сгребаемых трав гребенкой  $Q$  и максимальный путь перемещения травы  $l_{тр}$  вдоль гребенки [14]. Чем больше значение  $Q$  и  $l_{тр}$ , тем больше потери листьев и соцветий трав при их сгребании. Поэтому при расчете технологических и конструктивных параметров разрабатываемых гребенчатых граблей-валкователей ГВГ-9,5 данную закономерность обязательно необходимо учитывать.

На рис. 4 представлена схема разрабатываемых граблей-валкователей ГВГ-9,5 в рабочем положении. Секция рабочих органов граблей состоит из двух параллельно расположенных роторов 1, с которыми шарнирно соединены граблины 3 с пружинными зубьями 4. Граблины 3 с плоскостью вращения роторов 1 составляют угол  $\delta$ , который меньше угла  $\pi/2$ . При работе граблей роторы вращаются вокруг своих осей 2 против часовой стрелки. Плоскость вращения роторов и относительная скорость зубьев  $\omega R$  при самом низком их положении с направлением поступательной скорости агрегата  $\vartheta_a$  составляют угол  $\alpha$ , который, как было установлено исследованиями, может быть больше или меньше угла  $\pi/2$ .

Для установления зависимости между основными параметрами гребенчатых граблей-валкователей при сгребании построена траектория движения зубьев в проекциях на вертикальную и горизонтальную плоскости (рис. 5).

За начало координат принята точка  $A$  (граблина 1). Ось  $x$  расположена горизонтально в плоскости вращения роторов, ось  $y$  – параллельно оси вращения роторов, ось  $z$  – вертикально.

При отсчете углов от вертикальной оси против часовой стрелки уравнения движения концов зубьев граблин 1 и 2 соответственно имеют вид

$$\begin{cases} x_A = R \sin \omega t, \\ y_A = \vartheta_a t, \\ z_A = R(1 - \cos \omega t); \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} x_B = 0, \\ y_B = \vartheta_a t, \\ z_B = R[1 - \cos(\omega t - \beta)], \end{cases} \quad (3)$$

где  $R$  – радиус вращения граблин ( $R = OA = OB$ ), м;  $\omega$  – угловая скорость вращения ротора,  $c^{-1}$ ;  $\beta$  – угол между граблинами, град.

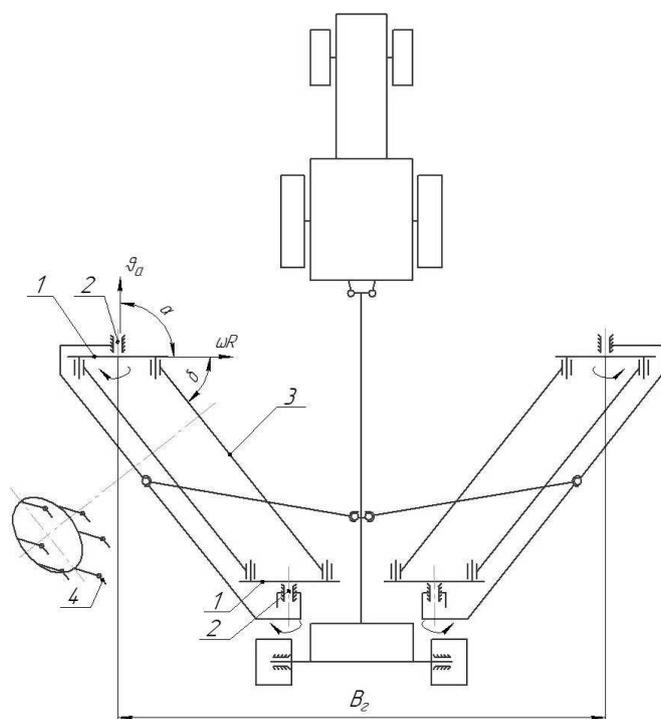


Рис. 4. Схема граблей-валкователей ГВГ-9,5 в рабочем положении:  
1 – роторы; 2 – оси; 3 – граблины; 4 – зубья

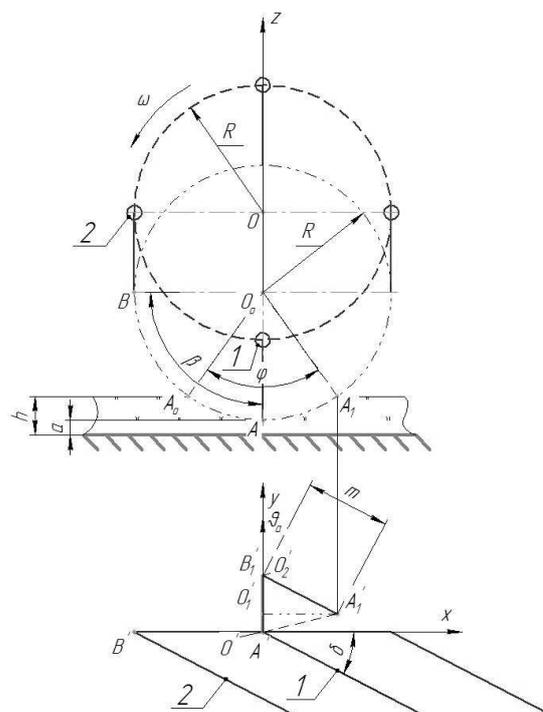


Рис. 5. Схема граблей-валкователей ГВГ-9,5 в рабочем положении: 1, 2 – граблины

Проанализировав системы уравнений (2) и (3) можно сделать вывод, что данные уравнения описывают винтовые линии, а значит, абсолютную скорость конца зуба  $A$  граблины 1 можно определить по формуле

$$\vartheta_{гр.а} = \sqrt{\vartheta_{гр.а.х}^2 + \vartheta_{гр.а.у}^2 + \vartheta_{гр.а.z}^2}, \quad (4)$$

где  $\vartheta_{гр.а.х}^2$ ,  $\vartheta_{гр.а.у}^2$ ,  $\vartheta_{гр.а.z}^2$  – проекции абсолютной скорости зуба  $A$  на оси координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$  соответственно, которые определяются по следующим выражениям:

$$\vartheta_{гр.а.х}^2 = \frac{dx_A}{dt} = R\omega \cdot \cos \omega t; \quad (5)$$

$$\vartheta_{гр.а.у}^2 = \frac{dy_A}{dt} = \vartheta_a; \quad (6)$$

$$\vartheta_{гр.а.z}^2 = \frac{dz_A}{dt} = R\omega \cdot \sin \omega t. \quad (7)$$

Тогда, подставив в формулу (4) выражения (5)–(7) и выполнив математические преобразования, получим окончательную формулу для определения абсолютной скорости конца зуба  $A$  граблины 1:

$$\vartheta_{гр.а} = \sqrt{\vartheta_a^2 + R^2 \omega^2}. \quad (8)$$

Из рис. 5, видно, что прямая линия, соединяющая концы зубьев, расположенных на одной граблине, описывает при его вращении от ротора в пространстве поверхность, которая пересекается с такими же поверхностями, описываемыми концами зубьев впереди и позади идущих граблин, на некоторой высоте от самого низкого положения зубьев. Эта высота, как видно из рис. 5, равна  $z_{AO}$ . Назовем  $z_{AO}$  высотой гребешка. Она обуславливает собой чистоту сгребания травы.

Для обеспечения минимальных потерь сгребаемой травы расстояние от вершины гребешка до поверхности земли не должно превышать высоту прокоса скошенных трав  $h$ :

$$z_{AO} = h - a, \quad (9)$$

где  $a$  – минимальное расстояние от концов зубьев до поверхности земли (высота установки зубьев), м.

Так как точке  $A_0$  граблины  $l$  соответствует угол поворота  $\varphi/2$ , то на основании третьего уравнения системы (5.2) получаем

$$z_{AO} = R \left( 1 - \cos \frac{\varphi}{2} \right) = h - a. \quad (10)$$

На основании полученного выражения (10) можно определить угол поворота  $\varphi$ , при котором конец зуба граблины  $l$  при сгребании скошенной травы превысит высоту  $h$ :

$$\varphi = 2 \cdot \arccos \left( \frac{a - h}{R} + 1 \right). \quad (11)$$

Из рис. 5 видно, что при  $t = 0$  центр вращения граблины  $l$  будет находиться в точке  $O$ . За время  $t_A = \varphi/2\omega$  поворота граблины  $l$  на угол  $\varphi/2$  грабли пройдут в направлении поступательной скорости агрегата  $\vartheta_a$  путь

$$O_1O'_1 = \vartheta_a \frac{\varphi}{2\omega}. \quad (12)$$

В вертикальной проекции зуб  $A$  граблины  $l$  за это время переместится в точку  $A_1$ , а в горизонтальной проекции – из точки  $A'$  в точку  $A'_1$ . В момент времени  $t = 0$  первый зуб граблины  $2$  занимал в вертикальной плоскости положение  $B$ , а в горизонтальной плоскости – положение  $B'$ . Через промежуток времени

$$t_B = \frac{\beta}{\omega} \quad (13)$$

концы зубьев граблины  $2$  пересекут поверхность, описываемую зубьями граблины  $l$ , и займут в горизонтальной плоскости положение, совпадающее с положением граблины  $l$  (отрезок  $A'_1B'_1$ ), в котором были зубья граблины  $l$ , в момент времени  $t_A = 0$ . Соответствующий зуб граблины  $2$  займет в вертикальной плоскости положение, совпадающее с точкой  $A$  граблины  $l$ , а в горизонтальной плоскости – положение  $B'_1$ . Таким образом, каждая граблина за время поворота на угол  $\beta$  будет перемещать сгребаемую траву на величину  $m = A'_1B'_1$ .

При условии размещения зубьев на граблинах с шагом, равным  $m$ , точки входа зубьев позади идущих граблин будут совпадать с точками выхода зубьев впереди идущих граблин, как бы продолжая линии их движения при сгребании. Из этих соображений шаг расположения зубьев на граблине может быть определен по формуле

$$m = \frac{y_{B'_1} - y_{A'_1}}{\sin \delta}, \quad (14)$$

где  $\delta$  – угол между плоскостью вращения зубьев и граблиной, град.

Подставив в соответствующие уравнения систем (2) и (3) значения  $t_{A'_1} = \varphi/2\omega$  и  $t_{B'_1} = \beta/\omega$ , получим

$$y_{A'_1} = \vartheta_a \frac{\varphi}{2\omega}; \quad (15)$$

$$y_{B'_1} = \vartheta_a \frac{\beta}{\omega}. \quad (16)$$

Тогда, подставив в формулу (14) формулы (15) и (16) и выполнив математические преобразования, получим окончательную формулу для определения шага расположения зубьев на граблине:

$$m = \frac{\vartheta_a \left( \beta - \frac{\varphi}{2} \right)}{\omega \cdot \sin \delta}. \quad (17)$$

Установим соотношение между угловой скоростью вращения зубьев  $\omega$  и поступательной скоростью агрегата  $\vartheta_a$ . Зная координаты точек  $A'_1$  и  $B'_1$  на горизонтальной проекции, запишем следующие равенства:

$$y_{B'_1} - y_{A'_1} = (x_{A'_1} - x_{B'_1}) \cdot \operatorname{tg} \delta; \quad (18)$$

$$y_{B'_1} - y_{A'_1} = \vartheta_a \left( \frac{\beta}{\omega} - \frac{\varphi}{2\omega} \right). \quad (19)$$

Тогда, подставив из уравнения систем (2) и (3) соответствующие значения, получим следующее равенство:

$$x_{A'_1} x_{B'_1} = R \cdot \sin \frac{\varphi}{2}. \quad (20)$$

Подставляя полученные выражения (19) и (20) в выражение (18), получим

$$\vartheta_a \left( \frac{\beta}{\omega} - \frac{\varphi}{2\omega} \right) = R \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \operatorname{tg} \delta. \quad (21)$$

Перенесем правую часть уравнения в левую, и, преобразовав, получим окончательную формулу для определения угловой скорости вращения концов зубьев граблин:

$$\omega = \frac{\vartheta_a \left( \beta - \frac{\varphi}{2} \right)}{R \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \operatorname{tg} \delta}. \quad (22)$$

Уравнение (22) устанавливает зависимость между основными параметрами гребенчатых граблей-валкователей и углом  $\varphi$ , определяющим высоту гребешка  $h - a$ .

Как ранее отмечалось, к факторам, влияющим на качество работы гребенчатых граблей-валкователей при сгребании, относятся максимальный путь перемещения травы  $l_{\text{тр}}$  и количество травы перед гребенкой  $Q$ . Угол  $\lambda$  между направлением переносной скорости агрегата  $\vartheta_a$  и направлением перемещения сгребаемой травы по проколу можно с достаточной степенью точности определить, если принять, что сгребание травы происходит по направлению абсолютной скорости зубьев, находящихся в самом низком положении, т. е. по направлению касательной к средней точке траектории зуба  $A$ . Угол  $\lambda$  между переносной скоростью  $\vartheta_a$  и абсолютной скоростью  $\vartheta_{\text{гр.а}}$  находится из треугольника скоростей (рис. 6):

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{R\omega}{\vartheta_a}. \quad (23)$$

Выразив из формулы (23) угол  $\lambda$  получим

$$\lambda = \operatorname{arctg} \frac{R\omega}{\vartheta_a}. \quad (24)$$

Тогда максимальный путь, проходимый травой при сгребании (рис. 7), определим по формуле

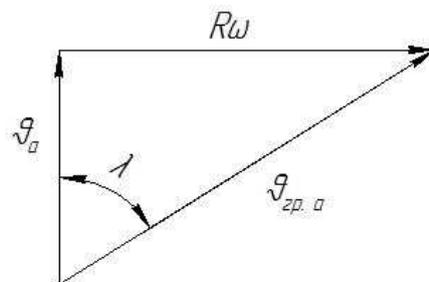


Рис. 6. Траектория скоростей зуба граблины

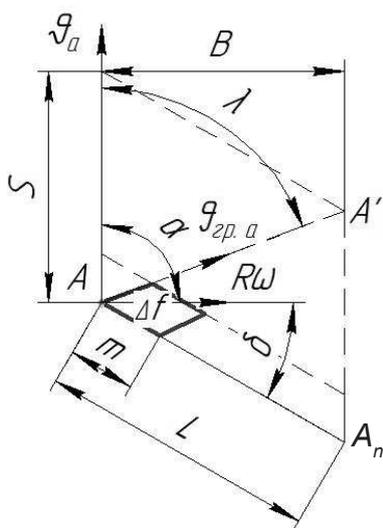


Рис. 7. Схема перемещения травы зубьями граблей

$$l_{\text{тр}} = \frac{B}{\sin \lambda}, \quad (25)$$

где  $B$  – ширина захвата граблей, м.

За поворот граблины на угол  $\beta$  участок граблины  $m$  сгребают траву с площади  $\Delta f$  (рис. 7). За это время граблина переместится на расстояние  $\vartheta_a \beta / \omega$ . Площадка  $\Delta f$  представляет собой параллелограмм с основанием  $m$  и высотой  $H$ , которую можно определить по формуле

$$H = \vartheta_a \frac{\beta}{\omega} \cdot \sin(\alpha + \delta). \quad (26)$$

Тогда площадь сгребания травы за поворот граблины на угол  $\beta$  можно определить по формуле

$$\Delta f = m \vartheta_a \frac{\beta}{\omega} \cdot \sin(\alpha + \delta). \quad (27)$$

Трава, расположенная перед граблиной, перемещается зубьями под углом к направлению поступательной скорости (см. рис. 7).

Процесс работы граблей установится, когда первая порция травы с площадки, расположенной в начале граблины, сойдет с конца граблины. Так как граблины за каждый поворот на угол  $\beta$  смещаются относительно порции травы, собранной с площадок  $\Delta f$ , на величину  $m$ , то для схода первой порции травы с конца граблины потребуется число перемещений, которое можно определить по формуле

$$k = \frac{L}{m} = \frac{L\omega \cdot \sin \delta}{\vartheta_a \left( \beta - \frac{\varphi}{2} \right)}, \quad (28)$$

где  $L$  – длина граблины, м.

Так как длину граблины можно определить по формуле

$$L = \frac{B}{\sin(\alpha + \delta)}, \quad (29)$$

то с учетом формулы (28) окончательное число перемещений получим по выражению

$$k = \frac{B \cdot \sin \delta}{R \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \sin(\alpha + \delta) \cdot \text{tg } \delta}. \quad (30)$$

Так как за одно перемещение грабли проходят путь  $\vartheta_a \beta / \omega$ , то за число перемещений  $k$  грабли переместятся на величину

$$S = \frac{L\beta \cdot \sin \delta}{\beta - \frac{\varphi}{2}}. \quad (31)$$

В конце установившегося процесса трава с площади треугольника  $AA_nA'$  (см. рис. 7) будет смещена за пределы прямой  $A_nA'$ . Следовательно, перед граблиной будет постоянно находиться количество травы

$$Q = S \frac{B}{2} q. \quad (32)$$

где  $q$  – урожайность травы, кг/м<sup>2</sup>.

Поскольку из рис. 7 ширину захвата граблей можно будет определить по формуле

$$B = L \cdot \sin(\alpha + \delta), \quad (33)$$

то, подставляя в формулу (32) формулы (31) и (33), получим окончательную формулу для определения количества травы перед граблиной гребенчатых граблей-валкователей:

$$Q = \frac{L^2 \beta \cdot \sin \delta \cdot \sin(\alpha + \delta)}{2 \left( \beta - \frac{\varphi}{2} \right)} q. \quad (34)$$

Таким образом, полученные формулы позволяют определить основные геометрические, кинематические и технологические параметры гребенчатых граблей-валкователей, при которых будет обеспечено качественное, без потерь, сгребание скошенных трав в валок.

### Заключение

Так, математические расчеты показали, что при известных начальных данных разрабатываемых граблей-валкователей ГВГ-9,5 (ширина захвата одной секции рабочих органов  $B = 3,48$  м, поступательная скорость агрегата  $\vartheta_a = 1,67-3,33$  м/с, урожайность травы  $q = 3$  кг/м<sup>2</sup>, высота прокоса  $h = 0,12$  м, радиус граблин  $R = 0,43$  м, угол между поступательной скоростью агрегата и плоскостью вращения роторов  $\alpha = 90^\circ$ , угол между плоскостью вращения зубьев и граблиной  $\delta = 27,5^\circ$ , высота установки зубьев над землей  $a = 0,05$  м, количество граблин в секции  $z = 6$  шт.) шаг расстановки зубьев граблин должен быть равен  $m = 0,27$  м, частота вращения ротора граблин –  $n = 61-121,6$  мин<sup>-1</sup> (в зависимости от рабочей скорости агрегата); количество травы перед граблиной –  $Q \leq 43,7$  кг.

### Список использованных источников

1. Программный комплекс мер по развитию кормопроизводства на 2021–2025 годы, утвержденный Заместителем Премьер-министра Республики Беларусь от 16 марта 2021 г. № 06/217-261/220.
2. Маклахов, А. В. Совершенствование технологии заготовки сена в рулонах / А. В. Маклахов, В. К. Углин, В. Е. Никифоров // Владимирский земледелец. – 2017. – № 4 (82). – С. 28–30.
3. Особенности технологий и техническое обеспечение заготовки кормов из трав и силосных культур [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://belagromech.by/news/osobennosti-tehnologij-i-tehnicheskoe-obespechenie-zagotovki-kormov-iz-trav-i-silosnyh-kultur>. – Дата доступа: 11.06.2021.
4. Техническое обеспечение кормоуборочных работ. Состояние и перспективы / И. М. Лабоцкий [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. : в 2 т. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2013. – Вып. 46, т. 2. – С. 3–10.

**Г. И. Кошля<sup>1</sup>, А. П. Ляхов<sup>1</sup>, Э. В. Дыба<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: 27genko@mail.ru

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: dibua-18@mail.ru

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ УСТРОЙСТВА ДВИЖИТЕЛЯ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВОГРУНТА НА ТЯГОВО-СЦЕПНЫЕ СВОЙСТВА ТРАКТОРОВ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены вопросы воздействия устройства движителя и физико-механических свойств почвогрунта на тягово-сцепные свойства тракторов.

*Ключевые слова:* трактор, почва, технология, свойства, показатели, потери, исследования, движитель, давление, мощность, почвогрунт.

**G. I. Koshlya<sup>1</sup>, A. P. Lyakhov<sup>1</sup>, E. V. Dyba<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: 27genko@mail.ru

<sup>2</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: dibua-18@mail.ru

## **EFFECT OF THE PROPULSION DEVICE AND PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE POST-CONCAVE ON TRACTION AND COUPLING PROPERTIES OF TRACTORS**

*Abstract.* The article considers the issues of influence of the propulsion device and physical and mechanical properties of soil on traction and coupling properties of tractors.

*Keywords:* tractor, technology, properties, indicators, losses, research, propulsion, pressure, power, soil.

### **Введение**

Трактор является основным энергетическим средством мобильного машинно-тракторного агрегата. Такими агрегатами выполняется более 90 % сельскохозяйственных операций в растениеводстве. Эффективность использования машинно-тракторного агрегата (МТА) в большей степени зависит от совершенства конструкции трактора в целом и его движителя.

### **Основная часть**

Совершенство конструкции и тягово-сцепные свойства трактора принято оценивать обобщенным показателем, который называют тяговый КПД [1]:

$$\eta_{\tau} = \eta_{\text{тр}} \eta_r \eta_f \eta_{\delta}, \quad (1)$$

где  $\eta_{\text{тр}}$  – КПД, учитывающий потери в трансмиссии трактора;  $\eta_r$  – КПД, учитывающий потери в движении трактора;  $\eta_f$  – КПД, учитывающий потери, связанные деформацией почвогрунта при движении грунта;  $\eta_{\delta}$  – КПД, учитывающий потери при буксовании трактора.

Многочисленные исследования позволяют сделать вывод, что основным видом потерь, снижающим тяговый КПД тракторов, являются потери, имеющие место при взаимодействии движителей с почвогрунтом, снижающих тягово-сцепные свойства тракторов.

В теории [1, 2] основными показателями тягово-сцепных свойств тракторов принято считать: коэффициенты сцепления  $\varphi$ , сопротивления качению  $f$  и буксование  $\delta$ , которые являются взаимосвязанными. Так, величина буксования  $\delta$  зависит от сцепных свойств движителя, типа и состояния почвогрунта, а сцепные свойства оцениваются коэффициентом сцепления  $\varphi$ , который функционально зависит от буксования  $\delta$ , т. е.  $\varphi = f(\delta)$ .

Проведенные экспериментальные исследования [1] позволяют установить связь между коэффициентами сцепления  $\varphi$  и буксованием  $\delta$  (рис. 1).

Сила сцепления движителя с почвогрунтом, а следовательно, и тяговые свойства трактора определяются по зависимости

$$P_{\varphi} = \varphi G_{\text{сц}}, \quad (2)$$

где  $G_{\text{сц}}$  – сцепной вес трактора, кН.

Следовательно, тяговые свойства трактора растут пропорционально  $\varphi$  и  $G_{\text{сц}}$ , а для более точных расчетов  $P_{\varphi}$  по зависимости (1) необходимо иметь численные значения  $\varphi$ , которые могут быть определены исследованием специальных сдвиговых установок.

Теоретически доказано и экспериментально подтверждено, что рост силы сцепления  $P_{\varphi}$  происходит до определенных пределов, после чего он замедляется. Это объясняется зависимостью  $\varphi$  от  $G_{\text{сц}}$ . Так, величина  $G_{\text{сц}}$  определяет удельное давление движителя на почвогрунт, рост которого уменьшает коэффициент  $\varphi$  (рис. 2).

Известно [3], что при номинальном режиме работы двигателя трактора касательная сила тяги

$$P_{\text{кн}} = \frac{0,159 N_{\text{ен}} i_{\text{тр}} \eta_{\text{тр}}}{n_{\text{н}} r_{\text{к}}}, \quad (3)$$

где  $N_{\text{ен}}$  – номинальная мощность двигателя, кВт;  $i_{\text{тр}}$  – передаточное отношение трансмиссии на данной передаче;  $\eta_{\text{тр}}$  – КПД трансмиссии;  $n_{\text{н}}$  – номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $r_{\text{к}}$  – радиус качения ведущего колеса трактора (для гусеничных тракторов принимается радиус начальной окружности ведущей звездочки), м.

Из формулы (3) следует: для того чтобы вся мощность двигателя могла быть реализована через касательную силу тяги в тяговое усилие, необходимо, чтобы обеспечивалось равенство

$$P_{\varphi} = P_{\text{кн}} \quad (4)$$

или

$$P_{\text{кн}} = \varphi_{\text{опт}} G_{\text{сц}}, \quad (5)$$

где  $\varphi_{\text{опт}}$  – коэффициент сцепления, при котором обеспечивается равенство касательной силы тяги и силы сцепления при полном использовании мощности двигателя.

При данном соотношении реализуется максимальное тяговое усилие трактора. Из изложенного следует, что экспериментальное определение сцепных свойств движителей тракторов с использованием штампов (физическое моделирование) либо отдельных экспериментов (звенья гусениц) являются актуальной задачей научных исследований. Полученные данные используются для расчетов силы тяги тракторов и обоснования отдельных параметров их движителей.

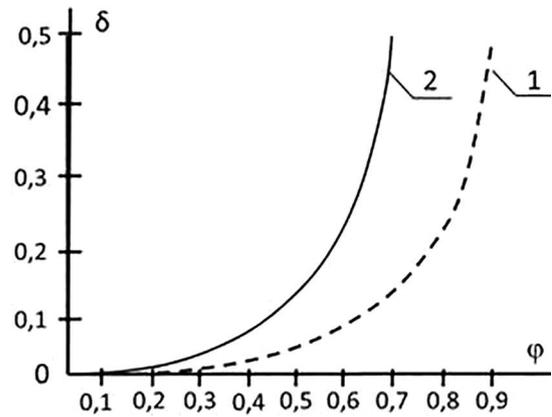


Рис. 1. Экспериментальные зависимости между коэффициентами сцепления  $\varphi$  и буксованием  $\delta$ : 1 – гусеничный движитель; 2 – колесный движитель

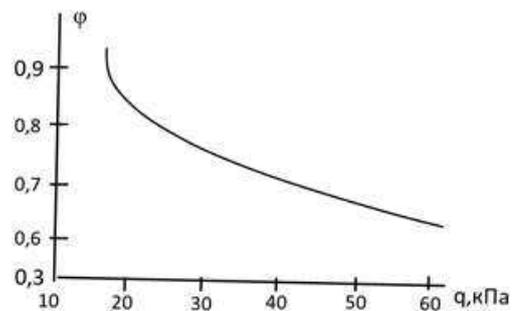


Рис. 2. Зависимость коэффициента сцепления от удельного давления движителя на почвогрунт

## Выводы

1. Тягово-сцепные свойства трактора определяют эффективность конструкции и эксплуатационные показатели его работы.
2. Тяговый КПД трактора в большей степени зависит от показателей взаимодействия двигателя с почвогрунтом, коэффициентов сцепления  $\varphi$ , буксования  $\delta$  и сопротивления качению  $f$ .
3. Коэффициенты  $\varphi$  и  $\delta$  взаимосвязаны и зависят от конструкции двигателя, типа и состояния почвогрунта; экспериментально они могут определяться с использованием стационарных установок.

## Список использованных источников

1. Тракторы: теория / В. В. Гуськов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1988. – 374 с.
2. Чудаков, Д. А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / Д. А. Чудаков. – М. : Колос, 1972. – 384 с.
3. Технологии и техническое обеспечение производства продукции растениеводства : практикум / Т. А. Непарко [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2018. – 216 с.

**Н. Д. Янцов<sup>1</sup>, Г. И. Кошля<sup>1</sup>, Э. В. Дыба<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: 27genko@mail.ru

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: dibua-18@mail.ru

## **ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ТЕХНОЛОГИИ (NO-TILL) НУЛЕВОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены некоторые преимущества и недостатки обработки почвы при использовании технологии нулевой обработки.

*Ключевые слова:* почва, технология, обработка, глубина, вспашка, растениеводство, тяговое сопротивление, преимущества, недостатки, затраты.

**N. D. Yantsov<sup>1</sup>, G. I. Koshlya<sup>1</sup>, E. V. Dyba<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: 27genko@mail.ru

<sup>2</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: dibua-18@mail.ru

## **ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF TECHNOLOGY (NO-TILL) ZERO TILLAGE**

*Abstract.* The article discusses some advantages and disadvantages of tillage when using zero tillage technology.

*Keywords:* soil, technology, processing, depth, plowing, crop production, traction resistance, advantages, disadvantages, costs.

### **Введение**

Почва – это сложное природное образование. Почву часто называют главным богатством любого государства в мире, поскольку на ней и в ней производится около 90 % продуктов питания человечества. Почва является одним из наиболее важных агрофизических факторов плодородия, от которой зависят поглощение влаги, воздухообмен, жизнедеятельность растений и т. д. Доказано, что ее состояние определяется степенью чистоты воды и воздуха, здоровьем почвенных обитателей, биомасса которых в несколько раз превосходит биомассу животных наземной и водной среды обитания, а также рядом других факторов, один из которых – воздействие на почву технических средств, применяемых в современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. Минимизация отрицательных воздействий на плодородие почв, в том числе путем применения новых сберегающих технологий в земледелии, – одна из важнейших задач сельскохозяйственных наук.

### **Основная часть**

За историю земледелия сформировалась система разных обработок почвы, отличающихся глубиной и характером воздействия на почвенную массу и типом применяемых почвообрабатывающих орудий.

Во всем мире на протяжении столетий для обработки почвы использовали отвальную вспашку. Землю разрушали мотыгами, переворачивали различными плугами и боронами, причем это считалось нормальной практикой.

Человечество утратило 2 млрд га некогда плодородных земель. Это больше, чем вся площадь современного мирового земледелия, равная примерно 1,5 млрд га [1]. Ежедневно из сельскохозяйственного использования выбывает около 15 млн га почв, в том числе 8 млн га за счет отчуждения и 7 млн га в результате деградации почв.

Сегодня в Российской Федерации из 160 млн га пахотных земель в силу различных причин подвержено эрозии и дефляции 70 млн га [2]. В Республике Беларусь 2,3 млн га пахотных земель (всего пашни в нашей стране занимают площадь 5,6 млн га) [5], около 50 % из них также повержены эрозии и требуют мелиоративных работ.

В результате крупномасштабной деятельности человечества по обработке почвы происходит резкое ускорение процессов ее деградации [3]. Негативное влияние вспашки на сельскохозяйственную продуктивность растений, экологию среды и плодородие почвы в последнее время документально зафиксировано во многих странах мира. Признание этой проблемы привело к разработке альтернативной сельскохозяйственной практики – сберегающего земледелия.

Разумный подход к растениеводству с точки зрения экологии и экономики состоит в использовании системы сберегающих технологий, которые подразумевают, прежде всего, минимализацию обработки почвы. Одной из разновидностей минимальной обработки почвы является нулевая обработка почвы. Она предусматривает прямой посев с применением комбинированных агрегатов, которые позволяют проводить механическую обработку почвы без оборота пласта и исключают технологическую операцию – вспашку.

Ясно, что затраты на топливо и рабочую силу при использовании минимальных технологий в растениеводстве, по сравнению с традиционными технологиями, значительно уменьшаются. Так, в условиях юга России при применении таких технологий сокращается количество проходов по полю в 1,4–2,3 раза, экономия горче-смазочных материалов – на 10–25 %, затраты труда снижаются в 1,5–2,7 раза, тракторов требуется в 2,0–3,0 раза меньше [4].

Однако в Беларуси, в частности, в Минской области, шаблонный подход к внедрению минимальной и нулевой обработки почвы должен быть исключен, так как мы имеем различные почвенно-климатические условия в сравнении с зоной Украины и юга России, где данные технологии широко применяются в практике земледелия.

К примеру, в составе пахотных земель Минской области преобладают автоморфные (почвы водоразделов и склонов) дерново-подзолистые почвы, занимая 51,6 % от всей их площади: супесчаные почвы составляют 54,0 %, суглинистые и глинистые почвы – 24,5 %, песчаные почвы – 12,4 %. Исследования показали, что минимальная обработка на песчаных почвах улучшает обеспеченность растений влагой, особенно в засушливые годы. Вместе с тем на других видах почв, как утверждают специалисты, безотвальная обработка, в отличие от обычной вспашки, приводит к резкому разграничению пахотного слоя по плодородию: более высокое накопление элементов питания наблюдается в слое почвы до 10 см и низкое содержание – в слое 10–20 см. Также происходит заметное уплотнение участков [5]. Кроме того, в Республике Беларусь около трети пахотных земель занято под техническими культурами (картофелем, свеклой, льном и др.), которые требуют при минимальной обработке значительных затрат на химические средства защиты растений.

Ввиду изложенного, в настоящее время и российские, и белорусские исследователи сходятся во мнении, что снижению плотности сложения почвы и рациональному ведению земледелия способствует чередование вспашки и бесплужной (минимальной) обработки.

### **Заключение**

По мнению авторов данной статьи, несколько снизить издержки в традиционных технологиях производства озимых зерновых культур в условиях Республики Беларусь может проведение озимой вспашки почв плугами со снятыми (демонтированными) отвалами. Этот прием позволит рыхлить пахотный слой почвы, и в то же время часть стерневых остатков останется на поверхности.

сти поля, что важно с точки зрения минимальной и нулевой технологий. Тяговое сопротивление плугов также уменьшится, чем будет достигнута экономия топлива.

Преимуществами технологии (no-till) являются:

- лучший водный режим почвы;
- защита от эрозии;
- положительный баланс гумуса в верхних горизонтах почв;
- существенное снижение затрат на топливо.

К недостаткам технологии (no-till) следует отнести:

- большую засоренность посевов сорняками;
- повышенную вероятность сохранения в почве источников инфекций и болезней растений;
- опасность переувлажнения пахотного слоя почвы при избытке осадков;
- возможность повышения норм высева на 15–25 % и медленное прогревание почвы.

#### **Список использованных источников**

1. Добровольский, Г. В. Задачи почвоведения в решении современных экологических проблем / Г. В. Добровольский // Сохраним планету Земля. – СПб. : ИП МГУ-РАН, 2004. – С. 56–64.
2. Рожков, В. Ф. Проблемы деградации сельскохозяйственных земель России, их охраны и восстановления продуктивности / В. Ф. Рожков // Материалы докладов на Всероссийской научной конференции, посвященной 160-летию со дня рождения В. В. Докучаева. – СПб., 2006. – С. 187–192.
3. Курдюмов, Н. И. Мастерство плодородия / Н. И. Курдюмов. – Ростов н/Д. : Владис ; М. : РИПОЛ КЛАССИК, 2004. – 511 с.
4. Дерпш, Р. История выращивания сельхозкультур с и без применения механической почвообработки / Р. Дерпш // Сборник авторских статей. – Днепрпетровск : АГРО СОЮЗ, 2004. – С. 44–49.
5. Гавриченко, Ж. Пахать или не пахать / Ж. Гавриченко // Минская правда. – 2012. – 26 апр. – С. 18–22.

**Г. И. Кошля<sup>1</sup>, В. Я. Тимошенко<sup>1</sup>, Э. В. Дыба<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: 27genko@mail.ru

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: dibua-18@mail.ru

## **УЛУЧШЕНИЕ УСТРОЙСТВА ЦИСТЕРНЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ НАЛИВНЫХ ГРУЗОВ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены вопросы безопасности перевозки жидкостей в железнодорожных и автомобильных цистернах и пути совершенствования их конструкций.

*Ключевые слова:* грузоперевозки, цистерна, транспортировка, давление, колебания, устройство, нагрузки, силы, конструкция.

**G. I. Koshlya<sup>1</sup>, V. Ya. Tymoshenko<sup>1</sup>, E. V. Dyba<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: 27genko@mail.ru

<sup>2</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: dibua-18@mail.ru

## **IMPROVEMENT OF THE CONSTRUCTION OF THE TANK FOR SAFETY OF TRANSPORTATION OF BULK CARGOES**

*Abstract.* The article considers the issues of safety of transportation of liquids in the same-leather-road and automobile tanks and ways to improve their designs.

*Keywords:* cargo transportation, tank, transportation, pressure, oscillations, device, loads, forces, design.

### **Введение**

Немалая часть автоцистерн производится для нужд сельского хозяйства. Тут и перевозка молока, и перевозка химических удобрений и даже нефтепродуктов для сельскохозяйственной техники. Существуют специальные версии автоцистерн, оборудованные более мощным двигателем и более проходимыми колесами. Все это облегчает доставку грузов в отдаленные районы. Для повышения эффективности грузоперевозок иногда используют целую колонну автомобильных цистерн, которые, в свою очередь, оснащены дополнительными прицепами-цистернами. Данная схема транспортировки намного выгоднее, чем если бы одна или две машины доставляли груз в какой-либо отдаленный район.

### **Основная часть**

Все цистерны могут быть классифицированы по ряду признаков. По конструктивным их разделяют на рамные и несущие. Грузы, перевозимые цистернами, бывают опасные и неопасные, к последним относятся пищевые наливные грузы.

К опасным грузам относятся следующие виды жидких грузов:

– сжиженные газы (пропан, бутан, водород, кислород, азот, хлор);

- жидкие горючие материалы (бензин, дизельное топливо, керосин, растворители, нефть);
- отравляющие вещества (пестициды, агроудобрения, инсектициды и др.);
- окисляющие и едкие вещества (серная, соляная, азотная кислоты; пероксиды).

К пищевым жидким грузам относятся:

- соки (свежие, концентраты, пюре);
- растительные масла (оливковое, подсолнечное, соевое, пальмовое), жиры;
- сиропы, патока, шоколад, глюкоза;
- алкогольные напитки (пиво, вино, виноматериалы, спирт);
- молочные продукты (свежее и концентрированное молоко, йогурт, кефир) и многое другое.

Для транспортировки всех вышеперечисленных видов пищевых грузов пригодны только автоцистерны. Они должны соответствовать международным нормативам, чтобы быть допущенными к перевозкам. В большинстве своем цистерны конструируются из специальных некоррозийных материалов из нержавеющей или углеродистой стали, но встречаются еще алюминиевые. Существуют грузы, которые во время транспортировки требуют соблюдения особого температурного режима, поэтому их доставляют к месту назначения в специальных цистернах с подогревом.

Особенностью жидкостей является их существенное расширение при нагревании, поэтому при погрузке в резервуаре оставляют свободное пространство. Это позволяет избежать разрывов оболочек их котлов, вызванных значительным ростом внутреннего давления при внешних тепловых воздействиях.

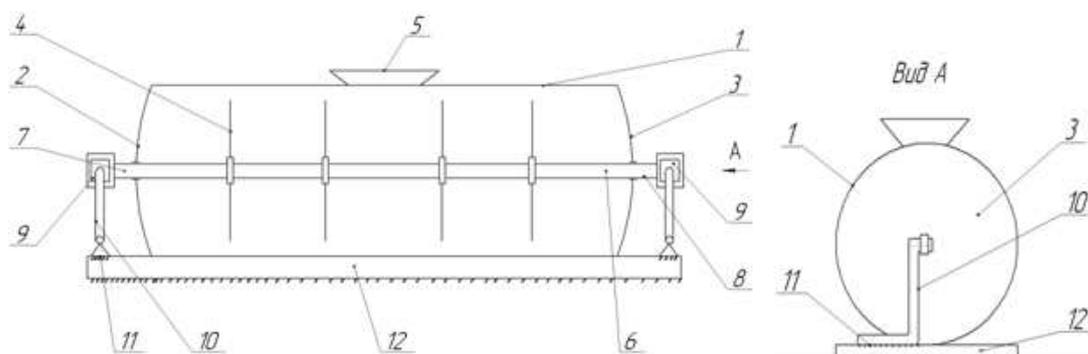
Так как различные жидкости расширяются по-разному, то уровень заполнения железнодорожных цистерн зависит от вида перевозимой жидкости [1]. При транспортировке жидкостей, имеющих повышенную плотность, например, кислот, жидкого каустика ( $1,1 \text{ м}^3/\text{т}$ ), хлорбензола ( $1,13 \text{ м}^3/\text{т}$ ), масса цистерны с жидкостью может превысить нормативные пределы грузоподъемности. Поэтому нередко приходится перевозить цистерны, заполненные ниже установленного уровня.

Аналогичные ситуации регулярно возникают в поливочных машинах и автотопливозаправщиках, особенностью рабочего процесса которых является постепенное расходование транспортируемой жидкости в процессе работы.

При транспортировке частично заполненной цистерны возрастает вероятность возникновения опасной ситуации. Колебания жидкого груза внутри резервуара могут приводить к существенному снижению продольной и поперечной устойчивости и управляемости транспортного средства и вести к увеличению нагрузок на конструкцию цистерны. Например, вследствие относительного перемещения жидкости по направлению движения автомобиля, остановившийся на скользкой поверхности перед светофором, может быть вытолкнут силами инерции колеблющегося груза на перекресток. Влияние перемещения жидкости в цистерне на динамику транспортного средства существенно растет при увеличении веса транспортного средства и его размеров [2].

Цистерны без устройств для гашения колебаний жидкости отличаются большими перемещениями центра масс груза в резервуаре. Это приводит к значительным продольным гидродинамическим нагрузкам, действующим на днища. С целью снижения этих нагрузок внутри цистерн устанавливают перегородки, как проницаемые, так и непроницаемые [3]. В некоторых случаях для снижения опасности опрокидывания дополнительно устанавливают волнорезы, ограничивающие перемещение жидкости в поперечном направлении. Однако санитарные нормы запрещают использование перегородок в цистернах, предназначенных для перевозки продуктов питания (например, молока) из-за трудностей при очистке внутренней части резервуара. В связи с этим перевозка жидкостей в резервуарах требует специальных навыков водителя, учитывающих специфику динамических свойств автоцистерн. Наибольшей сложностью отличается управление цистернами без перегородок, особенно при разгоне и торможении. Есть свои особенности и при эксплуатации цистерн, разделенных на отсеки. В частности, водитель должен следить за тем, чтобы разность нагрузок, приходящихся на передние и задние колеса транспортного средства, не была очень большой.

Нами предложены новые технические решения, которые позволяют существенно снизить влияние колеблющейся жидкости как на устойчивость движения цистерн, так и на нагруженность их конструкций. Белорусский государственный аграрный технический университет является обладателем патента на полезную модель [3], в котором предложено снизить силы инерции жидкостей, возникающих при переходных режимах движения цистерн, путем использования специального устройства, устанавливаемого в резервуаре цистерны, представленной на рисунке. Суть предложения состоит в установке внутри цистерны подвижных перегородок, связанных между собой единым стержнем, выходящим наружу и передающим возникающие силы инерции на платформу через торсионы. Предложенное устройство работает следующим образом. Силы инерции, которые возникают при изменении скорости движения или трогании с места транспортного средства, перевозящего жидкий груз, залитый через горловину 5 и находящийся в объеме между цилиндрической оболочкой 1, передней 2 и задней 3 стенками, действуют на поперечные перегородки 4, жестко соединенные с продольным стержнем 6, вызывая при этом его перемещение в направлении действия сил.



Цистерна для перевозки жидких грузов: 1 – цилиндрическая оболочка; 2 – передняя стенка; 3 – задняя стенка; 4 – поперечные перегородки; 5 – заливная горловина; 6 – продольный стержень; 7 – передний конец стержня; 8 – задний конец стержня; 9 – шарнирное соединение верхнего конца переднего торсиона с передним концом продольного вала; 10 – торсионы; 11 – жесткое соединение нижних концов торсионов с платформой транспортного средства; 12 – платформа

Торсионы 10, верхние концы которых шарнирно соединены с концами 7 и 8 продольного стержня 6 и жестко – с платформой 12, будут воспринимать силы инерции жидкости и передавать их на платформу, обеспечивая тем самым эффективное их гашение, исключая разрушение стенок цилиндрической оболочки 1 и обеспечивая безопасность перевозок.

### Заключение

Таким образом, предложенные конструкции позволяют преобразовать кинетическую энергию транспортируемого жидкого груза в иные виды энергии, что дает возможность более эффективно гасить колебания жидкостей по сравнению с существующими, и, в конечном счете, улучшить устойчивость и управляемость автомобильных цистерн.

Применение цистерн с устройством передачи инерционных сил на платформу позволит избежать аварий, часто встречающихся при использовании традиционных цистерн. Предложенные конструкции перегородок значительно снижают колебания жидкости и ее кинетическую энергию при торможении и трогании с места.

### Список использованных источников

1. Островский, А. М. Пути совершенствования транспортирования опасных грузов в условиях интенсификации перевозочного процесса : дис. д-ра техн. наук : 05.22.08 / А. М. Островский ; Новосибирский институт инженеров железнодорожного транспорта. – Новосибирск, 1988. – 421 л.
2. Высоцкий, М. С. Динамика автомобильных и железнодорожных цистерн / М. С. Высоцкий, Ю. М. Плескачевский, А. О. Шимановский. – Минск : Белавтотракторостроение, 2006. – 320 с.
3. Цистерна : пат. 8273 Респ. Беларусь МПК7 В 65D 88/12 / В. Я. Тимошенко, А. О. Шимановский, А. В. Новиков, Г. И. Кошля ; заявитель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет». – № 020110870 ; заявл. 08.11.2011 ; опубл. 30.06.2012.

**А. Н. Юрин, С. П. Кострома, В. В. Викторovich**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab\_plodoyagoda@mail.ru*

## **ОБЗОР И АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ПЛОДОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ ОТ ВЕСЕННИХ ЗАМОРОЗКОВ**

*Аннотация.* Приведен анализ известных способов защиты плодовых насаждений от весенних заморозков, а также описана эффективность их применения в почвенно-климатических условиях Республики Беларусь.

*Ключевые слова:* весенние заморозки, генеративные органы деревьев, температура, влажность почвы, полив, перемешивание воздуха, обогрев.

**A. N. Yurin, S. P. Kostroma, V. V. Viktorovich**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab\_plodoyagoda@mail.ru*

## **REVIEW AND ANALYSIS OF KNOWN METHODS FOR PROTECTING FRUIT TREES FROM SPRING FROST**

*Abstract.* This article provides an analysis of the known methods of protecting fruit plantations from spring frosts, as well as the effectiveness of their application in the soil and climatic conditions of the Republic of Belarus.

*Keywords:* spring frosts, generative organs of trees, temperature, soil moisture, watering, air mixing, heating.

### **Введение**

В конце зимы и весной у плодовых деревьев заканчивается период покоя, начинают развиваться листья, цветки, образуется завязь плодов. Одновременно повышается чувствительность к низким температурам. Даже морозостойкие сорта, которые выдерживают сорокоградусные морозы, во время цветения чувствительны к легким заморозкам весной.

Весна в Беларуси характеризуется очень изменчивой погодой. Довольно часто случаются заморозки (временное понижение температуры ниже 0 °С на поверхности почвы и в воздухе на фоне положительных средних суточных температур). Особенностью весенних заморозков является их локализация. В зависимости от механизма процесса различают следующие типы заморозков: адвективные, радиационные и адвективно-радиационные (комбинированные) [1].

*Адвективные заморозки* являются результатом перемещения воздуха в горизонтальном направлении и наблюдаются с приходом холодного арктического воздуха, и вызывают понижение температуры воздуха от поверхности земли до больших высот. Такие заморозки характерны для второй половины мая. Заморозки могут длиться 3–4 суток, охватывая большие территории, и мало зависят от местных условий.

*Радиационные заморозки* характерны для ночного времени суток [1]. Они обусловлены интенсивным охлаждением поверхности в результате излучения в ясные безветренные ночи при невысоких средних суточных температурах. В приземном слое образуется инверсия температур: на высоте 2 м она выше на 2,5–4,5 °С, чем у поверхности земли. Разница тем больше, чем выше континентальность климата. В лесу при этих заморозках температура на 2–3 °С градуса выше, чем на полях. Понижение температуры воздуха будет тем больше, чем меньше он насыщен водяным паром. При достижении точки росы начинается конденсация водяного пара с высвобождением скрытой теплоты парообразования и дальнейшее снижение температуры существенно замедляется.

Наиболее опасными для садовых насаждений являются *комбинированные заморозки*, сочетающие в себе особенности радиационных проявлений и процессов адвекции [1]. Комбинированные заморозки происходят при вторжении холодного воздуха и дальнейшего ночного охлаждения поверхности при ясном небе. Наблюдаются в конце весны – начале лета, совпадая с периодом вегетации. Продолжительность их составляет 3–4 ч в конце ночи и может увеличиваться в зависимости от рельефа. В низинах происходят застой и приток холодного воздуха, поэтому температура опускается ниже, чем на равнинах, и сохраняется дольше. Возможно развитие заморозков, которые обусловлены перечисленными причинами, но при общей положительной температуре воздуха. То есть они проявляются незаметно, снижение температуры до 0 °С и ниже наблюдается на поверхности растений и связано с дополнительным охлаждением при транспирации и длинноволновом излучении растениями.

В Республике Беларусь «возвратные» заморозки часто наблюдаются в последних числах мая, а иногда и в начале июня [2]. Даже несмотря на незначительное снижение температурного фона, длящееся более 4 ч, заморозки всегда представляют очень серьезную угрозу для садовых деревьев и кустарников.

Обычно, чем раньше установилась теплая погода, тем выше становится вероятность появления поздних заморозков. Самыми опасными являются заморозки, когда дневная температура уже установилась на уровне 5–10 °С. Бутоны яблони выдерживают заморозки при температуре –2,7...–3,8 °С, груши – –1,6...–3,8 °С, сливы – –1,1...5,5 °С [2]. Критические температуры воздуха для плодовых деревьев указаны в таблице.

**Критические температуры воздуха для плодовых деревьев, °С**

Культура	Крона	Корни	Ростовые почки	Цветочные почки	Бутоны	Цветки	Завязи
Яблоня	–35	–10	–40	–35	–3,8	–2,0	–1,8
Груша	–25	–8	–30	–25	–3,8	–2,0	–1,2
Вишня	–35	–10	–40	–35	–2,0	–2,0	–1,2
Слива	–30	–8	–25	–25	–4,0	–2,0	–1,2

Распустившиеся цветки еще уязвимее. На большинстве плодовых растений уже при температуре –2 °С цветки получают практически необратимые повреждения, а завязи плодов могут погибнуть уже при температуре –1 °С.

Теплолюбивые садовые деревья (вишня, слива) в период заморозков с критичными показателями температур получают непоправимые повреждения и гибнут. Если после повреждения от заморозков цветы и завязи не осыпались, то в дальнейшем из них образуются деформированные и некачественные плоды, а урожайность будет значительно снижена. Повреждения от заморозков цветков в фазе бутонов уже распустившихся цветков и завязей плодов зависят от местоположения сада и вегетационных особенностей деревьев.

Максимальный вред от заморозков получают вишневые, сливовые и грушевые сады. Яблони зацветают на несколько дней позже и страдают от воздействия весенних заморозков значительно меньше. Размещение садовых насаждений вблизи любых крупных водоемов и на рельефных возвышенностях снижает пагубное воздействие отрицательных температур на плодовые деревья [3–5].

Заморозки могут повредить и цветочные почки, листья, завязи плодов и даже побеги (рис. 1). Когда повреждение происходит в фазу розового бутона, то оно незаметно. Наиболее опасного повреждения не будет.

Повреждение рыльца и столбика может произойти, если заморозки наступили уже после опыления цветка. Поврежденные морозом листья становятся гофрированными. А если мороз длительный, то они чернеют и опадают.

Негативным фактором при заморозках является отрицательная температура, наступившая после воздействия на растения положительной температуры, поэтому основное решение задачи защиты садов заключается в сглаживании резких колебаний температуры воздуха или укрытии



Рис. 1. Повреждения генеративных органов плодовых деревьев весенними заморозками:  
*а* – бутонов; *б* – цветов; *в* – завязей

самых растений. С физиологической точки зрения замораживание не обязательно влечет за собой полную гибель протоплазмы и может вызывать лишь повреждения ее внутреннего строения. При медленном оттаивании такой ткани жизнедеятельность протоплазмы восстанавливается, быстрое оттаивание поврежденной протоплазмы способствует ее полному разрушению. Таким образом, гибель растительных тканей часто происходит не только из-за действия ночных заморозков, но и от быстрого оттаивания под лучами солнца, что следует учитывать при проведении защитных мероприятий [4].

Для уменьшения негативного воздействия заморозков разработано несколько методов, позволяющих минимизировать гибель растений и снижение урожайности.

Цель работы – оценить известные методы защиты растений от заморозков и выбрать наиболее применяемые для условий Республики Беларусь.

### Основная часть

Способы борьбы с заморозками делятся на две группы: профилактические и прямые. К профилактическим способам борьбы относятся подбор пород сортов и рациональное их размещение со строгим учетом микроклимата (в условиях пересеченного рельефа), побелка деревьев и применение ингибиторов роста [4, 5].

Побелка деревьев вследствие отражения прямой солнечной радиации и уменьшения нагрева задерживает начало цветения и продлевает его на несколько дней. Благодаря этому дерево может не попасть под ранний весенний заморозок. Этот способ задержки начала цветения является лучшим, чем рекомендованный ранее, заключающийся в накоплении под деревом снега. Снег, специально сохраняемый под деревом, задерживает активную жизнедеятельность корней, которые не компенсируют потерю воды вегетирующей надземной частью. В результате растение, хотя и зацветает позже, но сильно обезвоживается и ослабляется.

Химические вещества также способны защитить плодовые культуры от заморозков. Так, существуют химические соединения – ингибиторы роста, позволяющие регулировать покой и повышать морозостойкость деревьев. Были получены положительные результаты при обработке деревьев абсцизовой кислотой, ауксинами, гиббереллином, этефоном для удлинения периода покоя, задержки цветения и увеличения устойчивости цветковых почек.

К прямым способам защиты плодовых деревьев относят: перемешивание воздуха; дымление; дождевание; укрытие; обогрев.

Защита от заморозков путем *перемешивания* воздуха заключается в смешивании более теплых верхних слоев воздуха с холодным приземным слоем при помощи вентилятора. Дальность действия вентилятора мощностью 25 л. с. достигает 100 м. Более слабые модели (на 12,5–15,0 л. с.) обеспечивают 100%-ую защиту только в радиусе 55–60 м [6].

Подобные установки выпускает финляндская фирма Tow and Blow (рис. 2). Дальность действия вентилятора с мотором мощностью 23,7 л. с. достигает 100 м, скорость потока воздуха – 23 м/с. Расход дизельного топлива составляет 5 л/ч [7].



Рис. 2. Установка для перемешивания воздуха в саду (фирма Tow and Blow, Финляндия)

Также существуют навесные вентиляторы американской фирмы Brown Welding Corp [6]. Недостатком данных вентиляторов является то, что их можно использовать только для предотвращения повреждений плодовых культур при снижении температуры до  $-3^{\circ}\text{C}$ . Так как этот способ защиты может обеспечить повышение температуры максимум на  $2 - 2,5^{\circ}\text{C}$ , то он эффективен только при радиационных (местных) заморозках.

Наиболее распространенный метод защиты плодовых деревьев от заморозков – *дымление* [4, 5]. Одним из его важных достоинств является возможность покрывать дымом большие площади с защищаемыми насаждениями. Образовавшаяся дымовая завеса уменьшает тепловое излучение земли и обеспечивает конденсацию воздушной влаги на частичках дыма. Кроме того, происходит обогрев воздуха за счет выделившейся теплоты при сгорании дымовой смеси. В то же время дымовая завеса в утренние часы, закрывая растения от прямых солнечных лучей, способствует более медленному и равномерному оттаиванию тканей плодовых деревьев, если они подмерзли, и уменьшению степени повреждения.

Дымовая завеса образуется вследствие температурной инверсии в приземном слое атмосферы. При безветрии в ясную ночь нижний слой воздуха сильно выхолаживается и разность температур у поверхности почвы и на высоте 8–10 м может достигать  $8-11^{\circ}\text{C}$ . Дым, охлаждаясь в нижнем слое воздуха, быстро теряет подъемную силу и внутри слоя инверсии начинает растекаться в горизонтальном направлении.

Для обогрева на участке площадью более  $600\text{ м}^2$  надо разжечь полтора десятка костров и поддерживать их в течение всего периода минусовой температуры.

Чтобы задымить весь сад, между деревьями устраивают дымовые кучи диаметром до 1,5 м и высотой до 80 см. В самый низ кладут сухой материал (ветки, навоз, солому, опилки), а сверху набрасывают сырую траву или землю. Дымление начинают, пока температура не упала ниже нуля, а заканчивают через 1–2 ч после восхода солнца. В результате цветущие растения могут выдерживать заморозки до  $-4^{\circ}\text{C}$ .

Также можно применять специальные дымовые шашки. Для перемещения источника дыма и оперативного реагирования на изменения ветра можно использовать автотранспорт, складывая дымовые шашки в кузове и передвигаясь в определенных направлениях с нужной скоростью. Трактор, снабженный устройством для установки дымовой завесы, может двигаться в рядах сада. При этом защитный эффект усиливается вследствие перемешивания слоев воздуха движущейся машиной.

Если ткани растений подмерзли, их оттаивание под дымовой завесой происходит более медленно и равномерно. При утреннем дымлении стоит задача не поднять температуру воздуха вокруг защищаемых растений, а ослабить солнечную радиацию. Если же дымовая завеса в это время будет слишком густой, то вместо ослабления нагрева растений искусственно продолжится вредное ночное понижение температуры воздуха.

В слабоветренную погоду при безоблачном небе для снижения излучения земли на 30–40 % ночью необходимо одновременно сжигать 50 шашек на 1 га. При утреннем дымлении сжигают до 5 шашек на 1 га. Дымление вредно с экологической точки зрения. Продукты горения загрязняют окружающую среду, осаждаются на поверхности растений. Людям, работающим в дыму, следует пользоваться индивидуальными средствами противодымной защиты.

Также следует отметить, что способы дымления могут давать эффект только на ровном месте, при отсутствии подтока холодного воздуха со стороны и при слабом ветре (1–2 м/с).

Для борьбы с заморозками также применяют *дождевание*. При заморозках дождевание повышает температуру точки росы, способствует увеличению теплопроводности почвы и притоку тепла из более глубоких слоев к поверхности, что может повысить температуру в холодные ночи на 2 °С [4, 5]. Различают два типа дождевания: предзаморозковое (за несколько часов до заморозка) и противозаморозковое (непосредственно в период отрицательных, но не критических температур).

Предзаморозковое дождевание защищает в основном низкорослые деревья при заморозках до –2 °С и ветре 1,5–2,0 м/с, а при штиле – до –4 °С [4, 5].

Его воздействие основано на том, что плотная и влажная почва имеет хорошую теплопроводность, так как в ней между частицами земли находится не воздух, а вода, которая обладает большей теплопроводностью, и чтобы ее охладить, нужно значительно понизить температуру. Приток тепла к поверхности почвы из более глубоких слоев происходит быстро, и за счет ночного излучения охлаждается слабее. Поэтому на плотной и политой почве заморозок менее вероятен и менее опасен, чем на рыхлой и сухой. Повышенная влажность воздуха над политыми участками также препятствует потерям тепла от почвы и растений на излучение. В период заморозка под влиянием тепла, выделяющегося при охлаждении почвы и под влиянием скрытой теплоты парообразования над политыми участками, происходит повышение температуры воздуха, позволяющее избежать или снизить вредоносное воздействие отрицательной температуры.

Противозаморозковое дождевание основано на использовании тепла, выделяемого при образовании льда во время замерзания воды. Дождевание, начатое сразу после снижения температуры до 0 °С, нужно непрерывно продолжать, пока температура воздуха не повысится. При прекращении дождевания больше чем на 1 мин температура растения снижается до предела, за которым следуют замерзание и гибель тканей. Поэтому короткого дождевания для защиты от заморозков не достаточно. Минимальное количество искусственного дождя при температуре ниже –5 °С должно составлять 3,0–3,5 мм/ч, что соответствует 30–35 м<sup>3</sup> воды на 1 га/ч. При дальнейшем снижении температуры расход воды соответственно возрастает, поэтому запасов воды должно быть в достаточном количестве из расчета на несколько дней непрерывного дождевания, так как морозные ночи могут следовать одна за другой. С хорошо смонтированной дождевальной установкой можно защитить цветки от замерзания при температуре –5...–7 °С. Хотя эффективность защиты от заморозков и высокая, приобретение таких дождевальных систем очень сильно повышает себестоимость продукции. Поэтому данный способ получил ограниченное использование [3].

*Укрытие* плодовых деревьев позволяет защитить их от зимних повреждений, дождя, града, создать благоприятный микроклимат. Часто используемые легкие сооружения с покрытием из

полиэтиленовой или пропиленовой пленки тоже могут уберечь от кратковременного снижения температуры. Спанбонт также пригоден для защиты от заморозков. При сильном снижении температуры эффективность таких укрытий падает, причем из-за излучения тепла стенками укрытий температура воздуха под укрытием может стать ниже, чем вне укрытия. Укрытие пеной может также уберечь растения. Для этого в состав воды, применяемой для опрыскивания деревьев, вводят специальные пенообразующие полимерные криопротекторы.

*Обогрев* плантаций заключается в использовании различного типа горелок с жидким или твердым топливом для нагревания воздуха при заморозках радиационного типа в безветренную погоду.

Бельгийская фирма Agrofrost выпускает установку Frostbuster F501 (рис. 3), которая представляет собой прицепную машину. Вентилятор приводится в действие валом отбора мощности трактора. Газовая горелка нагревает воздух до температуры 80–85 °С. Горячий воздух распространяется между деревьями через две выходные трубы (одна слева и одна справа). Общая площадь поверхности, которую можно защитить, зависит от формы и размера участка и максимально составляет от 8 до 10 га.



Рис. 3. Установка Frostbuster F501 (фирма Agrofrost, Бельгия)

Установка Frostbuster F501 имеет следующие технические характеристики [8]:  
 Масса без учета газовых баллонов, кг . . . . . 1680  
 Максимальная производительность, га . . . . . 8–10  
 Среднее потребление газа, кг/ч. . . . . 35  
 Минимальная необходимая мощность трактора, л. с. . . . . 65

На основании проведенного обзора и анализа известных способов и средств защиты плодовых деревьев от весенних заморозков можно сделать вывод, что наибольшим преимуществом обладает способ борьбы с заморозками при помощи обогрева газовыми горелками с использованием вентилятора.

### Выводы

1. Анализ способов защиты плодовых деревьев от весенних заморозков показывает, что наиболее эффективным способом борьбы с заморозками в расчете на 1 га площади является обогрев газовыми горелками с использованием вентилятора. Эффект проявляется не только от повышения температуры атмосферы, но и от свойств фазового перехода, контролируя образование льда и восстанавливая энергию, которая освобождается в процессе преобразования пара в лед; данный способ обеспечивает защиту с минимальным потреблением энергии.

2. Обогрев имеет несколько преимуществ по сравнению с другими системами защиты от заморозков. Этот способ может применяться не только во время радиальных заморозков, но также и во время заморозков, сопровождаемых ветром, и использоваться в местах, где вода не доступна.

3. Общая площадь поверхности, которую можно защитить одной установкой, зависит от формы и размера участка и максимально составляет от 8 до 10 га.

#### **Список использованных источников**

1. Новые технологии и технические средства для механизации работ в садоводстве / В. Ф. Воробьев [и др.] ; М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное науч. учреждение «Российский науч.-исслед. ин-т информ. и технико-экономических исслед. по инженерно-техническому обеспечению агропром. комплекса» ; [подгот. под рук. М. И. Куликова и др.]. – М. : Росинформагротех, 2012. – 164 с.

2. Асейкин, Р. Н. О физической природе радиационного заморозка / Р. Н. Асейкин // Изв. Акад. наук СССР. Сер. географич. и геофизич. – 1938. – № 2–3. – С. 92–103.

3. Интенсивные технологии в садоводстве / пер. с пол. Н. А. Чупеева. – М. : Агропромиздат, 1990. – 300 с.

4. Лосев, А. П. Агрометеорология / А. П. Лосев, Л. Л. Журина. – М. : Колос, 2001. – 297 с.

5. Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посадочного материала : сб. отрасл. регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т систем. исслед. в АПК Нац. акад. наук Беларуси ; рук. разработ.: В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2010. – 520 с.

6. Фирма Tow and Blow [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.towandblow.co.nz/products/tow-and-blow/frost-fan/>. – Дата доступа: 21.08.2020.

7. Фирма Brown Welding Corp [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://philbrownwelding.com/index.php/frost-protection-fans>. – Дата доступа: 24.08.2020.

8. Фирма Agrofrost [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agrofrost.eu/products>. – Дата доступа: 03.03.2022.

**А. Н. Юрин, В. В. Викторovich, С. П. Кострома, А. А. Игнатчик**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab\_plodoyagoda@mail.ru*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ РАБОЧЕГО ОРГАНА К РОБОТИЗИРОВАННОЙ МАШИНЕ ДЛЯ ПРОПАЛЫВАНИЯ ПИТОМНИКОВ**

*Аннотация.* В данной статье представлены экспериментальные исследования функционирования системы автоматической ориентации рабочего органа к роботизированной машине для пропалывания питомников.

*Ключевые слова:* сады интенсивного типа, сорная растительность, междурядье, насаждение, штамп насаждения, защитная зона, степень подрезания, ультразвуковой датчик, схема размещения, скорость движения.

**A. N. Yurin, V. V. Viktorovich, S. P. Kostroma, A. A. Ignatchik**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab\_plodoyagoda@mail.ru*

## **EXPERIMENTAL STUDIES OF THE FUNCTIONING OF THE SYSTEM OF AUTOMATIC ORIENTATION OF THE WORKING BODY TO A ROBOTIC MACHINE FOR PUNCHING NURSERY**

*Abstract.* This article presents an experimental study of the functioning of the system of automatic orientation of the working body to a robotic machine for weeding nurseries.

*Keywords:* intensive gardens, weeds, inter-row, planting, planting bole, protection zone, undercutting degree, ultrasonic sensor, placement scheme, movement speed.

### **Введение**

Одной из причин дефицита объема и качества произведенного посадочного материала является низкий уровень механизации работ в садоводстве.

В настоящее время уровень механизации работ в садоводстве остается самым низким в отрасли сельского хозяйства. Наиболее трудоемкие процессы в садоводстве выполняются вручную, что повышает себестоимость продукции и снижает ее качество [1].

Одной из операций, до настоящего времени не механизированной, остается уничтожение сорной растительности в питомниках.

Вопросу борьбы с сорняками в питомниководстве в последнее время уделяется большое внимание, поскольку на сильно засоренных посадках невозможно получить должную отдачу от приемов интенсификации питомниководства [2].

Сорняки снижают зимостойкость растений, являются резерваторами многих вредителей и возбудителей болезней. Активность микробиологических процессов в почве на засоренных участках также снижается. Сорные растения обладают большей пластичностью и устойчивостью к поражению болезнями и вредителями, имеют более мощную корневую систему, способны извлекать питательные вещества и воду из более глубоких слоев почвы, успешно соседствуют с культурными растениями. Развитая корневая система сорных растений механически ограничивает распространение корневых систем культурных растений. Все это отрицательно сказывается на росте и развитии саженцев плодовых и ягодных культур и приводит к ухудшению качественных показателей посадочного материала [3].

Таким образом, очевидно, что без применения эффективных мер борьбы с сорняками довольно затруднительно получить высококачественный посадочный материал, необходимый для дальнейшей интенсификации садоводства.

Для решения этой задачи в настоящее время применяют агротехнические, биологические и химические методы защиты растений от сорняков. В системе борьбы с сорной растительностью в настоящее время предпочтение отдается применению гербицидов. Однако, несмотря на накопленный опыт применения гербицидов и важные достижения в этой области, использование гербицидов в питомниководстве продолжает оставаться серьезной проблемой, так как применение гербицидов затрудняет получение высоких урожаев в дальнейшем. Поэтому, несмотря на очевидные преимущества химических методов защиты, полностью отказаться от механической борьбы с сорняками не представляется возможным.

Основным недостатком существующих средств механизации для обработки почвы в плодородных питомниках является отсутствие эффективных средств механизации для рыхления почвы и уничтожения сорной растительности в околотамбовой зоне, качество обработки которой непосредственно сказывается на качестве посадочного материала [4].

В последнее десятилетие большое количество зарубежных фирм приступило к созданию роботизированных технических средств для механизации трудоемких процессов в садоводстве, таких как уборка плодов, химическая защита насаждений, кошение и обработка почвы [5].

Отсутствие в настоящее время серийных образцов данной техники в производстве, перспектива устранения ручного труда и «человеческого фактора» толкают создателей данных машин к дальнейшей работе.

С 2019 г. и в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» ведутся работы по созданию роботизированной машины для пропалывания питомников.

### Основная часть

Конструктивно-технологическая схема роботизированной машины для пропалывания междурядий и рядов питомника и ягодников определяется в первую очередь агротехническими требованиями, предъявляемыми к выполнению технологических операций по выращиванию растений в питомниках и ягодниках. Существенным фактором является также схема посадки саженцев.

Макетный образец роботизированной машины, созданный в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», выполнен навесным к трактору класса 0,6-1,4 и состоит из следующих сборочных единиц и узлов: рамы, колесного хода, гидросистемы, системы управления и рабочего органа (рис. 1).



Рис. 1. Макетный образец роботизированной машины для пропалывания междурядий питомников и ягодников:  
1 – рама; 2 – рабочий орган; 3 – колесный ход; 4 – система управления; 5 – гидросистема

Система управления предназначена для автоматической ориентации рабочего органа относительно ряда обрабатываемых растений в зависимости от расстояния до растения и скорости движения энергетического средства, а также для отображения на экране величины расстояний смещения машины относительно ряда саженцев, предназначенных для корректировки положения управляемых колес трактора. Система управления состоит из программируемого микроконтроллера, защищенного корпуса с сенсорной панелью и системы датчиков.

Управление макетным образцом осуществляется при помощи сенсорного экрана контрольной панели.

Рабочий орган представляет собой вертикально-фрезерный рабочий орган с вертикальной осью вращения и приводом от гидромотора, установленный на поводке с параллелограмной подвеской.

Рабочий процесс рыхления почвы и уничтожения сорной растительности в междурядьях, межстволовой и околотамбовой зоне посадочного материала плодовых и ягодных культур посредством роботизированной машины осуществляется следующим образом.

Роботизированная машина, агрегатируемая трактором, подъезжает к питомнику и останавливается перед началом ряда посадочного материала. Механизатор посредством органов управления переводит рабочий орган из транспортного положения в рабочее, затем из кабины трактора включает систему автоматической ориентации рабочего органа относительно ряда обрабатываемых растений (САО), и машина начинает движение по ряду. При обнаружении саженца САО через блок управления подается команда на электрогидрораспределитель и поводок с рабочим органом отходит в сторону. После прохода саженца рабочий орган машины возвращается в исходное положение.

В процессе движения по ряду механизатором при необходимости осуществляется корректировка траектории движения машины относительно ряда обрабатываемых растений на основании данных, полученных с контрольной панели системы управления.

При выполнении операции пропалывания междурядий питомников и ягодников должны выполняться следующие агротехнические требования:

Подрезание сорной растительности, % . . . . . 100

Глубина обработки почвы, см. . . . . 3–5

Отклонение от средней глубины обработки, см, не более . . . . . 1

Повреждение насаждений . . . . . Не допускается

В связи с этим очевидно, что полное подрезание сорной растительности при отсутствии повреждений посадочного материала в процессе пропалывания междурядий и рядов посадочного материала питомников и ягодников возможно лишь с применением системы автоматической ориентации рабочего органа роботизированной машины, основанной на бесконтактном методе определения наличия и расположения растений.

Однако полное подрезание сорной растительности возможно только при обработке почвы вплотную к штамбу саженца, что может привести к его повреждению. Поэтому при осуществлении технологических операций пропалывания предусматривается оставление защитной зоны возле обрабатываемых растений для саженцев плодовых и ягодных культур – 0,05–0,10 м.

Бесконтактное определение положения насаждения может быть основано на принципе технического зрения с использованием высокоскоростной камеры или ультразвуковых датчиков. Однако условия работы при осуществлении процесса пропалывания междурядий и рядов питомников предусматривают образование большого количества пыли, что негативно сказывается на работе оптики.

Поэтому наиболее рациональным решением является применение ультразвуковых датчиков, способных работать в условиях плохой видимости и высокого запыления. Для этих целей был использован ультразвуковой датчик E4C-DS80 с усилителем E4C-UDA41AN фирмы Omron (рис. 2), позволяющий определять расстояние до объекта с точностью до 1 мм на расстоянии не менее 70 мм и не более 800 мм.

Область распознавания объектов датчиком E4C-DS80 приведена на рис. 3, из которого видно, что для уверенного определения объекта расстояние до него не должно превышать 600–700 мм.



Рис. 2. Ультразвуковые датчики типа E4C-DS80 с усилителями E4C-UDA41AN (фирма Omron)

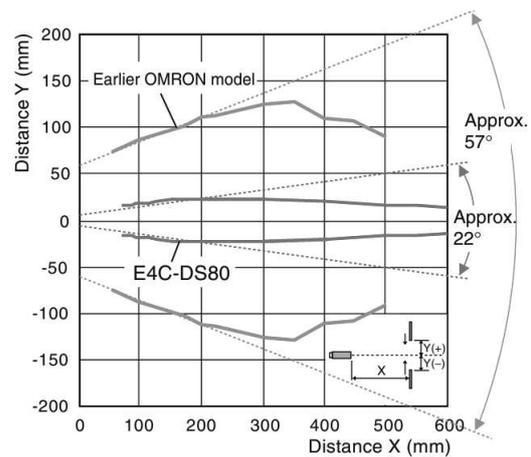


Рис. 3. Область распознавания объектов датчиком E4C-DS80

Очевидно, что при работе роботизированной машины рабочий орган будет совершать циклические отходы в сторону при появлении в поле «зрения» датчика растения и возвращаться в исходное положение после его прохода. При этом, учитывая допустимые агротребованиями отклонения в схеме посадки насаждений по расстоянию в ряду, необходимо максимально точно в режиме реального времени определить расположение каждого насаждения, обрабатываемого рабочим органом и следующего за ним.

Для этого на роботизированной машине опробованы различные схемы размещения ультразвуковых датчиков, приведенные на рис. 4.

Экспериментальные исследования представленных схем размещения ультразвуковых датчиков с поперечно-симметричным, поперечно-несимметричным, поперечным односторонним, продольно-поперечным расположением на роботизированной машине показали, что точность определения расстояния до насаждений составляет 96,0; 96,2; 97,4; 98,2 % соответственно.

Таким образом, для дальнейших исследований принята схема с продольно-поперечным расположением датчиков, приведенная на рис. 4, з.

Силами лаборатории механизации возделывания плодоягодных и овощных культур РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с отделами питомниководства и ягодных культур РУП «Институт пловодства» проведены экспериментальные ис-

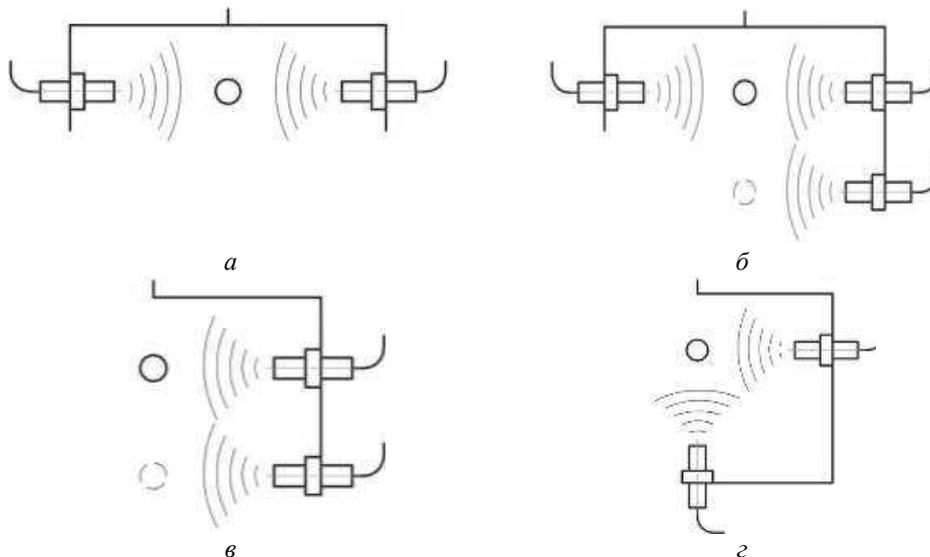


Рис. 4. Схемы размещения ультразвуковых датчиков с поперечно-симметричным (а), поперечно-несимметричным (б), поперечным односторонним (в), продольно-поперечным (з) расположением на роботизированной машине

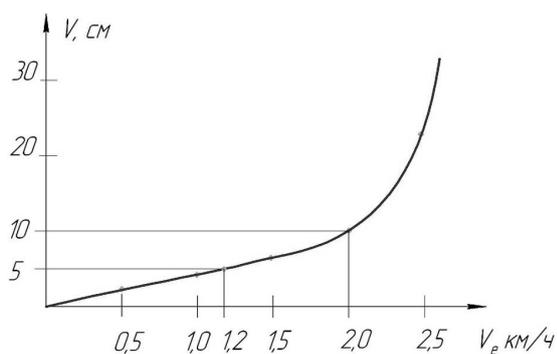


Рис. 5. Зависимость отклонения траектории движения роботизированной машины от ряда растений от скорости ее движения

ваться отклонение от прямолинейного движения, что может повлечь за собой нарушение защитной зоны и повреждения саженца.

Для определения допустимой скорости движения машины, исходя из изложенных выше доводов, были проведены экспериментальные исследования отклонения траектории движения агрегата в зависимости от скорости его движения.

Графическая интерпретация зависимости приведена на рис. 5.

Исследования показали, что с ростом скорости увеличивается отклонение от прямолинейного движения роботизированной машины, что связано с запаздыванием реакции механизатора на управляющие сигналы системы автоматической ориентации рабочего органа, выводящей информацию на контрольную панель.

При этом отклонение траектории в 5 см может быть обеспечено при скорости движения не более 1,2 км/ч, а отклонение в 10 см – при скорости движения не более 2,0 км/ч.

Экспериментальные исследования по определению полноты срезания сорной растительности в зависимости от скорости движения роботизированной машины проводили с целью определения

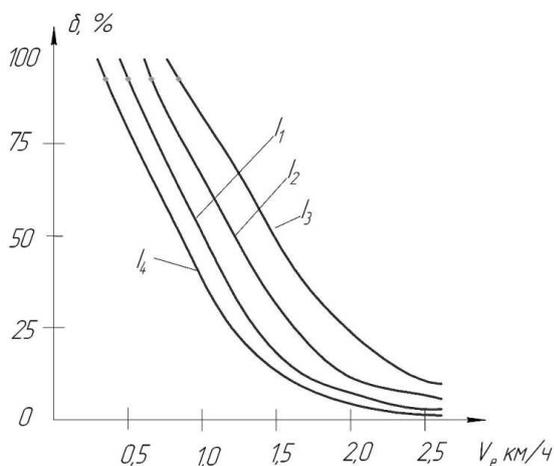


Рис. 6. Зависимость полноты срезания сорной растительности от скорости движения роботизированной машины

следования процесса рыхления почвы и уничтожения сорной растительности в междурядьях, междустоловой и околоштамбовой зоне посадочного материала плодовых и ягодных культур макетным образцом роботизированной машины для пропалывания междурядий питомников и ягодников в лабораторных и полевых условиях в 2020 г.

Как ранее было установлено, для предотвращения повреждения насаждений при пропалывании необходимо оставлять защитную зону вокруг ствола саженца, равную 0,05–0,10 м. Для обеспечения этого необходимо, чтобы механизатор вел трактор в соответствии с указаниями САО. Однако с ростом скорости движения агрегата будет увеличиваться

отклонение от прямолинейного движения, что может повлечь за собой нарушение защитной зоны и повреждения саженца. Исследования проводили с целью определения агротехнически допустимой скорости движения, при которой обеспечивается полное срезание сорняков (не менее 95 %).

Исследования проводили при скорости движения 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 км/ч.

Результаты исследований показаны на рис. 6, который отображает графическую интерпретацию зависимости, где  $i_1, i_2, i_3, i_4$  – программируемое время срабатывания электромагнитного клапана гидрораспределителя, принимаемое 0,1; 0,2; 0,4; 0,6 с соответственно.

Из графика видно, что наибольшая скорость движения роботизированной машины при уничтожении сорной растительности в междустоловой и околоштамбовой зоне посадочного материала не менее 95 % может быть достигнута при скорости движения 0,9 км/ч и величине задержки срабатывания клапана, равной 0,4 с.

## Выводы

В результате проведенных экспериментальных исследований макетного образца роботизированной машины для пропалывания междурядий и рядов питомников и ягодников установлено следующее.

1. Продольно-поперечная схема расположения ультразвуковых датчиков на роботизированной машине обеспечивает наибольшую точность определения расстояния до насаждений – не менее 98,2 %.

2. Величина защитной зоны насаждений, равная 5 см, достигается при скорости не более 2 км/ч.

3. Чистота пропалывания (в зависимости от засоренности) межстволовой и околоштамбовой зоны посадочного материала составляет не менее 95 % при скорости движения роботизированной машины не более 0,9 км/ч и величине времени срабатывания электромагнитного клапана гидрораспределителя, равной 0,4 с.

#### **Список использованных источников**

1. Измайлов, А. Ю. Актуальность разработки перспективной системы машин и технологий для производства основных видов сельскохозяйственной продукции в Российской Федерации и Республике Беларусь / А. Ю. Измайлов, Я. П. Лобачевский // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства : сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – М. : ВИМ, 2015. – С. 10–14.

2. Колесников, В. А. Уничтожение корнеотпрысковых сорняков / В. А. Колесников, М. А. Федосенков // Защита растений. – 1983. – № 12. – С. 20–21.

3. Лукашевич, М. А. Механизация работ в виноградарстве и садоводстве / М. А. Лукашевич // Труды НИИВиВ НПО «Виэрул», «Картя молдовеняскэ». – 1979. – С. 82–90.

4. Попов, Г. Ф. Рабочий орган фрезерного культиватора : авт. св-во № 143253 / Г. Ф. Попов // Открытия, изобретения : бюл. – 1961. – № 23.

5. Graf, B. Flexible Path Planning for Nonholonomic Mobile Robots / B. Graf, J. M. Hostalet Wandosell // Proc. of the fourth European workshop on advanced mobile robots (EUROBOT'01). – Lund (Sweden), 2001. – P. 199–206.

**А. Н. Юрин, В. В. Викторovich, А. А. Игнатчик**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab\_plodoyagoda@mail.ru*

## **СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ТРУДА ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ПРИ СОРТИРОВКЕ ЯБЛОК**

*Аннотация.* В данной статье приведено описание конструкции и принципа действия технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4, а также результаты ее предварительных испытаний.

*Ключевые слова:* сортировка плодов, яблоки, повреждения плодов, оптический сортировщик, конвейер, испытания.

**A. N. Yurin, V. V. Viktorovich, A. A. Ignatchik**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab\_plodoyagoda@mail.ru*

## **REDUCING LABOR COSTS BY USING THE VISION SYSTEM WHEN SORTING APPLES**

*Abstract.* This article describes the design and principle of operation of the technological line for sorting and packing apples LSP-4, as well as the results of its preliminary tests.

*Keywords:* sorting of fruits, apples, fruit damage, optical sorter, conveyor, testing.

### **Введение**

Известно, что потери плодов от момента их уборки и до поступления к конечному потребителю составляют до 30 %, что вызывает потребность в их сортировании.

В настоящее время контроль качества является мало механизированным процессом, на выполнение которого приходится до 70 % всех трудозатрат товарной обработки плодов в садоводстве [1].

Сортировка плодов имеет целью разделение плодов на фракции, относящиеся по характеристикам к высшему, первому и второму сорту, а также отделение нестандартных плодов.

В процессе осуществления этой задачи учитываются размер плодов, их цвет, наличие повреждений от болезней, вредителей и механического воздействия.

В настоящее время качественное выполнение данной работы возможно лишь вручную специалистом-сортировщиком.

Ручная сортировка предполагает выполнение следующих операций.

1. Рабочий берет из тары в руки плод и визуально его осматривает.

2. По результату осмотра рабочий принимает решение о сорте плода.

3. В соответствии со сделанным выводом рабочий кладет плод в один из ящиков, в котором находятся плоды только одного сорта.

Плоды при ручной сортировке квалифицированными рабочими подвергаются минимальному механическому травмированию. Однако производительность при ручной сортировке на три товарных сорта составляет лишь 40–70 кг/ч [1].

В 2019 г. в общественном секторе Республики Беларусь произведено более 157,3 тыс. т яблок. Для осуществления сортировки данного объема яблок необходимы трудозатраты в количестве 24,5 тыс. чел.-дн. [2–5]. Учитывая складывающийся дефицит рабочих в сельском хозяйстве, очевидно, что в республике необходимо внедрение в производство средств механизации, облегчающих или полностью исключаящих ручной труд при сортировке плодов.

В настоящее время осуществляется также механизированная сортировка плодов по показателям качества поверхности с участием механизмов и машин. Последние осуществляют доставку продукции к оператору и ее отвод после сортировки. Осмотр продукции, частичная манипуляция и принятие решения о качестве плодов осуществляется оператором. Производительность оператора при механизированной сортировке составляет до 300 кг/ч [6–10].

Дальнейшее повышение производительности труда на операции сортирования возможно за счет сокращения времени осмотра плода автоматическими сортировочными устройствами. Автоматизированная сортировка осуществляется автоматическим устройством без участия или с частичным участием оператора. Для этого в настоящее время используют автоматическое оптическое устройство, позволяющее определить качество поверхности плода без его повреждения, по аналогии, как это делает человек [11–15].

При этом автоматическое оптическое устройство должно обеспечивать:

- съем оптической информации с поверхности плода в определенных диапазонах спектра оптического излучения;
- определенное быстродействие, зависящее от производительности сортировочного устройства;
- соответствие количества одновременно осматриваемых плодов производительности сортировочного устройства, размерам плодов и скорости их перемещения в процессе сортирования.
- «бережное» отношение к плоду – сканирующее устройство не должно наносить плодам дополнительных повреждений.

К лидирующим фирмам, производящим оборудование для автоматизированной сортировки плодов, относятся фирмы Giro (Испания), Aweta и Greefa (Голландия), SEA (Италия), которые производят сортировальные линии для яблок [16–18].

В сортировальных линиях этих фирм осуществляется автоматизированная выгрузка плодов из контейнеров, их транспортировка к камере оптического сортировщика, фотографирование плодов, обработка изображений и разделение плодов на фракции согласно управляющим сигналам блока управления оптического сортировщика.

Однако в таких линиях автоматизированная сортировка плодов осуществляется только по размеру и цвету плода. Причем сортировка по цвету зачастую не используется, так как при уборке в одном контейнере оказываются плоды одного сорта и срока созревания, имеющие характерную окраску для данного сорта.

Сортировка же по наличию повреждений от вредителей, болезней и механического повреждения не осуществляется вовсе, что снижает качество конечного продукта и требует дополнительных затрат труда операторов-сортировщиков, которым необходимо осуществлять повторный контроль качества выходной продукции.

В то же время производительность таких машин составляет 1,0–3,0 т/ч, что делает их применение рентабельным.

Для решения данной проблемы в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» на основе результатов теоретических и экспериментальных исследований, была разработана технологическая линия сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 (в дальнейшем – линия).

### Основная часть

**Устройство и работа технологической линии.** В соответствии с рис. 1 и 2 линия состоит из транспортера приемного 1, модуля разгрузочного 2, ролинга 3, лотка 4, опоры 5, ванны 6, горки 7, сушики 8, водовода 9, опоры 10, линии сортировки 11, конвейеров 12 и 13, каретки 14, стола 15, системы технического зрения (СТЗ) 16.

Рабочим органом, осуществляющим непосредственную сортировку плодов, является СТЗ (рис. 3), расположенная на основном конвейере (см. рис. 2: 11).

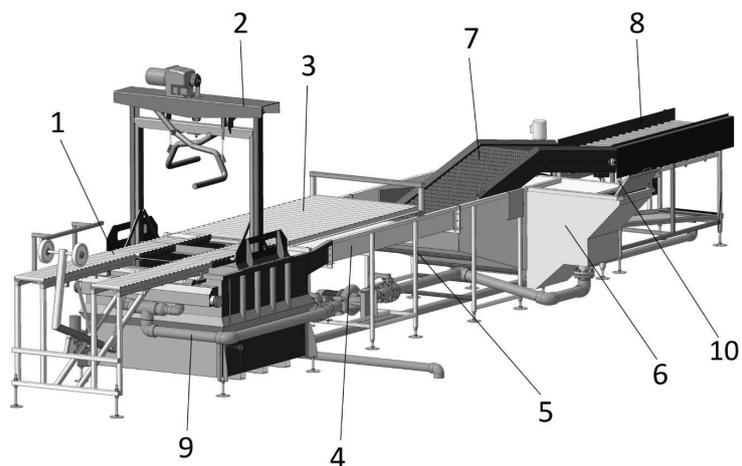


Рис. 1. Линия технологическая сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 (приемная часть): 1 – транспортер приемный; 2 – модуль разгрузочный; 3 – ролинг; 4 – лоток; 5 – опора; 6 – ванна; 7 – горка; 8 – сушка; 9 – водовод; 10 – опора

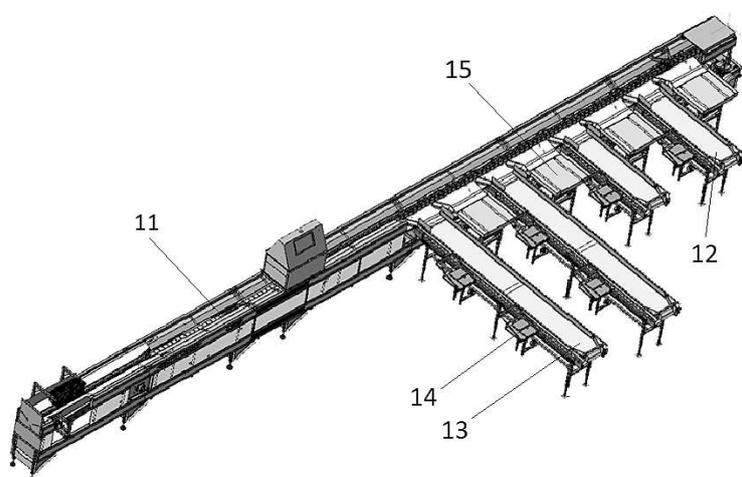


Рис. 2. Линия технологическая сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 (сортирующая часть): 11 – основной конвейер; 12, 13 – конвейеры; 14 – каретка; 15 – стол; 16 – оптический сортировщик

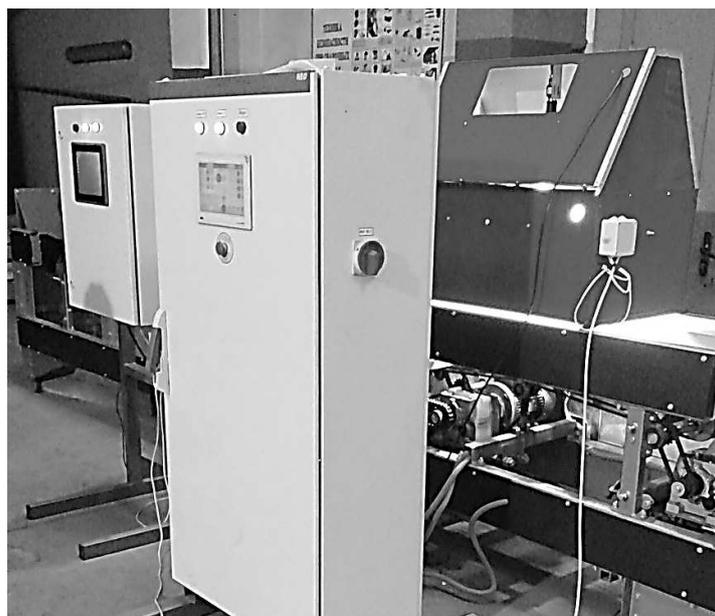


Рис. 3. Система технического зрения СТЗ линии сортировки ЛСП-4

СТЗ представляет собой сложное распределенное техническое устройство, состоящее из двух основных корпусных элементов, задающих внешние габариты всего изделия:

- механического защищенного корпуса с установленными в него видеочкамерой машинного зрения и структурированной подсветкой;

- электрического шкафа управления, в котором устанавливаются вычислительный модуль и сенсорный монитор.

В основу работы системы классификации СТЗ положен принцип визуального анализа данных, согласно которому полученные с видеочкамеры изображения движущихся по конвейеру плодов обрабатываются и формируются в образы с последующей классификацией и выдачей соответствующего управляющего сигнала блоку управления технологической линией сортировки и фасовки яблок. Последний активизирует исполнительное устройство, которым является приводимый в движение электричеством рабочий орган, установленный на транспортере и не включаемый в состав данной СТЗ. Таким образом, исполнительное устройство воздействует на ложемент транспортера, в котором находится соответствующий плод, для подачи его на поперечный (упаковочный) конвейер соответствующего сорта. Алгоритм функционирования СТЗ представлен на рис. 4.

Технологический процесс линии осуществляется следующим образом.

Перед началом сортировки оператор линии включает электропитание линии и через графическую панель управления СТЗ заполняет паспортные данные сортируемых плодов (рис. 5, а), устанавливает параметры сортируемых плодов (рис. 5, б) и задает конвейеры, которые будут принимать отсортированные плоды высшего, первого и второго сорта (рис. 5, в).

Далее оператор линии включает привод толкателя (переключатель «толкатель»), который перемещает контейнер в модуль разгрузочный (рис. 6). Затем оператор включает лифтовое устройство модуля разгрузочного и притапливает контейнер с плодами в ванне с водой (переключатель «лифт»). Когда плоды всплывают на поверхность воды, оператор включает насос водовода (переключатель «насос»), горку (переключатель «горка») и сушку (переключатель «сушка»). Поток воды, поступающий из передней стенки модуля разгрузочного, транспортирует яблоки к горке и сушке, где они высушиваются при контакте с фетровыми барабанами машины.

После завершения подготовительных работ контейнер с плодами подается автопогрузчиком на транспортер приемный (см. рис. 1: 1) и устанавливается на роликовые направляющие.

Далее оператор с графической панели управления (рис. 7) включает привод линии сортировки, плоды поступают на линию сортировки, где попадают в индивидуальные каретки, закрепленные на приводной цепи. Проходя через СТЗ, плоды фотографируются. Затем изображение передается в вычислительный модуль СТЗ, где программное обеспечение классифицирует поступающие плоды согласно заданным параметрам.

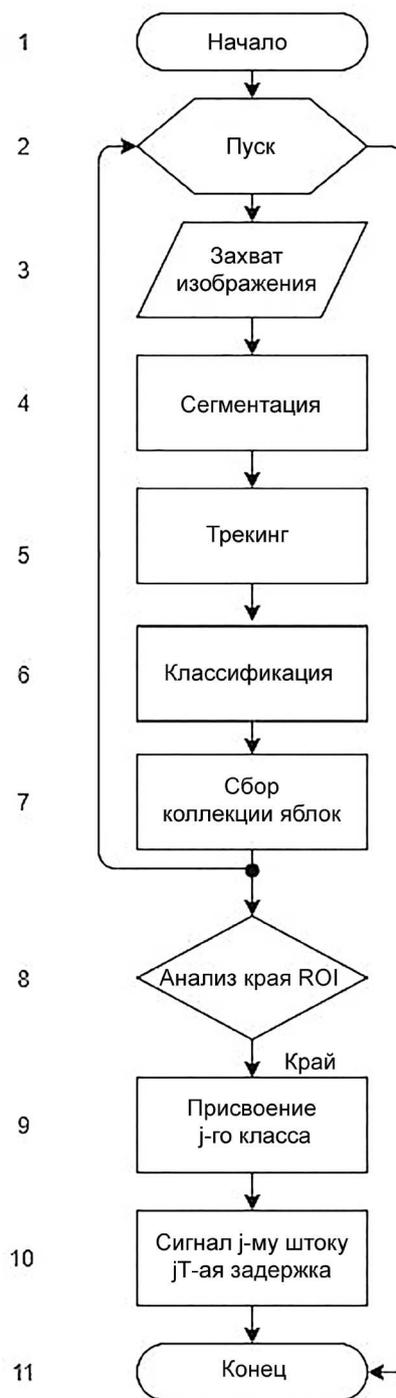
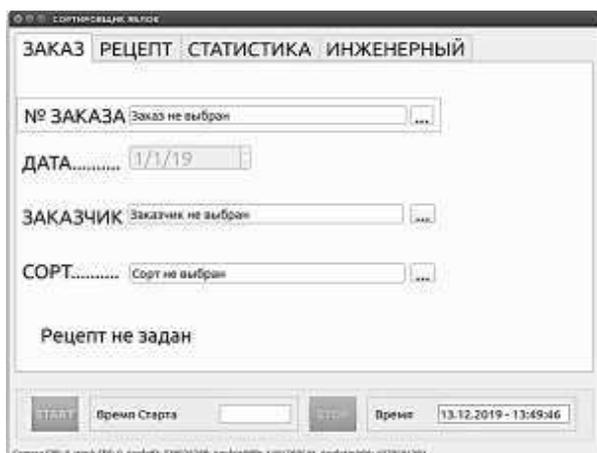
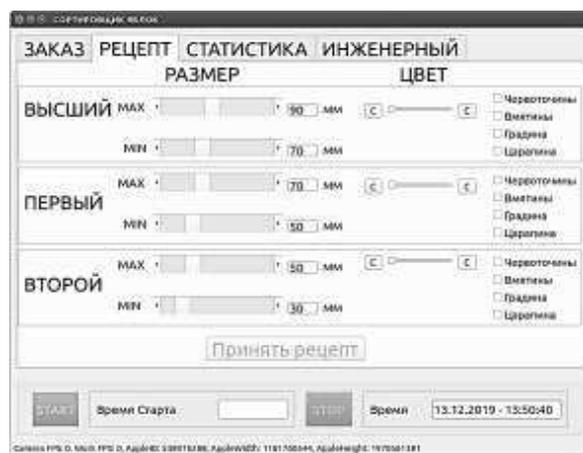


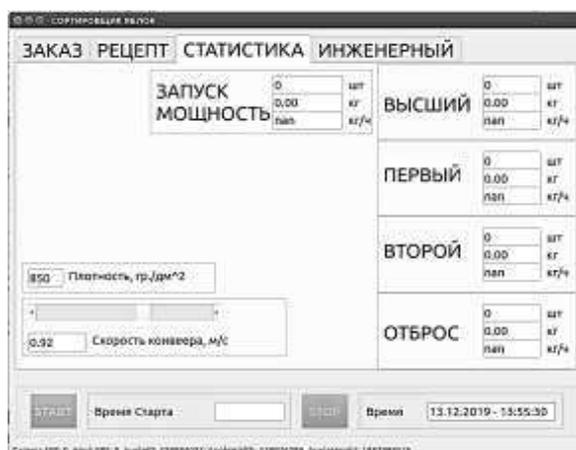
Рис. 4. Алгоритм функционирования программного обеспечения установки автоматической сортировки яблок с помощью СТЗ



*a*



*б*



*в*

Рис. 5. Графическая панель управления оптического сортировщика: *a* – заполнение паспортных данных сортируемых плодов; *б* – установка параметров сортируемых плодов; *в* – программирование конвейеров приема отсортированных плодов высшего, первого и второго сорта

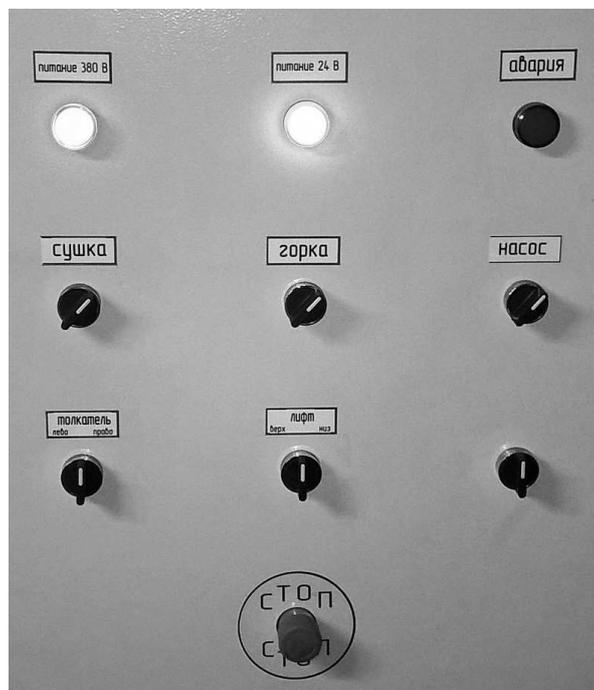


Рис. 6. Шкаф управления приемной частью линии



Рис. 7. Графическая панель управления сортирующей частью линии

СТЗ обеспечивает получение изображений движущихся яблок, распознавание и обработку полученных изображений, формирование изображений в образы с последующей классификацией яблок по сортам, выдачу исполнительному управляющему сигналу сбрасывателям, осуществляющим опорожнение кареток линии напротив конвейеров соответствующих сортов.

По мере сортировки плодов автопогрузчиком на приемный транспортер устанавливается новый контейнер с плодами. После освобождения контейнера от плодов оператор поднимает его лифтовым устройством модуля разгрузочного и перемещая новый контейнер с плодами в модуль разгрузочный сталкивает опорожненный ролинг, где с него стекает вода. Далее пустой контейнер снимается автопогрузчиком с ролинга и транспортируется на место сушки и хранения.

Основные технические характеристики технологической линии на примере ЛСП-4:

Производительность, т, не более. . . . .	2,5
Обслуживающий персонал, человек. . . . .	8
Параметры сортировки . . . . .	Размер, механические повреждения, повреждения от вредителей

Вид сортируемой продукции. . . . . Яблоки

Точность сортирования, %, не менее . . . . . 80

Допустимое отклонение по наибольшему диаметру яблок, находящихся в одной и той же таре, мм, не более . . . . . 10

При этом производительность зависит от физических и структурно-механических свойств подаваемых на линию плодов.

Показатели экономической эффективности линии определяли в соответствии с ТКП 151-2008 и ГОСТ 24055-2016.

Базовый аналог для сравнения – линия сортировки яблок Rollerstar CV-C3 1-7+1 фирмы Aweta (Голландия).

Показатели экономической эффективности линии на примере ЛСП-4:

Годовой приведенный экономический эффект, руб. . . . . 97 175,92

Годовая экономия себестоимости механизированных работ, руб. . . . . 54 475,92

Степень снижения себестоимости механизированных работ, % . . . . . 45,40

Срок окупаемости абсолютных капитальных вложений, лет . . . . . 4,59

Предварительные испытания линии технологической сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 проводили на испытательном полигоне РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» в аг. Ждановичи Минского района (рис. 8).

В результате проведенных испытаний установлено, что линия обеспечивает распознавание плодов и определение их диаметра с вероятностью не менее 95 %.



Рис. 8. Предварительные испытания опытного образца технологической линии сортировки и фасовки яблок

При этом в процессе испытаний были выявлены следующие недостатки:

- плоды диаметром менее 40 мм не вращаются в каретках, что не позволяет осуществлять их фотосъемку со всех сторон;
- соленоиды сбрасывателей, осуществляющие опорожнение отсортированных плодов не обеспечивают достаточное быстродействие, в результате чего скорость цепи с каретками линии сортировки не может быть увеличена более 0,4 м/с, что снижает общую производительность линии;
- выборки дефектов плодов недостаточно для их гарантированного распознавания оптическим сортировщиком, что потребует дополнительных работ по отработке дефектов плодов в сезон уборки 2021 г.

После доработки приведенных дефектов линия сортировки яблок была установлена в ОАО «Остромечеве» Брестского района, для прохождения приемочных испытаний (рис. 9) в агротехнические сроки 2021 г.

Испытания, проведенные в сентябре – ноябре 2021 г., показали, что технологическая линия ЛСП-4 обеспечивает определение диаметра плода и распознавание дефектов с вероятностью не менее 95 %. При этом производительность труда за 1 ч основного времени составляет 2,5 т/ч.



Рис. 9. Приемочные испытания опытного образца технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 в ОАО «Остромечеве» Брестского района

## Выводы

1. В настоящее время известно, что контроль качества – мало механизированный процесс, на выполнение которого приходится до 70 % всех трудозатрат товарной обработки плодов в садоводстве.

2. Решение задачи механизации процесса сортировки плодов семечковых культур возможно только посредством применения систем технического зрения.

3. Применяемые в настоящее время технологические линии сортировки и фасовки яблок в Беларуси осуществляют сортировку плодов только по размеру и цвету, что не дает полного эффекта от применения механизированных линий и требует дополнительных затрат ручного труда для отделения плодов с дефектами, полученными от болезней и вредителей.

4. Технологическая линия ЛСП-4 обеспечивает определение диаметра плода и распознавание дефектов с вероятностью не менее 95 %. При этом производительность труда за 1 ч основного времени составляет 2,5 т/ч.

### Список использованных источников

1. Гурьянов, Д. В. Повышение эффективности сортирования яблок на основе цветных телевизионных датчиков : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Д. В. Гурьянов. – Мичуринск, 2004. – 37 с.
2. Приоритетные технические средства для закладки и возделывания многолетних насаждений в садоводстве и питомниководстве России и Беларуси / Я. П. Лобачевский [и др.] / Техника и оборудование для села. – 2016. – № 10 (232). – С. 16–20.
3. Сельское хозяйство Республики Беларусь : стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2019. – 235 с.
4. Валовый сбор и урожайность фруктов и ягод в Республике Беларусь за 2019 год / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2019. – 14 с.
5. Юрин, А. Н. Основные тенденции развития садоводства в Беларуси / А. Н. Юрин / Наука и инновации. – 2016. – № 2. – С. 62–64.
6. Новые технологии и технические средства для механизации работы в садоводстве / В. Ф. Воробьев [и др.] ; М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Федерал. гос. бюджет. науч. учреждение «Рос. науч.-исслед. ин-т информ. и техн.-эконом. исслед. по инж.-техн. обеспечению агропром. комплекса» ; [подгот. под рук. М. И. Куликова и др.]. – М. : Росинформагротех, 2012. – 164 с.
7. Будаговская, О. Н. Универсальная полуавтоматическая установка для сортирования фруктов и овощей по качеству / О. Н. Будаговская // Перспективы отечественного садоводства. – Киев, 1991. – С. 138.
8. Будаговская, О. Н. Оптикоэлектронный контроль качества яблок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / О. Н. Будаговская. – М., 1993. – 16 с.
9. Гордеев, А. С. Автоматизация товарной обработки плодов / А. С. Гордеев, В. И. Горшенин // Плодоовощное хозяйство. – 1985. – № 2. – С. 48–51.
10. Гордеев, А. С. Автоматизированная обработка яблок : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.02 / А. С. Гордеев. – М., 1996. – 42 с.
11. Silwal, Abhisesh. Machine vision system for robotic apple harvesting in fruiting wall orchards : dis. of the Doctor of Sciences / Abhisesh Silwal ; Washington state University department of biological systems engineering. – Washington, 2016. – 317 с.
12. Bouget, J. Y. Camera calibration toolbox for MATLAB [Electronic resource] / J. Y. Bouget. – 2020. – Mode of access: [http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib\\_doc](http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc). – Date of access: 14.06.2021.
13. Бобров, В. П. Применение систем технического зрения / В. П. Бобров // Механизация и автоматизация производства. – 1989. – № 9. – С. 23.
14. Бусаров, Н. А. Сбор и товарная обработка плодов и ягод / Н. А. Бусаров. – М. : Колос, 1970. – 247 с.
15. Цифровая обработка сигналов : справочник / Л. М. Гольденберг [и др.]. – М. : Радио и связь, 1985. – 312 с.
16. GREEFA – Vissers – CombiSort 6 lane for grading pears and apples in the Netherlands [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access: <https://www.greefa.com/project/vissers-netherlands/>. – Date of access: 14.06.2021.
17. Equipment, plants and machines for Apples processing, sorting, grading and packing [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access: <https://en.unitec-group.com/fruit-vegetables-technology/apple-processing-sorting-grading-machines/>. – Date of access: 14.06.2021.
18. Turnkey Sorting & Packing solutions [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access: <https://www.aweta.com/en/>. – Date of access: 14.06.2021.

**А. Н. Юрин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab\_plodoyagoda@mail.ru*

## **ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АКТИВАТОРА УНИВЕРСАЛЬНОГО ЯГОДОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА**

*Аннотация.* В данной статье приведен анализ теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию параметров и режимов активаторов ягодоуборочных комбайнов, обеспечивающих наибольшую полноту уборки ягод при минимальных повреждениях насаждений.

*Ключевые слова:* активатор, ягодоуборочный комбайн, пальцы, полнота съема, полнота улавливания, частота колебаний, амплитуда колебаний, скорость движения, поломки ветвей.

**A. N. Yurin**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab\_plodoyagoda@mail.ru*

## **JUSTIFICATION OF THE ACTIVATOR PARAMETERS OF THE UNIVERSAL BERRY HARVESTER**

*Abstract.* This article provides an analysis of theoretical and experimental studies to substantiate the parameters and modes of activators of berry harvesters that provide the greatest completeness of harvesting berries with minimal damage to plantings.

*Keywords:* activator, berry harvester, fingers, removal completeness, catching completeness, vibration frequency, vibration amplitude, movement speed, branch breakage.

### **Введение**

Для обеспечения населения и перерабатывающих отраслей пищевой и фармацевтической промышленности в плодах и ягодах, обладающих ценными пищевыми и лечебно-профилактическими свойствами, необходима система промышленного возделывания этих культур. Определяющим звеном в технологическом процессе производства ягод является механизированная уборка урожая, так как при ручной уборке около 80 % общих трудовых затрат по возделыванию плодоносящих ягодников приходится на сбор ягод [1, 2].

На сегодняшнем этапе разработки ягодоуборочной техники на первый план вышла задача уменьшения негативного воздействия рабочих органов машин на растения и снижения потерь и повреждения ягод при уборке. Отдельные элементы уборочных машин, контактирующие с ветвями растения, могут вызывать повреждения ветвей, обдиры коры, смятие отделенных ягод и т. д. В настоящее время производители ягодной продукции несут убытки, связанные в первую очередь с потерями при улавливании и от повреждения ягод. До 20–30 % ягод теряется во время уборки.

В большей степени это связано с несовершенством применяемых ягодоуборочных комбайнов.

### **Основная часть**

Качество выполнения технологической операции уборки ягод всегда оценивалось двумя параметрами: полнотой отряхивания; полнотой улавливания и повреждением ягод.

Однако качество выполнения уборочных процессов определяет состояние не только уже выращенной продукции, но и самих растений после взаимодействия их с рабочими органами.

Главными критериями оценки свойств и состояния растений являются [3–4]:

- поломка однолетних приростов, однолетних и многолетних ветвей;
- кольцевые обдиры слоя коры, нарушение эпидермиса, повреждение плодовых почек, кольчаток;
- поломка верхушек ветвей, отделение листьев, повреждение ягод, наличие ягод с кистями (плодоножками);
- поломка цветоносов, черешков, листьев;
- наличие ягод с цветоносами, посторонних примесей в ворохе (комья почвы, камни, сухие ветки и др.).

Такие повреждения приводят к снижению урожайности растений и срока службы ягодных плантаций.

Поэтому дальнейшее совершенствование уборочных машин с целью повышения качества их работы всегда будет актуальным в соответствии с принципами адаптивного ягодоводства – минимально необходимое и достаточно допустимое воздействие рабочих органов на растения, позволяющее увеличить полноту улавливания, снизить повреждение ягод в соответствии с нормами агротребований и сохранить продуктивность насаждений в последующий период.

В большей степени выполнение агротехнических показателей при механизированной уборке ягод определяется конструкцией и режимами работы активатора ягодоуборочного комбайна.

#### **Анализ исследований по обоснованию параметров активаторов ягодоуборочного комбайна.**

В результате целенаправленных исследований таких ученых, как Г. П. Варламова, Ю. А. Уткова, В. В. Бычкова, Я. Л. Овчинникова, О. В. Сидорова, Л. М. Махиня, Н. М. Марчуна, П. И. Пилипенко, В. К. Спиридонова, М. В. Цицива и многих других были обоснованы основные параметры рабочих органов плодо- и ягодоуборочных машин и созданы условия для внедрения их в производство [5–12].

В 1970–90-е гг. за рубежом были освоены в производстве образцы комбайнов для уборки ягод [13–18]. Однако специфические условия нашей страны накладывают требования к конструкции данных машин, которым они не способны в полной мере соответствовать. Высокая же их стоимость выдвигает на первое место вопросы создания отечественных универсальных комбайнов, которые по своему техническому уровню должны находиться на уровне лучших зарубежных аналогов. Все это потребовало глубокого и всестороннего изучения технического и технологических процессов машинной уборки ягод и отдельных их элементов на базе комплексного исследования свойств и особенностей ягодных культур.

В работе [5] установлено, что оптимальный режим вибрации активатора характеризуется определенными соотношениями между частотой и амплитудой колебаний, воздействующими на кусты за конкретный промежуток времени.

Ранее [6] было установлено, что для повышения качества съема увеличение частоты колебаний является более предпочтительным, так как амплитуда колебаний определяется длиной плодоножки и имеет конечные значения.

В работе [5] путем теоретических исследований, исходя из закона сохранения энергии, определен диапазон рабочих частот отделения ягод, который должна обеспечивать ягодоуборочная машина при следующих допущениях (рис. 1):

- плодоножка ягоды под воздействием внешней силы работает как жесткая балка;

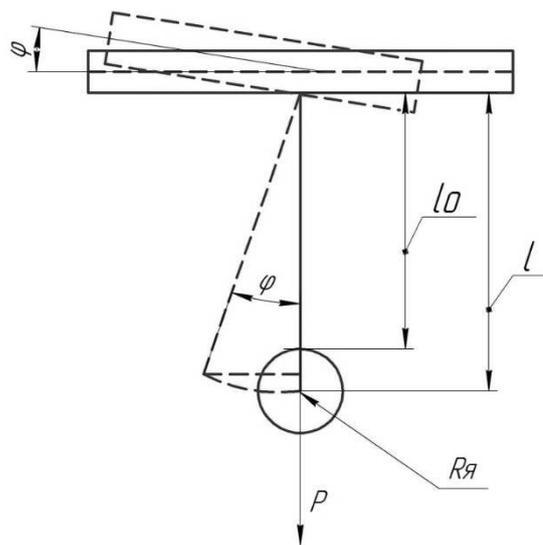


Рис. 1. Схема для определения рабочих частот отделения ягод

- ягода имеет шаровидную форму, масса ее сосредоточена в центре;
- весом плодоножки и сопротивлением воздуха пренебрегаем.

В результате диапазон рабочих частот отделения ягод черной смородины сорта «Лия плодородная» определялся по формуле

$$h = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l} \left( 1 + \frac{l}{\varphi_1} \right)}, \quad (1)$$

где  $\varphi_1$  – угол отклонения плодоножки под весом ягоды, определяемый при помощи оптического угломера, рад;  $l$  – длина плодоножки с учетом радиуса ягоды, м.

Экспериментальные исследования активатора подтверждают правильность теоретических выкладок. В результате экспериментальных исследований установлена зависимость влияния частоты колебаний активатора на полноту съема ягод и поломки однолетних и многолетних ветвей (рис. 2). Наибольшая полнота уборки наблюдается при частоте колебаний 15–17 Гц, причем увеличение амплитуды колебаний почти не влияет на полноту сбора ягод.

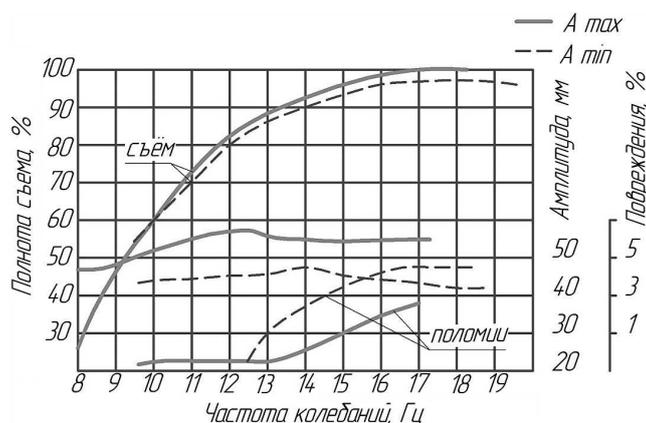


Рис. 2. Зависимость качества работы от частоты колебаний активатора

Кроме того, в работе исследовано влияние скорости движения агрегата на качество работы активатора.

Экспериментально установлено, что чрезмерное увеличение частоты колебаний приводит к снижению полноты съема до 80 %, а увеличение амплитуды колебаний свыше 25 мм во всех случаях сопровождается значительным повреждением элементов растений.

Кроме того, автором определена зависимость качества уборки ягод от скорости движения комбайна. Из графика, представленного на рис. 3, видно, что рост скорости негативно сказывается на полноте отделения ягод и количестве повреждений. Таким образом, установлено, что поступательная скорость уборочного агрегата является важным регулирующим параметром, определяющим качество работы активатора. Рациональное значение ее находится в пределах 0,5–0,7 км/ч.

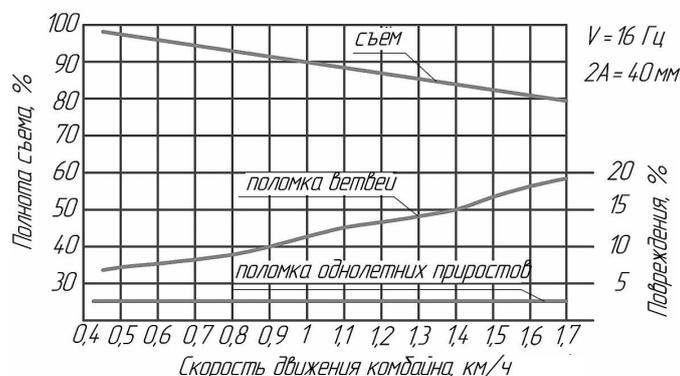


Рис. 3. Зависимость качества работы активатора от скорости движения уборочного агрегата

В работе [7], используя за основу уравнение движения плода  $\frac{P}{g}\varphi = p - (p = kx)$ , полученное при анализе одной из частных расчетных моделей движения физического маятника с горизонтальным перемещением точки подвеса, и применяя для решения закон изменения момента количества движения, была установлена зависимость

$$\varphi = \frac{Aw^2}{l} e^{nt} \cos wt. \quad (2)$$

Для определения величины ускорения, которое ягода получает в процессе колебаний, принимаем во внимание, что для конкретного вида ягод и типа комбайна величина логарифмического декремента  $e^{nt}$  постоянна.

Анализ этого выражения показывает, что вынужденные колебания системы ягода – плодоножка являются гармоническими со сдвигом по фазе на  $\frac{\pi}{2}$  в установившемся режиме, а амплитуда зависит от величины  $\frac{de}{e_{dt}} = -n$  плодоножки, входящей в выражение  $e^{nt}$ . Значение  $n$  определяется длиной плодоножки, причем с увеличением ее величины значение коэффициента  $n$  уменьшается. В последующем установлена степень зависимости коэффициента  $n$  от конкретных параметров как активатора, так и объекта воздействия активатора-куста и его элементов.

В результате теоретических и экспериментальных исследований построена номограмма (рис. 4), которая служит для определения оптимальных режимов активатора ягодоуборочного комбайна для любого вида ягод (плодов). В первом квадрате номограммы динамический коэффициент  $k$  выражается кривыми, а во втором квадрате – прямыми, угол наклона которых  $\alpha$ , причем  $k = \text{tg } \alpha$ . С целью удобства пользования ею введена ось ординат  $\nu$ . Парабола IV квадранта позволяет перейти от квадрата частоты колебаний активатора к ее первой степени.

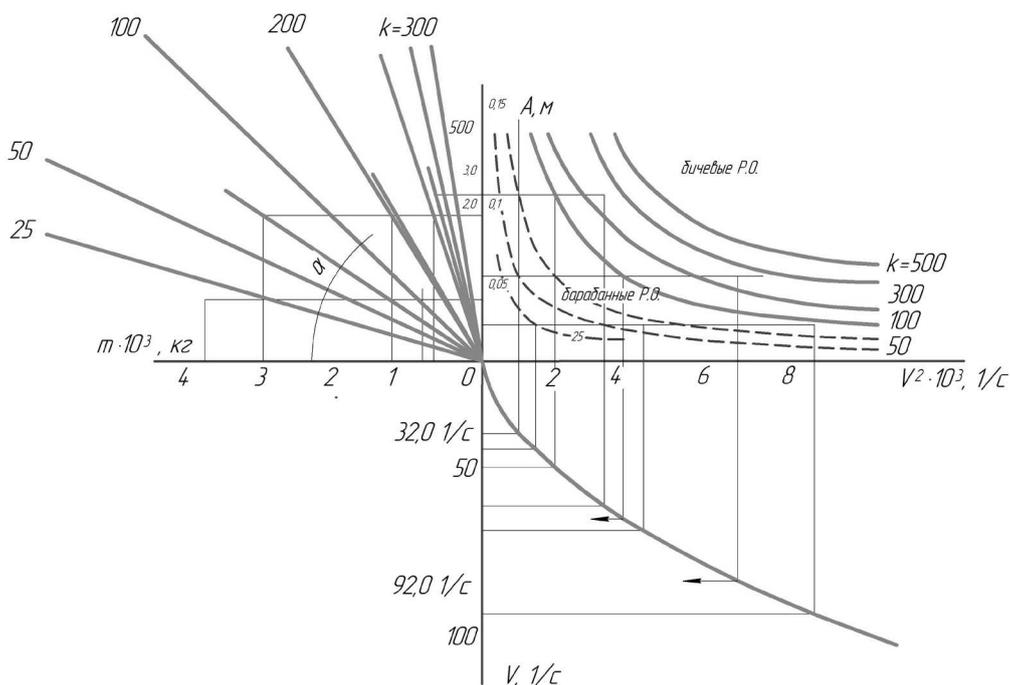


Рис. 4. Номограмма для определения оптимального режима рабочих органов комбайна в зависимости от свойств ягод (плодов):  $k$  – динамический коэффициент;  $V$  – частота колебаний активатора, 1/с (Гц);  $m$  – масса ягоды,  $\cdot 10^3$  кг;  $F$  – усилие отрыва ягоды, Н;  $A$  – амплитуда колебаний вала активатора, м

На данной номограмме можно определить режим вибрации комбайна как с барабанными, так и с бичевыми рабочими органами, а также установить достаточны ли те или иные характеристики рабочего органа комбайна для отделения конкретного вида ягод. Сравнение данных теорети-

ческих исследований с материалами экспериментов на серийных образцах отечественных и зарубежных комбайнов показало хорошую сходимость результатов.

Максимальный съем ягод (более 97 %) согласно полученной модели возможен при доминирующем воздействии вибрации, передаваемой кроне одновременно двумя активаторами, когда кусты практически не уплотняются, а рабочая скорость агрегата минимальна.

Анализ влияния принципа действия активатора на съем ягод с использованием полученной математической модели показал, что вибрация гарантирует отделение ягод не ниже 80 % даже одним активатором. Вибросчесыванием и счесыванием можно собирать ягоды на уровне 80 % и более только при работе комбайнов на малых скоростях.

Анализ процесса отделения ягод активатором, проведенный автором, показал, что работа активатора определяет технологическую схему ягодоуборочного комбайна. Так было установлено, что отделение ягод происходит вследствие вибрационного и счесывающих действий активатора.

На работу вибрационного активатора влияет жесткость ветвей, а также масса ягод ( $m$ ) и статическая сила ( $P_0$ ) их отрыва, составляющие комплексный фактор эффекта вибрации:

$$\lambda = \frac{m\omega^2 A}{P_0}, \quad (3)$$

где  $\omega$  – частота колебаний;  $A$  – амплитуда колебаний.

Работа активатора счесывающего типа в большей степени зависит от соотношения размерных параметров ягод и ветвей, представленных в виде комплексного фактора эффекта счесывания

$$x = \frac{d_y}{S - d_b}, \quad (4)$$

где  $d_y$  – диаметр ягоды;  $d_b$  – диаметр ветки;  $S$  – расстояние между пальцами активатора.

Проведенные исследования позволили создать семейство ягодоуборочных комбайнов МПУ-1, МПУ-1А, МПУ-1А-01.

В работе [8] осуществлен комплексный подход к изучению процессов воздействия рабочих органов на ягодные растения для обоснования последовательности элементов технологического процесса машинного сбора ягод на основе сопоставительного анализа свойств черной смородины, малины и земляники.

На основании проведенных исследований автором была разработана математическая модель технологического процесса комбайновой уборки ягод, где в качестве факторов были выбраны: принцип действия активаторов ( $x_1$ ); степень уплотнения кроны машиной ( $x_2$ ); количество активаторов в один ряд ( $x_3$ ); рабочая скорость комбайнов ( $x_4$ ), связанная со временем воздействия активатора на растения. Выходными параметрами были полнота отделения ягод ( $P_1$ ), полнота улавливания ( $P_2$ ) и полнота сбора ягод ( $P_3$ ).

$$x_1 = 1,361 + 0,665x_1 + 0,675x_1^2 + 0,396x_1x_4 - 0,102x_2 + 0,329x_2x_4 + 0,590x_3 - 0,282x_3^2 + 0,335x_3x_4 - 0,662x_4 + 0,110x_1x_2x_4. \quad (5)$$

В результате анализа модели установлено, что практическую ценность представляет характер изолиний полноты съема ягод (рис. 5).

Учитывая оба этих комплексных фактора в работе активаторов виброочесывающего принципа, получено уравнение работы активатора, позволяющее прогнозировать полноту съема ягод с учетом конкретных условий периода уборки,

$$F(\lambda, x, z) = -292x^2 - 1521xz - 298z^2 + 1819\lambda z + 508x + 410z - 130. \quad (6)$$

Анализ данного уравнения показал, что решающее влияние на полноту отделения ягод оказывает взаимное воздействие эффекта вибрации и жесткости ветвей. Таким образом, для гарантированного высокого съема ягод вибрационными активаторами наличие очесывающего эффек-

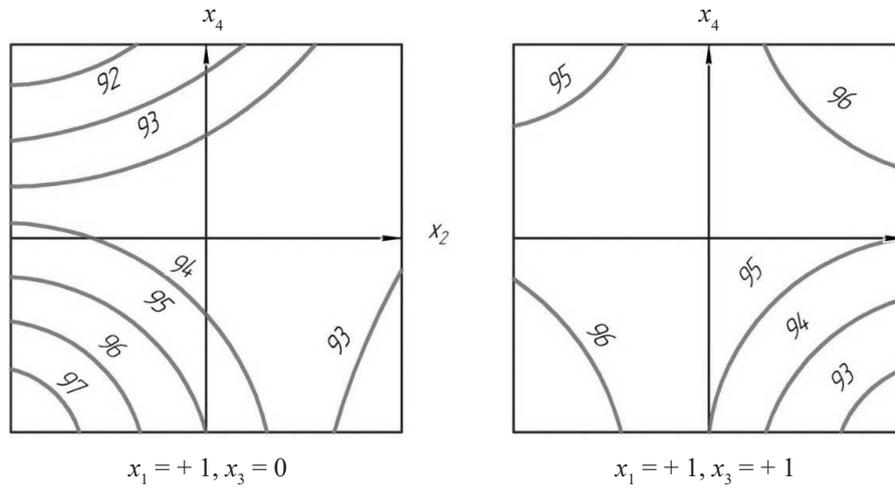


Рис. 5. Изолинии полноты съема ягод

та обязательно. А это значит, что активатор должен воздействовать практически на каждую систему ягода – плодоножка, независимо от их количества на ветви или цветоносе, передавая необходимые режимы колебаний точке подвеса ягоды.

В результате исследования сложного движения ягоды, принятой за материальную точку (рис. 6), автором были получены уравнения движения системы ягода – плодоножка.

$$\begin{aligned}
 \theta + 2n\theta \left[ k^2 - \varphi^2 + \omega h_3 \sqrt{\omega^2 + 4n^2} \sin \left( \omega t - \arctg \frac{2n}{\omega} + \alpha_3 \right) \right] \theta = \\
 = \omega h_1 \cos \varphi \sqrt{\omega^2 + 4n^2} \sin \left( \omega t - \arctg \frac{2n}{\omega} + \alpha_1 \right) + \\
 + \omega h_2 \sin \varphi \sqrt{\omega^2 + 4n^2} \sin \left( \omega t - \arctg \frac{2n}{\omega} + \alpha_2 \right);
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$h_1 \sin \varphi \sin \left( \omega t - \arctg \frac{2n}{\omega} + \alpha_1 \right) = h_2 \cos \varphi \sin \left( \omega t - \arctg \frac{2n}{\omega} + \alpha_2 \right), \tag{8}$$

где  $\theta$  – угол отклонения плодоножки от вертикали;  $n$  – отношение коэффициента пропорциональности сопротивления воздуха к массе ягоды;  $k$  – частота собственных колебаний системы ягода – плодоножка;  $\varphi$  – угол проекции плодоножки на горизонтальную плоскость с осью абсцисс

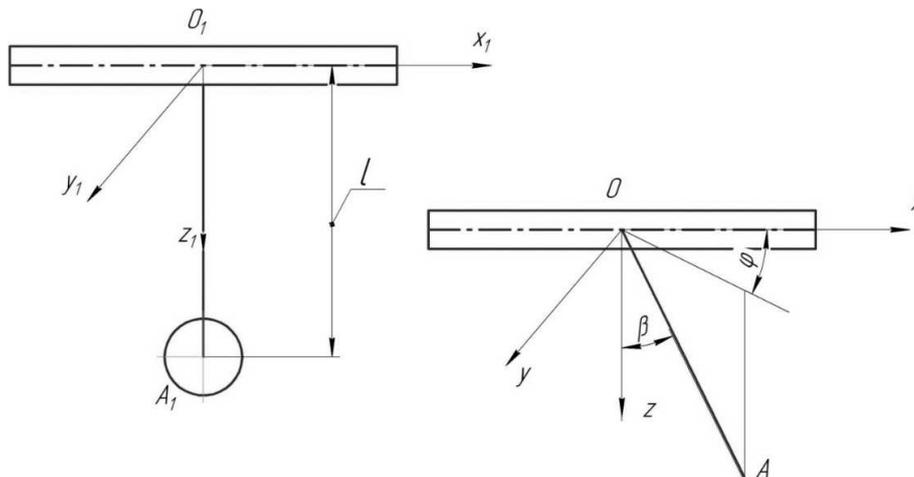


Рис. 6. Схема расположения ягоды и плодоножки для анализа движения ягоды при колебаниях участка ветви

подвижной системы координат;  $t$  – время колебания;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – сдвиг фаз между частотой вынуждающей силы и частотой перемещения по осям неподвижной системы координат;  $h_1, h_2$  – отношение амплитудных значений ( $\alpha_i$ ) перемещений точки прикрепления плодоножки к ветвью по осям неподвижной системы координат к приведенной длине плодоножки ( $l$ ), включающий радиус ягоды.

Исследуя движение системы с помощью уравнений в обобщенных координатах, получены дифференциальные уравнения колебаний плодоножки с ягодой:

$$\begin{aligned}
 & l_1 \left( \frac{m_1}{2} + m_2 \right) \eta_0 \cos \varphi_1 + l_1^2 \varphi_1 \left( \frac{m_1}{3} + m_2 \right) + m_2 l_1 l_2 (\varphi_2 \cos \varphi_2 - \varphi_2^2 \sin \varphi_2) + m_2 l_2 \varphi_2 \eta_0 \sin(\varphi_1 + \varphi_2) = \\
 & = -m_1 g \frac{l_1}{2} \sin \varphi_1 - c_1 \varphi_1 - k_1 \varphi_1 - m_2 g \sin \left( \varphi_1 + \arctg \frac{l_1 \sin \varphi_2}{l_1 + l_2 \cos \varphi_2} \right) \sqrt{l_1^2 + l_2^2 + 2l_1 l_2 \cos \varphi_2} \times \\
 & \times m_2 l_2 \eta_0 \cos(\varphi_1 + \varphi_2) + m_2 l_1 l_2 \varphi_1 \cos \varphi_2 + m_2 l_2^2 \varphi_2 - m_2 l_2 \varphi_1 \eta_0 \sin(\varphi_1 + \varphi_2) + J S_2 \varphi_2 = \\
 & = -m_2 g l_2 \sin(\varphi_1 + \varphi_2) - c_2 \varphi_2 - k_2 \varphi_2,
 \end{aligned} \tag{9}$$

где  $l_1$  и  $l_2$  – длина плодоножки и радиус ягоды соответственно;  $m_1$  и  $m_2$  – массы плодоножки и ягоды соответственно;  $\eta_0$  – координата точки прикрепления плодоножки к ветви по оси координат, параллельной направлению колебаний;  $\varphi_1$  – угол отклонения оси плодоножки от вертикали;  $\varphi_2$  – угол отклонения оси ягоды от оси плодоножки;  $c_1$  и  $c_2$  – коэффициенты, показывающие, какие моменты необходимо приложить соответственно к плодоножке с ягодой и ягоде, чтобы повернуть их на углы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , равные 1 рад;  $k_1$  и  $k_2$  – параметры демпфирования плодоножки и ягоды соответственно;  $J S_2$  – момент инерции ягоды относительно оси, проходящей через центр масс.

Решение этих уравнений с помощью ЭВМ при конкретных параметрах плодоножек и ягод черной смородины, малины и земляники показало, что в момент наступления резонанса системы ягода – плодоножка для принятой схемы частоты колебаний плодоножки с ягодой относительно ветви и ягоды относительно плодоножки существенно различались. Так, для черной смородины первая частота – 15,4 Гц, а вторая в 3,3 раза больше, для малины – 3,3 Гц и в 2,9 раза больше, для земляники – 5,9 Гц и в 2,9 раза больше соответственно. Собственно, первые частоты колебаний являются предпочтительными для работы ягодоуборочных комбайнов при уборке смородины, малины и земляники.

Важным выводом в работе автора является то, что для эффективного сбора ягод (особенно малины) требуется стабильность частоты колебаний активатора, однако в универсальном комбайне она должна регулироваться в широких пределах из-за различия свойств растений.

В работе [9] автором проведено обоснование процесса отделения плодов. Указанный процесс расчленен на две стадии: процесс передачи вибрации от рабочего органа к ветвям и непосредственный отрыв отдельных плодов.

Анализ движения точек ветвей в процессе отделения от них ягод позволил установить (рис. 7, а), что эффективность передачи вибрации от рабочего органа (активатора) очень низкая. Так, в диапазоне частот 10–20 Гц средняя амплитуда колебаний плодоносящего участка ветви, хотя и превышает амплитуду колебаний рабочего органа, но не более чем в 1,47 раза. Причиной этого является сама конструкция активатора, воздействующего одновременно двумя-тремя своими пальцами в одном направлении.

Для повышения эффективности передачи вибраций от рабочего органа к ветвям автором предложено изменить схему воздействия рабочего органа на ветвь, в частности обеспечить противоположно направленными воздействиями на ветвь соседних пальцев активатора (рис. 7, б).

Решение дифференциального уравнения поперечных колебаний ветвей для ее участков, осуществленное автором:

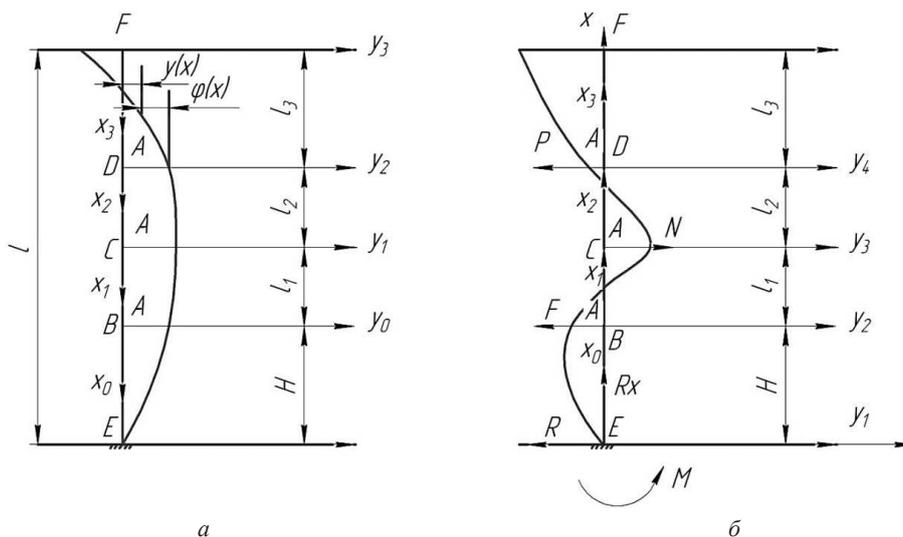


Рис. 7. Расчетные схемы колеблющейся ветви при воздействии на него серийного (а) и опытного (б) рабочих органов

$$Y_{BC \max} = A \left[ \frac{y_{c2}}{A} + \frac{k [a_2 U(\alpha x_2) + b_2 V(\alpha x_2) - \sigma_2 T(\alpha x_2)]}{\alpha \sigma_2} + \frac{hf_2}{\alpha \sigma_2} \right]; \quad (10)$$

$$Y_{CD \max} = A \left[ \frac{y_{c3}}{A} + \frac{z [a_3 U(\alpha x_3) + b_3 V(\alpha x_3) - \sigma_3 T(\alpha x_3)]}{\alpha \sigma_3} + \frac{hf_3}{\alpha \sigma_3} \right]; \quad (11)$$

$$Y_{DF \max} = A \left[ \frac{y_{c4}}{A} + \frac{n [a_4 U(\alpha x_4) + b_4 V(\alpha x_4) - \sigma_4 T(\alpha x_4)]}{\alpha \sigma_4} \right], \quad (12)$$

где  $Y_{BC \max}$ ,  $Y_{CD \max}$ ,  $Y_{DF \max}$  – максимальные амплитуды колебаний участков  $BC$ ,  $CD$ ,  $DF$  соответственно;  $A$  – амплитуда колебаний рабочего органа.

Средняя амплитуда колебаний всего плодоносящего участка ветви определена из выражения

$$A_b = \frac{Y_{BC} + Y_{CD} + Y_{DF}}{3}. \quad (13)$$

Анализ приведенных уравнений показал повышение эффективности работы активатора с разнонаправленно воздействующими пальцами. Его применение позволило в 1,3–2,7 раза повысить амплитуду вибраций ветвей. Экспериментальные исследования работы активатора позволили установить зависимости полноты съема ягод и повреждения ветвей от динамического коэффициента

$$\mu = \frac{A\omega^2}{g}. \quad (14)$$

При скорости движения машины до 0,7 м/с, начиная с  $\mu = 24$  и более, полнота съема плодов черноплодной рябины находится в пределах агротехнических требований (рис. 8, 9).

В соответствии с коэффициентом кинематического режима выбираются требуемая амплитуда и частота колебаний активатора. Так, при  $\mu = 24$  можно рекомендовать следующие параметры активатора:  $A = 0,021–0,023$  м,  $V = 16–17$  Гц.

Повреждение элементов растений (рис. 10), потери ягод и листьев, качество собранных ягод и содержание примесей в них при использовании опытного активатора находятся в допустимых агротехнических пределах при скорости движения машины до 0,7 км/ч.

Таким образом, в результате исследований автором было установлено, что для обеспечения агротехнических требований по полноте съема плодов и допустимым повреждениям ветвей для уборки аронии 5–8-летнего возраста  $A = 0,021–0,023$  м,  $V = 16–17$  Гц, при этом скорость движения комбайна необходимо ограничить значением 0,7 м/с.

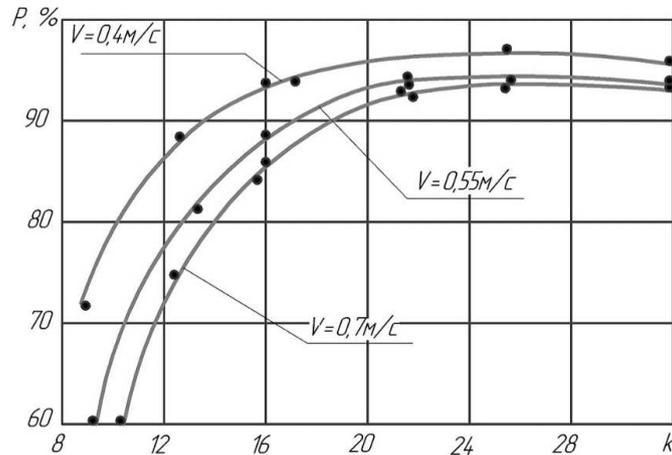


Рис. 8. Зависимость полноты съема ягод от коэффициента кинематического режима

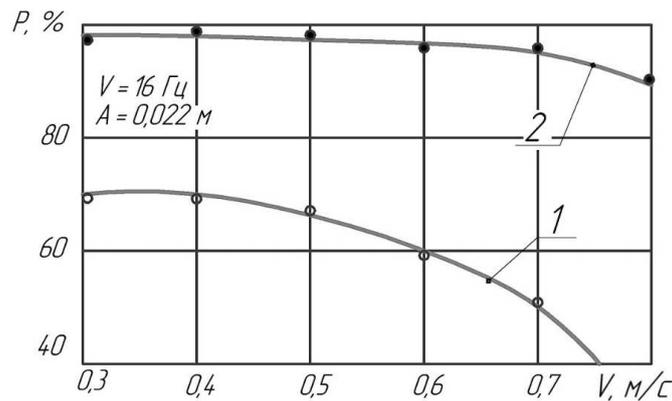


Рис. 9. Зависимость полноты съема плодов черноплодной рябины от скорости движения машины:  
1 – серийный активатор; 2 – опытный активатор

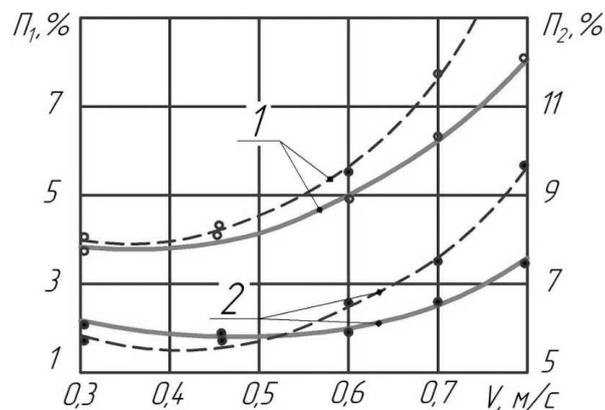


Рис. 10. Зависимость повреждения ветвей черноплодной рябины от скорости движения машины:  
---- машина с серийным активатором; ——— машина с опытным активатором;  
1 – поломка однолетних приростов  $\Pi_1$ ; 2 – обдир коры ветвей  $\Pi_2$

Исследованиями [10] установлено, что потери ягод возникают еще до начала основного процесса уборки – во время подъема ветвей вверх, к рабочему органу комбайна.

Для устранения данного недостатка работы комбайнов автором предложена конструкция формирователя (оборудованного вибрационным механизмом), устанавливаемого в передней части комбайна и осуществляющего подъем ветвей, находящихся вне зоны действия активаторов (рис. 11, 12).

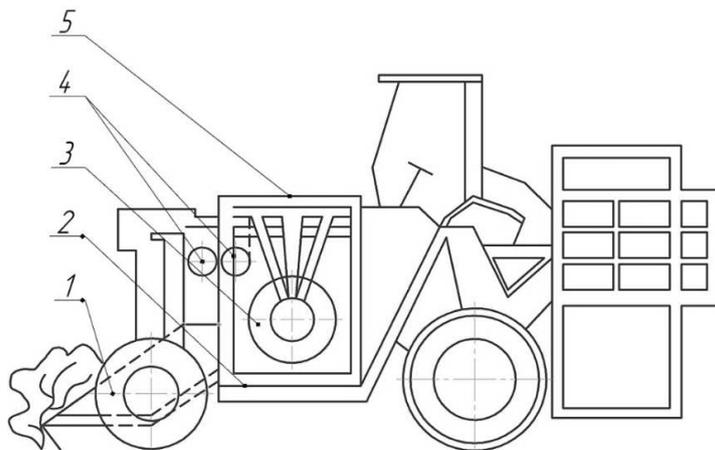


Рис. 11. Установка формирователя на комбайне: 1 – формирователь; 2 – поперечный транспортер; 3 – вибратор; 4 – блоки; 5 – рама улавливателя

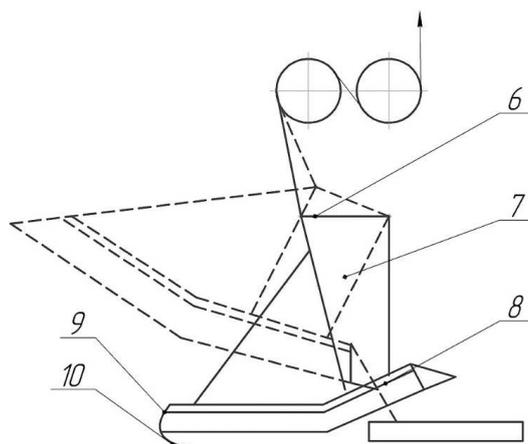


Рис. 12. Элементы конструкции и разгрузка формирователя: 6 – кольцо; 7 – направляющая плоскость; 8 – желоб; 9 – загрузка; 10 – опорная лыжа

Формирователь закрепляется на комбайне шарнирно и соединяется тросом, пропущенным через два блока, с механизмом подъема улавливателя.

При работе комбайн заезжает на ряд насаждений, который остается между передними колесами. Водитель с помощью гидросистемы опускает раму улавливателя и включает вибрационный механизм. Во время движения комбайна формирователи поднимают ветви по обе стороны ряда. Осыпавшиеся при подъеме ягоды скатываются в желоба. Для копирования рельефа поля формирователь имеет одну лыжу.

В конце ряда насаждений водитель включает вибратор и поднимает улавливатель. Одновременно с подъемом улавливателя формирователь совершает поворот вокруг точки крепления к раме комбайна, и ягоды из желоба высыпаются на поперечный транспортер. Перед заездом в следующий ряд водитель включает вибратор и системы комбайна, и ягоды поступают на очистку и затаривание.

В результате теоретических и экспериментальных исследований автором обоснованы параметры формирователя (угол встречи – 10°, угол подъема – 30°, высота носка – 0,12 м), применение которого позволило снизить потери ягод на 4–5 % и в 1,5 раза снизить повреждение кустов. Кроме того, установлено, что рост частоты вибраций активатора с 15 до 16 Гц увеличивает потери на осыпание, а установка виброопор активатора снижает потери при уборке на 2–3 %.

В работе [11] автором предложена технология формирования побегов малины, которая заключается в том, что весной побеги малины подвывают к шпалерной проволоке и переводят в наклонное положение. Это позволяет удалить зону формирования урожая малины в сторону от основания ряда посадок и за счет этого резко уменьшить потери ягод при механизированной уборке урожая. Одновременно уменьшается высота падения ягод, а следовательно, и их повреждение. Молодые побеги малины, на которых будет формироваться урожай в следующем году, растут вертикально вверх, оказываются разделенными в пространстве с плодоносящими побегами и не взаимодействуют с рабочими органами машины, что устраняет отрицательное влияние машиной уборки на урожай следующего года.

Представлены результаты изучения наиболее важных для обоснования параметров рабочих органов физико-механических показателей растений и ягод: усилий отделения спелых ягод от плодоложа и прочность плодоножек незрелых ягод; прочность ягод; изменения по длине побега его диаметра, массы, количества обрастающих веточек и их размера; распределения урожая в кроне наклонных побегов.

Установлено, что усилия отделения зрелых ягод при наклонной формировке меньше, чем при вертикальной на 5–55 %. Наибольшие отличия выявлены у сорта Латам. Прочность плодоножек розовых ягод и завязей при различной формировке побегов практически одинакова.

Средние значения усилий раздавливания ягод различной степени зрелости при вертикальной формировке больше, чем при наклонной в 1,6–1,7 раза.

Весовые и размерные характеристики надземной части растений изменяются в широких пределах. Коэффициент вариаций значений диаметров побегов на различных его участках находится в пределах от 5,5 до 18,7 %. Коэффициент вариаций значений количества обрастающих веточек на участке побега, завязей и массы участков побегов превышает 200 %.

На наклонных побегах в зоне, доступной для прохода улавливателя, находится не менее 96,5 % всех ягод.

Таким образом, по полноте съема и улавливания ягод наклонная формировка более пригодна для машинной формировки, чем вертикальная, а по прочности ягод уступает ей. Обоснованы принципиальная и конструктивная схемы экспериментальной установки и основные рабочие органы: вибратор и улавливатель.

Машина (рис. 13) навешивается на самоходное шасси Т-16ММЧ с увеличенным клиренсом. Вибратор (рис. 14) – пальцевый, свободно обкатываемый по ветвям. Вибропривод пальцев осуществляется от кулачков только в зоне взаимодействия пальцев с побегами. Улавливатель (рис. 15) представляет собой транспортер с рабочей поверхностью из хлопчатобумажного полотна с напусками, которые при подаче воздуха в полости под ними преобразуются в валики.

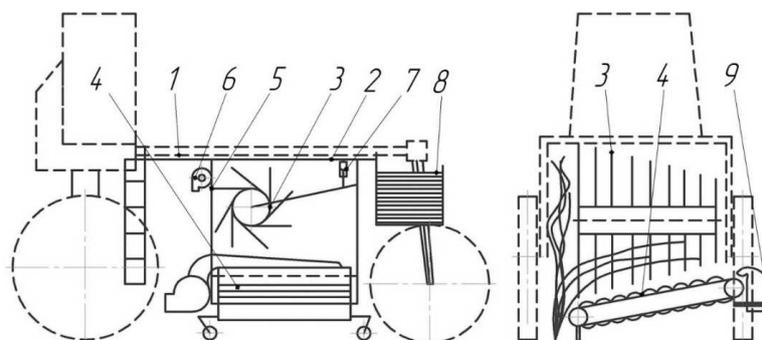


Рис. 13. Схема экспериментальной навесной малиноуборочной машины для сбора урожая с наклонных побегов:

- 1 – трактор; 2 – рама; 3 – вибратор; 4 – улавливатель; 5 – вентилятор отдува примесей;  
6 – вентилятор улавливателя; 7 – гидроцилиндр; 8 – стеллаж; 9 – подножка

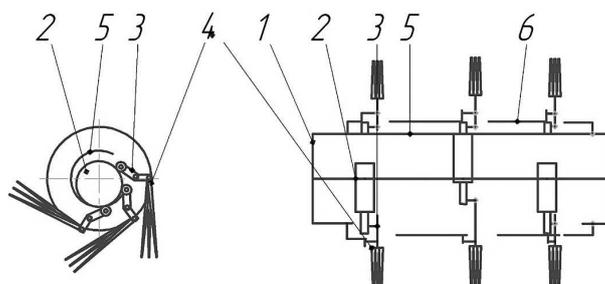


Рис. 14. Схема вибратора: 1 – вал; 2 – кулачок; 3 – рычаг; 4 – палец; 5 – труба защитная; 6 – кожух

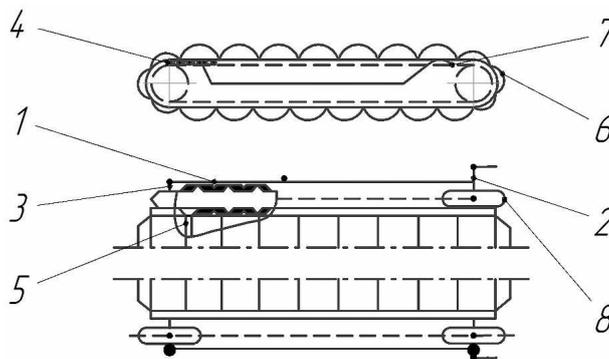


Рис. 15. Схема улавливателя: 1 – рама; 2 – вал ведущий; 3 – вал ведомый; 4 – цепной контур; 5 – планка; 6 – амортизирующее полотно; 7 – короб; 8 – звездочка

На основании результатов исследований автором установлены рациональные режимы работы активатора:  $A = 20\text{--}30$  мм,  $V = 10,0\text{--}12,5$  Гц.

В работе [12] изучение физико-механических свойств растений показало, что побеги малины обладают жесткостью  $6\ 811$  Н/см<sup>2</sup>, что значительно меньше в сравнении с другими ягодными культурами (для черной смородины –  $8\ 664$  Н/см<sup>2</sup>, для крыжовника –  $19\ 927$  Н/см<sup>2</sup>), и поэтому не способны передавать вибрацию, достаточную для отделения зрелых ягод.

При этом усилие отрыва зрелых ягод в 4–9 раз меньше, чем у розовых и зеленых, что подтверждает целесообразность использования эффекта вибрации при уборке урожая малины.

Учитывая, что усилие съема зрелых ягод почти в 3 раза меньше усилия их раздавливания, целесообразным, по мнению автора, является использование для отделения ягод вертикальных колебаний при условии непосредственного контакта пальцев активатора с ягодами.

Теоретическими исследованиями установлено, что отделение ягод малины пальцами активатора возможно при следующих условиях.

1. В результате контакта вибрирующих пальцев активатора непосредственно с ягодами. При этом должно иметь место неравенство

$$P_{\text{п.я}} < P_{\text{повр}}, \quad (15)$$

где  $P_{\text{п.я}}$  – сила, с которой палец воздействует на ягоду;  $P_{\text{повр}}$  – усилие, разрушающее ягоду.

Соотношение между амплитудой колебаний и частотой в данном случае выражается неравенствами

$$A_y \leq \frac{V_{\text{повр}} \cos \alpha}{\omega}; \quad (16)$$

$$\omega_y \leq \frac{V_{\text{повр}}}{R \operatorname{tg} \alpha}, \quad (17)$$

где  $V_{\text{повр}}$  – наименьшая скорость удара, при которой ягода повреждается (значение скорости определяется экспериментально);  $\alpha$  – угол наклона плоскости качающейся шайбы;  $\omega$  – частота колебаний пальцев;  $R$  – радиус качающейся шайбы активатора.

2. За счет колебаний боковых веточек пальцами активатора и сообщения ягодам соответствующих ускорений. При этом отделение ягод будет происходить, если

$$P_{и\max} < P_{о\max}, \quad (18)$$

где  $P_{и\max}$  – сила инерции, сообщаемая ягоде;  $P_{о\max}$  – сила сопротивления отрыву ягоды.

Соотношение между амплитудой колебаний и частотой в данном случае выражается неравенствами

$$A_b \geq \frac{P_{о\max}}{m_y \omega_b^2 \cos^2 \alpha}; \quad (19)$$

$$\omega_b \leq \sqrt{m_y R \cos^2 \alpha}, \quad (20)$$

где  $\omega_b$  – частота колебаний;  $A_b$  – амплитуда колебаний;  $m_y$  – масса ягоды.

На основании анализа представленных зависимостей автором была предложена конструкция активатора ягодоуборочного комбайна с качающимися шайбами.

Качающаяся шайба представляет собой диск, насаженный через подшипник на ступицу, которая наклонена под некоторым углом к поперечному сечению приводного вала (рис. 16). В крышках диска радиально установлены пальцы, перемещающиеся в вертикальном направлении при вращении приводного вала. Кроме того, активатор имеет возможность обкатывать кусты малины за счет шарнирного крепления шайб на валу. Качающаяся шайба, совершая колебательное движение, изменяет в пространстве угол своего наклона и тем самым вызывает возвратно-поступательное перемещение пальцев в вертикальной плоскости.

При проведении экспериментальных исследований автором применены два вида пальцев: жесткие из углеродистой стали и эластичные из полиуретана.

Результаты исследований показали, что жесткость пальцев имеет существенное значение, влияющее на качественные показатели работы активатора (рис. 17). Следует отметить, что жесткие пальцы обеспечивают более высокую полноту съема (до 80 %) по сравнению с гибкими пальцами (58 %). Кроме того, жесткие пальцы уменьшают количество отделенных зеленых ягод почти в 4 раза. Повреждения молодых и плодоносящих побегов также в 1,6 раза меньше в варианте с жесткими пальцами.

В результате проведенных исследований автором сформированы следующие основные требования к параметрам и режимам работы активаторов комбайна для уборки малины.

1. Длина – 1000–1200 мм; расстояние по вертикали между пальцами активатора – 45–50 мм; длина пальцев – не менее 300 мм, амплитуда колебаний – 20–25 мм, частота колебаний – 8–10 Гц.

2. В качестве материала пальцев активатора должен использоваться жесткий материал с коэффициентом трения относительно побегов 0,28–0,37.

**Практические исследования.** На основании полученных результатов исследований в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан прицепной ягодоуборочный комбайн КПЯ, предназначенный для уборки ягод смородины, аронии, шиповника и крыжовника (рис. 18) [18, 19].

Приемочные испытания комбайна КПЯ проходили в РУП «Институт плодоводства» (пос. Самохваловичи Минского района) и КФХ «Зеленая ферма» (Столбцовский район) в 2016–2017 гг.

По результатам приемочных испытаний комбайна полурядного ягодоуборочного КПЯ получен протокол от 28 декабря 2017 г. № 073 Б 1/8-2017ИЦ [2].

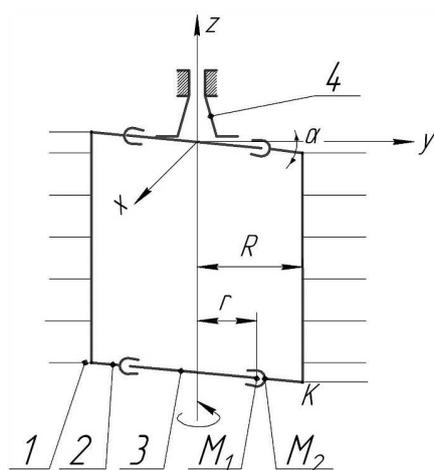


Рис. 16. Схема активатора с качающимися шайбами: 1 – пальцевые гребенки; 2 – диск; 3 – ступица; 4 – тормозное устройство

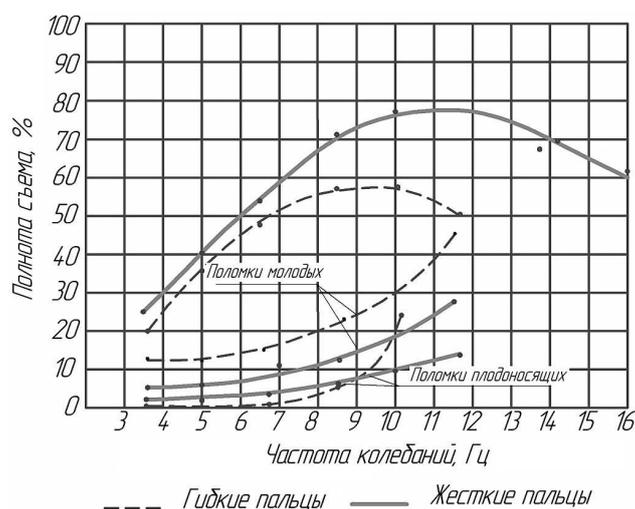


Рис. 17. Влияние жесткости пальцев на качество работы активаторов



Рис. 18. Прицепной ягодоуборочный комбайн КПЯ на уборке смородины. ГП «Восход». Минский район. 2019 г.

Показатели качества выполнения технологического процесса определены при сборе ягод ароники на рабочих скоростях движения 1,17; 1,20; 1,10 км/ч. В результате проведенных испытаний получены следующие показатели:

- полнота съема плодов – 98,1; 94,5; 98,5 % соответственно (по техническому заданию – не менее 85 %);
- полнота улавливания – 89,0; 88,7; 89,5 % соответственно (по техническому заданию – не менее 85,0 %);
- повреждение ягод – 1,6; 1,5; 1,7 % соответственно (по техническому заданию – не более 5,0 %).

Также определены показатели качества выполнения технологического процесса при сборе ягод смородины на рабочей скорости 0,75 км/ч. В результате испытаний получены следующие показатели:

- полнота съема плодов – 94,6 %;
- полнота улавливания – 92,8 %;
- повреждение ягод – 3,7 %.

Очевидно, что снижение рабочей скорости движения комбайна положительным образом сказывается на полноте улавливания ягод. Это происходит вследствие того, что при повышении скорости движения комбайна увеличивается также и частота вибраций отряхивателей, приводимых от единой гидросистемы, в результате чего увеличивается разлет ягод, оторвавшихся от ветвей насаждений, взаимодействующих с отряхивателями.

Анализ проведенных испытаний показывает, что комбайн в общем соответствует требованиям технического задания и обеспечивает качественное выполнение технологического процесса уборки ягод смородины при незначительном повреждении ягод и насаждений.

На основании полученного протокола приемочных испытаний приемочная комиссия актом от 12 ноября 2018 г. № 18-01 установила, что опытный образец комбайна КПЯ соответствует требованиям технического задания, признала образец выдержавшим приемочные испытания и рекомендовала его к постановке на производство.

На основании решения комиссии утверждены технические условия ТУ ВУ 100230575.494-2017 на комплекс и получен сертификат соответствия [3].

В результате расчета сравнительных показателей экономической эффективности при работе комбайна установлено, что годовой приведенный экономический эффект в размере 6 305,85 руб. и годовая экономия себестоимости механизированных работ в размере 3 503,25 руб. делают комплекс окупаемым за 7,1 года.

### Выводы

1. Качественным показателем работы при уборке ягод является не только полнота съема и полнота улавливания ягод, но и степень повреждения насаждений.

2. В большей степени выполнение агротехнических показателей при механизированной уборке ягод определяется конструкцией и режимами работы активаторов.

3. Многочисленными исследованиями установлена рациональная конструкция активатора ягодоуборочного комбайна, представляющая собой вертикальную или наклонную трубу с закрепленными на ней пальцами, совершающими колебательные движения относительно оси симметрии трубы и в вертикальной плоскости.

4. Основными параметрами активатора, определяющими качество выполнения агротехнических показателей, являются амплитуда и частота колебаний. При этом амплитуда колебаний для различных культур примерно одинакова и составляет 20–25 мм. Частота колебаний должна составлять для черноплодной рябины – 16–17 Гц, малины – 8–12, смородины – 15–16, крыжовника (шиповника) – 12–14 Гц.

5. Для эффективной уборки ягод требуется стабильность частоты колебаний активатора, однако в универсальном комбайне, предназначенном для уборки большого количества культур, необходимо изменение частоты в широких пределах.

6. В результате проведения приемочных испытаний установлено, что комбайн КПЯ в полной мере соответствует требованиям технического задания и ТКП.

7. Годовой приведенный экономический эффект от применения комбайна КПЯ составляет 6 305,85 руб., а срок окупаемости – 7,1 года, что позволяет говорить о высокой эффективности разработанного комбайна.

### Список использованных источников

1. Развитие технических средств для возделывания многолетних насаждений в садоводстве России и Беларуси / Ю. П. Лобачевский [и др.] // Механизация сельского хозяйства. – 2016. – № 2. – С. 28–37.
2. Варламов, Г. П. Машины для уборки фруктов / Г. П. Варламов. – М. : Машиностроение, 1978. – 216 с.
3. Юрин, А. Н. Механизация трудоемких процессов в садоводстве / А. Н. Юрин // Наука. – 2016. – № 7 (2578). – 15 февр. – С. 4.
4. Новые технологии и технические средства для механизации работ в садоводстве / В. Ф. Воробьев [и др.] ; под общ. ред. М. И. Куликова ; ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2012. – 164 с.
5. Утков, Ю. А. Разработка и экспериментальное обоснование конструкции рабочих органов машин для поточного съема ягод : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Ю. А. Утков. – М., 1970. – 22 с.

6. Протасов, С. В. Изыскание и исследование способа механизированного сбора ягод черной смородины и крыжовника : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / С. В. Протасов. – М., 1968. – 23 с.
7. Бычков, В. В. Разработка и внедрение машин для механизации трудоемких работ в садоводстве : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / В. В. Бычков. – М., 1992. – 20 с.
8. Утков, Ю. А. Средства механизации и технологические процессы уборки ягод : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Ю. А. Утков. – М., 1988. – 36 с.
9. Овчинников, Я. Л. Параметры рабочего органа для уборки плодов черноплодной рябины и черной смородины : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Я. Л. Овчинников. – М., 1986. – 23 с.
10. Устименко-Бакумовский, А. Г. Обоснование основных параметров формирователя смородиноуборочного комбайна : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / А. Г. Устименко-Бакумовский. – М., 1983. – 20 с.
11. Сидоров, О. В. Технологическое и техническое обоснование рабочих органов малиноуборочной машины для наклонной формовки культуры : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / О. В. Сидоров. – М., 1983. – 17 с.
12. Махиня, Л. М. Исследование рабочего процесса активатора малиноуборочной машины : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Л. М. Махиня. – М., 1981. – 23 с.
13. Half-row currant and berry harvester – JOANNA-4 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://weremczukagro.com/en/products/joanna-4-8/>. – Date of access: 17.06.2021.
14. Raspberry harvester JAREK 5R [Electronic resource]. – Mode of access: <https://jagoda.com.pl/harvesters/autumn-raspberries-harvester-jarek-5/>. – Date of access: 17.06.2021.
15. Raspberry harvester [Electronic resource]. – Mode of access: <https://weremczukagro.com/en/products/natalka-2/?from=1300>. – Date of access: 17.06.2021.
16. Aronia harvester ARONIC [Electronic resource]. – Mode of access: <https://jagoda.com.pl/harvesters/aronia-harvesting-machine/>. – Date of access: 17.06.2021.
17. Oxbo 7440 Multi-Crop Harvester [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.oxbocorp.com/Products/Berries/Raspberry-Harvesters/7440>. – Date of access: 17.06.2021.
18. Сельскохозяйственная техника. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей : ТКП 151-2008.
19. Протокол приемочных испытаний комбайна полурядного ягодоуборочного КПЯ от 28 декабря 2017 г. № 073 Б 1/8-2017ИЦ / ГУ «Белорусская МИС», пос. Привольный. – Минск, 2017. – 81 с.

**А. Н. Юрин, С. П. Кострома**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab\_plodoyagoda@mail.ru*

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПЛОДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ**

*Аннотация.* В данной статье представлена математическая модель аналитического исследования теплообмена в плодовых насаждениях.

*Ключевые слова:* плодое дерево, заморозок, защита, математическая модель.

**A. N. Yurin, S. P. Kostroma**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab\_plodoyagoda@mail.ru*

## **RESEARCH OF THE TEMPERATURE REGIME OF FRUIT PLANTS**

*Abstract.* This article presents a mathematical model for the analytical study of heat transfer in fruit plantations.

*Keywords:* fruit tree, frost, protection, mathematical model.

### **Введение**

Одной из основных причин ежегодного недобора плодово-ягодной продукции в Беларуси является гибель генеративных органов во время весенних заморозков.

В конце зимы и весной у садовых растений заканчивается период покоя, начинают развиваться листья, цветки, образуется завязь плодов. Одновременно повышается чувствительность к низким температурам. Даже морозостойкие сорта, которые выдерживают сорокоградусные морозы, во время цветения чувствительны к легким заморозкам весной.

Весна характеризуется очень изменчивой погодой. Довольно часто случаются заморозки. Цветки и завязи яблони гибнут уже при температуре воздуха около  $-4$  °С. Однако это может случиться и при  $0...-2$  °С. Если после повреждения от заморозков цветы и завязи не осыпались, то в дальнейшем из них образуются деформированные и некачественные плоды, а урожайность будет значительно снижена. Поэтому одними из перспективных направлений повышения продуктивности садовых деревьев являются разработка и реализация технологических процессов и технических средств для защиты плодовых насаждений. Для разработки технических средств для защиты плодовых насаждений следует использовать математическую модель для оценки количества тепловой энергии, необходимой для поддержания заданного температурного режима плодовых насаждений.

### **Основная часть**

Известные математические модели, характеризующие радиационный заморозок, охватывают упрощенные случаи расчета теплового баланса и дают приближенную оценку отдельных составляющих, не учитывая тепловые потоки за счет испарения и конденсации, а также скорость конвективного переноса [1, 2].

Для обоснования равновесной температуры и необходимого теплового потока для поддержания заданного температурного режима необходимо разработать математическую модель.

Уравнение теплового баланса поверхности генеративной почки плодового дерева можно представить в виде

$$\pm Q_{conv} \pm Q_{cond} \pm Q_{r\Sigma} = 0, \quad (1)$$

где  $Q_{conv}$  – конвективный тепловой поток к поверхности генеративной почки, Вт;  $Q_{cond}$  – тепловой поток за счет конденсации водяного пара из окружающего воздуха на генеративные почки, Вт;  $Q_{r\Sigma}$  – суммарный радиационный тепловой поток от грунта, окружающего воздуха и поток, излученный генеративной почкой, Вт.

Конвективный тепловой поток к поверхности генеративных почек определим по уравнению Ньютона – Рихмана [3]

$$Q_{conv} = \alpha F_{п} (T_{в} - T_{п}), \quad (2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $F_{п}$  – площадь поверхности генеративных почек, м<sup>2</sup>;  $T_{в}$  – температура окружающего воздуха, К;  $T_{п}$  – температура генеративных почек, К.

$$\alpha = (4 + 2W_{в}), \quad (3)$$

где  $W_{в}$  – скорость конвективного переноса, м/с.

Определим тепловой поток за счет конденсации водяного пара из окружающего воздуха на генеративных почках

$$Q_{cond} = \beta F_{п} (\rho_{v a} - \rho_{v}) r_{cond}, \quad (4)$$

где  $\beta$  – коэффициент массоотдачи, м/с;  $\rho_{v a}$  – плотность паров воды в окружающем воздухе, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{v}$  – плотность насыщенных паров воды в воздухе при данной температуре, кг/м<sup>3</sup>;  $r_{cond}$  – теплота конденсации (парообразование), Дж/кг.

Плотность паров воды в окружающем воздухе найдем по формуле

$$\rho_{v a} = (\varphi \rho_{v}) / 100, \quad (5)$$

где  $\varphi$  – относительная влажность окружающего воздуха, %.

Суммарный радиационный тепловой поток от грунта, окружающего воздуха и поток, излученный генеративными почками, представим так:

$$Q_{r\Sigma} = Q_{rГ} + Q_{rв} - Q_{rп}, \quad (6)$$

где  $Q_{rГ}$  – радиационный тепловой поток от грунта до генеративных почек, Вт;  $Q_{rв}$  – радиационный тепловой поток от окружающего воздуха до почек, Вт;  $Q_{rп}$  – радиационный тепловой поток от почек в грунт и окружающий воздух, Вт.

Каждый из радиационных тепловых потоков определяется на основе закона Стефана – Больцмана [4]

$$Q_r = \sigma F T^4, \quad (7)$$

где  $\sigma$  – константа излучения серого тела, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  $F$  – площадь излучающей поверхности, м<sup>2</sup>;  $T$  – температура поверхности, К.

Константа излучения серого тела определяется по формуле

$$\sigma = (1 - A) \sigma_0, \quad (8)$$

где  $A$  – альbedo (отражательная способность) поверхности;  $\sigma_0$  – константа излучения Стефана – Больцмана абсолютно черного тела (5,67·10<sup>-8</sup> Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>)) [5].

Тогда радиационный тепловой поток от грунта

$$Q_{rГ} = \sigma F_{пГ} T_{Г}^4, \quad (9)$$

где  $F_{пГ}$  – площадь поверхности генеративных почек, обращенная к почве, м<sup>2</sup>;  $T_{Г}$  – температура грунта, К.

Поскольку воздух поглощает и излучает, но не отражает, то радиационной тепловой поток от окружающего воздуха представим в виде

$$Q_{rв} = \sigma_0 (0,526 + 0,065\sqrt{p_{va}}) F_{пв} T_0^4, \quad (10)$$

где  $p_{va}$  – парциальное давление паров воды в окружающем воздухе на высоте 2 м, Па;  $F_{пв}$  – площадь поверхности почек, обращенная к окружающему воздуху, м<sup>2</sup>;  $T_0$  – температура окружающего воздуха, К.

Парциальное давление паров воды в окружающем воздухе определяем по формуле

$$p_{va} = (\phi p_v) / 100 \%, \quad (11)$$

где  $p_v$  – парциальное давление насыщенных паров воды в воздухе при данной температуре, Па.

Излучение всех генеративных почек можно определить по формуле

$$Q_{rл} = \sigma (F_{пг} + F_{пв}) T_{л}^4. \quad (12)$$

В результате тепловой баланс можно записать следующим образом:

$$Q_{conv}(T_{п}) + Q_{cond}(T_{п}) + Q_{rг} + Q_{rв} - Q_{rп}(T_{п}) = (aF_{п}(T_{в} - T_{п})) + (\beta F_{п}(\rho_{va} - \rho_v)r_{cond}) + \quad (13) \\ + (\sigma F_{пг} T_{г}^4) + (\sigma_0 (0,526 + 0,065\sqrt{p_{va}}) F_{пв} T_0^4) - (\sigma (F_{пг} + F_{пв}) T_{п}^4) = 0.$$

Данная математическая модель теплового баланса позволяет физически обосновать равновесную температуру и необходимый тепловой поток, подвод которого позволит поддержать заданный температурный режим в плодовых насаждениях, что в дальнейшем даст возможность обосновать рациональные параметры технического средства для защиты плодовых деревьев от весенних заморозков.

На рис. 1 представлены результаты расчета равновесной температуры генеративных почек по уравнению (13) при следующих условиях: влажность воздуха – 60 %; скорость конвективного переноса – 0 м/с; площадь всей поверхности почек – 2,0 м<sup>2</sup>; безоблачная погода; альбедо почвы – 0,05; альбедо почек – 0,15. Параметры задавали на высоте 2,0 м. Предельная температура почек достигала 0 °С.

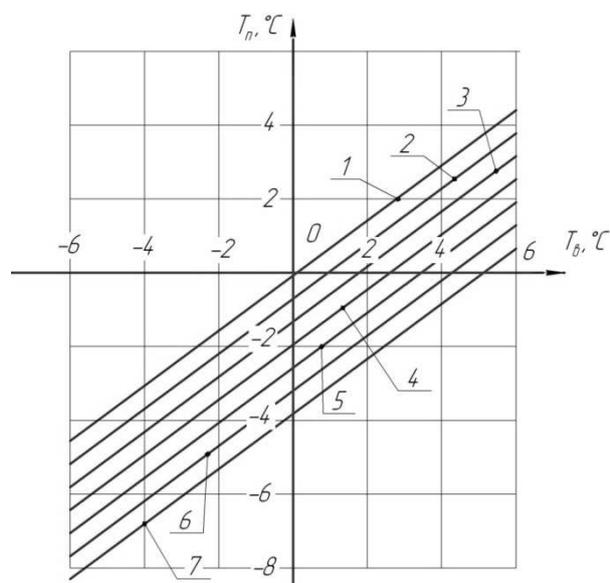


Рис. 1. Зависимость равновесной температуры генеративных почек ( $T_{п}$ ) от температуры окружающего воздуха ( $T_{в}$ ) при температурах почвы 6 °С (1), 4 °С (2), 2 °С (3), 0 °С (4), -2 °С (5), -4 °С (6), -6 °С (7)

Из рис. 1 видно, что равновесные температуры генеративных почек идут практически линейно, поскольку при данных условиях конденсации водяных паров не происходит.

Если задать предельную температуру генеративных органов – минимальную температуру, которую они выдержат без повреждений ( $T_{л\lim}$ ), то это уравнение позволит определить необходимый тепловой поток, подвод которого позволит удержать температуру на требуемом уровне. При этом

$$\Delta Q = Q_{conv}(T_{л\lim}) + Q_{cond}(T_{л\lim}) + \quad (12) \\ + Q_{rг} + Q_{rв} - Q_{rп}(T_{л\lim}).$$

Если разница тепловых потоков отрицательна, то необходимо подвести такое количество теплоты, которое выровняет тепловой баланс.

На рис. 2 представлена зависимость требуемой мощности источника теплоты для поддержания температуры генеративных почек,

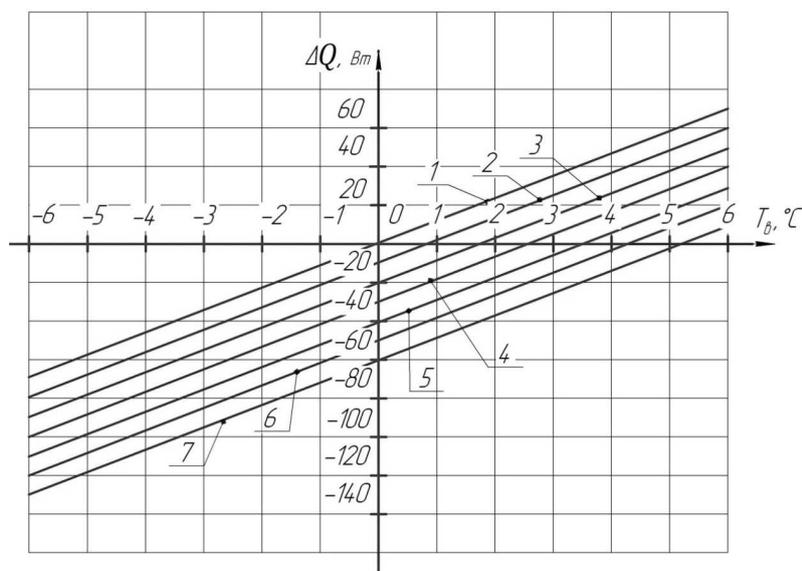


Рис. 2. Зависимость требуемой мощности источника теплоты ( $\Delta Q$ ) для поддержания температуры генеративных почек, равной  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , от температуры окружающего воздуха ( $T_{\text{в}}$ ) при температурах почвы  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$  (1),  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (2),  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (3),  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (4),  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (5),  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (6),  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  (7)

равной  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , от температуры окружающего воздуха при различных температурах почвы и тех же условиях, что на рис. 1.

Суммарная мощность источника теплоты приведена для участка плодовых насаждений площадью 1 га.

Анализ графиков показывает, что более сухой воздух способствует возникновению заморозка, в то время как влажный воздух ему противостоит. Это явление связано с уменьшением парциального давления паров воды в более сухом воздухе и соответствующим снижением теплоты излучения окружающего воздуха, которое подогревает генеративные органы.

В таблице представлены количество теплоты  $\Delta Q$  и потребный расход топлива  $m_f$  для удержания температуры генеративных почек в течение 1 ч на уровне  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$  при температуре почвы  $T_p$  и при низшей теплотворной способности топлива для двух рядов деревьев на одном прогоне участка размерами  $100 \times 100\text{ м}$ .

**Количество теплоты и расход топлива ( $\Delta Q$ ) для поддержания температуры на заданном уровне ( $T_{\text{н}} = +1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) в течение 1 ч при различной относительной влажности**

$T_{\text{в}},\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{р}},\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\varphi = 40\%$		$\varphi = 60\%$	
		$\Delta Q,$ МДж	$m_{\text{р}},$ кг	$\Delta Q,$ МДж	$m_{\text{р}},$ кг
0	-7	164,364	3,913	148,804	3,543
+2	-5	128,693	3,064	111,494	2,654
+4	-3	91,652	2,182	72,648	1,729
0	-7	135,691	3,231	105,332	2,508
+2	-5	96,999	2,309	73,169	1,742
+4	-3	56,700	1,350	Заморозка нет	

Из таблицы видно, что наибольшее потребное количество теплоты необходимо при более сухом воздухе, поэтому дальнейшие результаты приводятся для относительной влажности воздуха  $\varphi = 40\%$ . Увеличение влажности ведет к увеличению температуры генеративных органов, и к этому следует стремиться при проведении защиты плодовых насаждений от заморозка.

Управлять процессом защиты генеративных органов можно путем изменения или влажности, или температуры воздуха, или используя их комбинацию. Рациональным решением является комбинированное изменение температуры и влажности воздуха, которое принимается для кон-

кретных исходных условий. Наиболее опасными условиями являются температура воздуха +4 °С и влажность менее 40 %. При более сухом воздухе необходимо большее количество теплоты для поддержания заданной температуры генеративных органов. Увеличение влажности воздуха приводит к уменьшению необходимого количества теплоты. Так, при температуре воздуха +4 °С, температуре почвы –3 °С и относительной влажности 40 % необходимо 91,65 МДж теплоты для поддержания температуры на уровне +1 °С. При тех же условиях, но относительной влажности 80 %, необходимо уже 56,70 МДж теплоты, а при относительной влажности 100 % заморозок уже не возникает.

### Выводы

1. Наибольшее потребное количество теплоты необходимо при более сухом воздухе. Увеличение влажности ведет к увеличению температуры генеративных органов, и к этому следует стремиться при проведении защиты плодовых насаждений от заморозка.

2. Необходимое количество теплоты для поддержания заданного температурного режима зависит от конкретных исходных условий – значений температуры и влажности. Наиболее опасными исходными условиями являются температура воздуха +4 °С и влажность менее 40 %, поскольку при более сухом воздухе требуется большее количество теплоты для поддержания заданной температуры. Так, при температуре воздуха +4,0 °С и влажности 40 % температура на поверхности почвы будет –3,0 °С, а температура генеративных почек – 0 °С. При тех же условиях воздуха и почвы, но влажности 100 % температура генеративных почек достигнет +2,0 °С. При температуре воздуха +4,0 °С, температуре почвы –3,0 °С и относительной влажности 40 % необходимо 91,65 МДж теплоты для поддержания температуры на уровне +1,0 °С. При тех же условиях, но относительной влажности 80 %, необходимо 56,70 МДж теплоты, а при относительной влажности 100 % заморозок уже не возникает.

### Список использованных источников

1. Брент, Д. Физическая и динамическая метеорология / Д. Брент ; пер. с англ. М. П. Певзнер и М. И. Юдина ; под ред. Б. И. Извекова. – М. : Гидрометеиздат, 1938. – 398 с.
2. Чудновский, А. Ф. Заморозки / А. Ф. Чудновский ; под ред. акад. А. Ф. Иоффе. – М. : Гидрометеиздат, 1949. – 124 с.
3. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1975. – 488 с.
4. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – 2-е изд., стер. – М. : Энергия, 1977. – 344 с.
5. Комплексное исследование и моделирование взаимосвязанных процессов переноса тепла, влаги и водорастворимых соединений в почвогрунтах / Г. П. Бровка [и др.] // Тр. IV Минск. Междунар. форума по тепло- и массообмену. – Минск : АНК ИТМО им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2000. – Т. 8 : Тепломассобмен в капиллярно-пористых телах. – С. 135–144.

**В. К. Клыбик, В. В. Никончук**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: labts@mail.ru, nikonchuk.vitalij@yandex.by*

## **ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА МОЙКИ ЕМКОСТЕЙ МОЛОКООХЛАДИТЕЛЕЙ**

*Аннотация.* Проведен обзор существующей технологии и используемых технических решений для очистки внутренних поверхностей емкости молокоохладителей. Предложено направление совершенствования процесса мойки емкостей молокоохладителей за счет увеличения механического воздействия струи моющего раствора на молочные загрязнения.

*Ключевые слова:* молочное оборудование, молокоохладители, система промывки, молочные загрязнения.

**V. K. Klybik, V. V. Nikonchuk**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: labts@mail.ru, nikonchuk.vitalij@yandex.by*

## **WAYS TO IMPROVE THE CLEANING PROCESS OF MILK COOLERS**

*Abstract.* The review of the existing technology and the used technical solutions for cleaning the inner surfaces of the milk cooler tank is carried out. The direction of improving the process of washing milk cooler containers by increasing the mechanical effect of a jet of washing solution on milk pollution is proposed.

*Keywords:* dairy equipment, milk coolers, rinsing system, milk pollution.

### **Введение**

Выполнение мероприятий Государственной программы развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы в 2020 г. обеспечило прирост производства молока в сельскохозяйственных организациях на 105,6 % в сравнении с 2019 г., при общем объеме производства в сельскохозяйственных организациях 7,503 млн т молока.

Наряду с увеличением объемов получаемого молока необходимо предусматривать повышение его качества. При производстве молока решающим фактором, который влияет на качественные показатели, является санитарное состояние доильного и холодильного оборудования. В процессе эксплуатации холодильных установок на внутренних поверхностях их резервуаров и трубопроводов образуются разнообразные отложения, которые приводят к загрязнению молока, в результате чего происходит снижение его сортности и цены реализации. Исследованиями установлено, что до 90 % первичной микрофлоры молока формируется за счет загрязнений доильно-молочного оборудования [1].

Система промывки является одним из ключевых компонентов системы молокоохладителей, так как только при эффективной очистке внутренних поверхностей резервуаров можно создать условия, тормозящие развитие в молоке микроорганизмов и сохранить нормальные его свойства в течение продолжительного времени.

### **Основная часть**

В процессе охлаждения и временного хранения молока в резервуарах молокоохладителей на внутренних поверхностях оборудования после контакта с молоком остается пленка загрязнений с большим количеством жира (50–75 %), нативного белка (20–40 %) и незначительным количе-

ством минеральных веществ (2–4 %), которую следует очищать после каждого опорожнения емкости для обеспечения получения высокосортного молока.

В зависимости от физико-химических процессов формирования загрязнений и их связей с очищаемой поверхностью принято разделять все загрязнения на молочном оборудовании на три группы:

- адгезионные в виде остатков молока и устойчивых частиц молочного жира;
- поверхностно-адсорбционно связанные в виде макрочастиц, жира и гелеобразных отложений;
- прочно связанные в виде «молочного камня».

Существующие технологии очистки внутренней поверхности молокоохладителей, эксплуатируемых в настоящее время на молочно-товарных фермах, основываются на базовых принципах циркуляционной промывки емкостей моющими растворами.

Основы теории моющего действия и технологии очистки загрязнений разрабатывались П. А. Ребиндером. В области молочной промышленности они получили свое развитие в трудах В. Моора, Р. Г. Алагезяна, Г. П. Дегтерева, Ф. В. Неволлина, В. В. Молочникова, Л. И. Тукана, И. М. Кулешова и др. Исследованием течения жидкостей при промывке занимались О. Г. Ангилеев, И. Н. Краснов, В. Ф. Некрашевич, И. А. Хозяев, Ю. А. Цой, Б. А. Доронин, С. В. Харьков, В. И. Березуцкий и др.

Анализ проведенных работ по очистке молочных загрязнений показал, что в основном все исследования были направлены на очистку внутренней поверхности молокопроводов циркуляционной промывкой моющими растворами. В результате установлено, что от величины адгезии биопленок и силы их связи с очищаемой поверхностью зависят также технологические режимы очистки: вид и концентрация моющего раствора, температура раствора и продолжительность удаления загрязнений. Так, когезионно- и адгезионно-связанные загрязнения частично или полностью удаляются горячей водой и простыми моющими средствами, адсорбционно-связанные загрязнения требуют применения более эффективных специальных щелочных моющих средств, а прочно связанные загрязнения в виде «молочного камня» удаляются только агрессивными кислотами, кислыми моющими средствами или очищаются вручную механическим способом. Рекомендуемая температура раствора, используемого для промывки, составляет от 55 до 65 °С и скорость движения – от 0,4 до 2,5 м/с.

В процессе промывки можно выделить три стадии:

- отделение частиц загрязнений от поверхности молокоохладителей;
- перевод этих частиц в моющий раствор;
- удержание взвешенных частиц в моющем растворе до его слива без повторного осаждения на поверхность.

Обзор и анализ литературных источников показал, что в настоящее время все производители современных танков-молокоохладителей используют технологии санитарной обработки внутренних поверхностей с автоматическим или ручным дозированием моющего раствора. Санитарная обработка танка состоит из 4–5 этапов и включает, как правило, предварительную промывку (I этап) емкости холодной водой, мойку и дезинфекцию (санитация) (II этап) раствором теплой воды с санитарно-моющим средством, первое ополаскивание (III этап) холодной водой и второе ополаскивание (IV этап) холодной водой. Для повышения эффективности мойки II этап разделяют на мойку со щелочным и кислотным моющими средствами.

Технологическая последовательность мойки и дезинфекции танка-охладителя молока заключается в последовательном выполнении элементов многоступенчатого процесса.

Для проведения мойки резервуара в соответствии с технологическими требованиями необходимо обеспечить гидравлическое давление в трубопроводах водоснабжения не менее 3 бар, и для мойки резервуара требуются 80–100 л теплой воды температурой +65 °С.

Схема санитарно-гигиенической обработки с автоматическим дозированием моющего раствора на примере танка-охладителя молока МТКО-DIAN (МК «Промтехника») представлена на рис. 1.

Программа санобработки в автоматическом режиме разделяется на четыре этапа и включает 17 шагов, что отражено в диаграмме процесса санобработки (рис. 2).

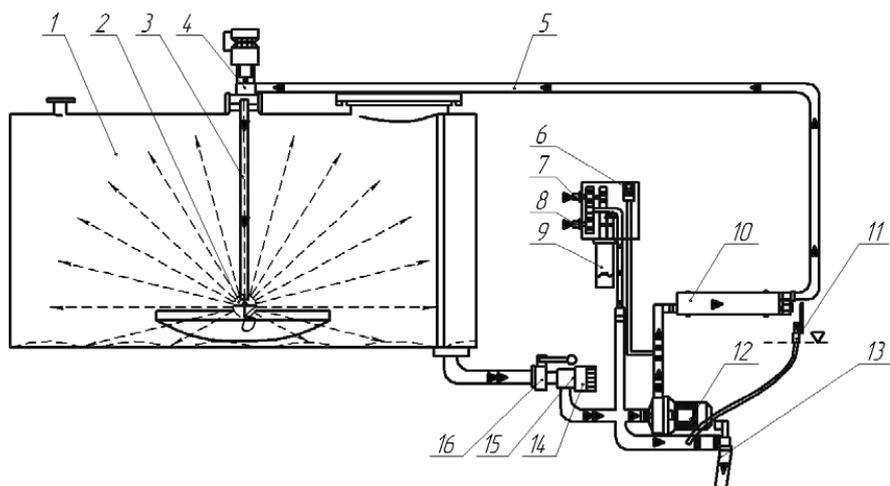


Рис. 1 Схема санитарно-гигиенической обработки танка-охладителя молока:  
 1 – танк для молока; 2 – разбрызгивающая головка; 3 – мешалка; 4 – муфта гидравлическая; 5 – циркуляционный трубопровод; 6 – датчик давления; 7, 8 – дозирующие насосы; 9, 10 – патрубки входа горячей и холодной воды; 11 – подогреватель моющего раствора; 12 – датчик уровня; 13 – выпускной вентиль с электромагнитным клапаном; 14 – насос системы санобработки; 15 – заглушка; 16 – выпускное отверстие

Название исполнительного устройства	Номер шага (информация в верхней строчке дисплея)																							
	Предварительная промывка						Санитация				Ополаскивание						Конец							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17							
Вентиль ХВ		■											■			■								
Вентиль ГВ – прямо					■																			
Вентиль ГВ – через емкость МД средства							■																	
Электронагревательный элемент								■	■															
Насос санитации		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■							
Электродвигатель мешалки		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■							
Клапан слива	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■							
Время выполнения операции, сек	20	ВН	240	Н	60	ВН	240	Н	60	ВН	Д	ВЭ	480	Н	60	ВН	90	Н	60	ВН	90	Н	60	ОС

Рис. 2. Диаграмма процесса санобработки танков-охладителей молока:  
 ХВ – холодная вода; ГВ – горячая вода до 80 °С; ВН – время набора воды до установленного уровня; ВЭ – время, необходимое для нагрева раствора до установленного значения температуры +40...+80 °С; Н – время работы насоса санитации (шаги 4, 7, 10, 13, 16); Д – время с момента включения насоса санитации до момента достижения порога срабатывания реле давления; ОС – время с момента включения 17-го шага до момента нажатия кнопки «Выключить»

Предварительная промывка (I этап) производится холодной водой, наливаемой в охлаждающий танк. Количество воды контролируется датчиком уровня, который не разрешит продолжать программу санобработки до окончания поступления нормированного количества воды (87,5 л). Расчетное давление в водопроводе – 0,15 МПа (максимальное – 0,5 МПа). После набора нормированного количества воды включается насос санобработки, вода начинает циркулировать по соединительному трубопроводу, через нагреватель санитарно-моющего раствора, соединительный трубопровод, гидравлическую муфту и полый вал мешалки к головке разбрызгивателя.

Через 4 мин открывается электромагнитный клапан слива. Вода начинает вытекать из системы санобработки, и снижающееся давление обеспечивает выключение насоса санобработки контактами датчика. После выключения насоса санобработки выпускной клапан остается открытым еще в течение 1 мин. Продолжительность всего этапа (без учета времени набора воды) – около 5 мин. Время набора воды зависит от давления воды в водопроводе и может достигать 8 мин. На 5-м шаге посредством электромагнитного вентиля подачи теплой воды в танк наливается теплая вода и весь процесс повторяется (52,5 л).

Мойка и дезинфекция (санитация) (II этап) производится раствором теплой воды с санитарно-моющим средством. Предварительно в стакан для санитарно-моющего средства наливается определенное его количество. Теплая вода температурой до +80 °С наливается в танк через вентиль для теплой воды и емкость с нормированным количеством жидкого дезинфицирующего средства.

После набора определенного количества санитарно-моющего раствора включаются насос санобработки и мешалка. Включается нагреватель, который на протяжении процесса циркуляции подогревает санитарно-моющий раствор до достижения установленной температуры. В рабочем состоянии находится также мешалка, вращение которой позволяет очищать всю внутреннюю поверхность емкости. На протяжении всего процесса контролируются установленная температура и давление циркулирующего санитарно-моющего раствора. После достижения установленной температуры нагреватель выключается и начинается отсчет восьмиминутного периода. После 8 мин непрерывной циркуляции подогретого санитарно-моющего раствора открывается электромагнитный клапан слива. Санитарно-моющий раствор стекает, снижающееся давление обеспечивает выключение насоса санобработки. Продолжительность всего этапа (без учета времени набора воды и подогрева санитарно-моющего раствора до установленной температуры) – около 9 мин. Период подогрева зависит от температуры поступающей воды и может длиться до 40 мин.

1-е ополаскивание (III этап) и 2-е ополаскивание (IV этап) – холодной водой. Последовательность процесса идентична I этапу. Продолжительность каждого этапа (без учета времени набора воды) – 2,5 мин.

После окончания санобработки осматривают внутреннюю поверхность танка. В случае обнаружения загрязнений на внутренней поверхности, которые могли образоваться при несоблюдении установленного вида и дозы санитарно-моющего средства или при длительной эксплуатации, необходимо очистить внутреннюю поверхность танка вручную.

В результате многочисленных исследований и экспериментов, по мнению большинства ученых, основными факторами, влияющими на результат санитарной очистки молочного оборудования, являются:

- моющее средство (его эффективность и концентрация);
- температура моющего раствора;
- время, необходимое для проведения каждой технологической операции очистки;
- интенсивность механического воздействия на загрязненные поверхности.

Возможно повышение или понижение влияния каждого отдельно взятого фактора, но полное устранение какого-либо из них невозможно. Если величина одного из этих факторов будет снижаться, то необходимо увеличить воздействие какого-то другого фактора для сохранения этой эффективности. Только оптимальное сочетание всех факторов позволит добиться повышения качества очистки и достижения необходимого санитарного состояния молочного оборудования.

## **Выводы**

1. В настоящее время отсутствуют комплексные научные исследования, устанавливающие аналитическую связь между интенсивностью механического воздействия на загрязненные поверхности молокоохладителей и временем, необходимым для проведения технологической операции очистки современных крупногабаритных молокоохладителей объемом более 10 м<sup>3</sup>.

2. Необходимо решение задачи по поиску способа и перспективных технических решений промывки молокоохладителей, обеспечивающих снижение времени и расхода моющих средств за счет увеличения механической составляющей – ударного воздействия на загрязнения и равномерного распределения моющего раствора по внутренним стенкам емкостей.

## **Список использованных источников**

1. Дегтерев, Г. П. Механизм образования и классификация молочных загрязнений / Г. П. Дегтерев // Молочная промышленность. – 1999. – № 6. – С. 30–31.

**Н. Д. Лепешкин, В. К. Клыбик, В. В. Мижурин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: mehposev@mail.ru*

**К ОБОСНОВАНИЮ ТИПА КАТКОВЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ  
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА ДЛЯ ВЛАГОНАКОПЛЕНИЯ  
И ВЛАГОЗАДЕРЖАНИЯ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены различные конструктивные решения и технические возможности известных почвообрабатывающих катков и обоснован тип катков для комплектования им почвообрабатывающего агрегата для влагозадержания и влагонакопления на силовых землях.

*Ключевые слова:* склоновые земли, влагонакопление, влагозадержание, агрегат, каток.

**N. D. Lepeshkin, V. K. Klybik, V. V. Mizhurin**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: mehposev@mail.ru*

**TO JUSTIFICATION OF THE TYPE OF ROLLER WORKING BODIES  
OF THE TILLAGE UNIT FOR MOISTURE RETENTION  
AND WATER ACCUMULATION ON SLOPE LANDS**

*Abstract.* The article discusses various design solutions and technical capabilities of known soil-cultivating rollers and substantiates the type of rollers for equipping them with a soil-cultivating unit for moisture retention and moisture accumulation on power lands.

*Keywords:* slope lands, moisture accumulation, moisture retention, unit, rink.

**Введение**

Причиной недостаточной увлажненности почвы на склоновых землях является не только недостаток осадков, но и их потеря на сток. В результате стока теряется влага и смывается верхний плодородный слой почвы, т. е. развивается эрозия. Предупредить сток воды на пахотных почвах можно только путем проведения комплекса противоэрозионных мероприятий, обеспечивающих ее впитывание почвой.

Одним из таких мероприятий является основная безотвальная обработка почвы, позволяющая путем послонной обработки почвы сформировать влагозадерживающий и влагонакопительный слой почвы, который должен состоять из мульчированного растительными остатками и почвой верхнего слоя, хорошо разрыхленного и подуплотненного среднего и разрыхленного нижнего подпахотного слоя, на дне которого должны присутствовать гребни. С учетом этого, для проведения основной обработки почвы на склонах предложен блочно-модульный почвообрабатывающий агрегат, в котором для формирования влагосберегающего слоя наряду с блоками дисковых и рыхлительных рабочих органов предусмотрен и блок катковых рабочих органов. Данный блок предназначен для восстановления влагообменной функции разрыхленной почвы, т. е. для восстановления разрушенной дисковыми и рыхлительными рабочими органами плотности до оптимальной, для дробления комьев почвы, которые образуются после прохода рыхлительных рабочих органов, выравнивания почвы, а также данный блок должен выполнять роль опоры, относительно которой будет настраиваться и удерживаться заданная глубина обработки. Кроме этого, катки блока должны окончательно сформировать на поверхности мульчирующий слой почвы с растительными остатками.

Если раньше на отечественных почвообрабатывающих агрегатах использовались в основном кольчато-шпоровые (РВК-3,6; РВК-3) и планчатые (АКШ-6; АКШ-7,2) катки, то сегодня разнообразие катков, применяемых в составе почвообрабатывающих агрегатов, в том числе и отечественных, существенно возросла. Поэтому для обоснования типа катковых рабочих органов к новому агрегату необходимо провести оценку их достоинств и недостатков.

Цели работы – оценить конструктивные и технологические возможности известных почвообрабатывающих катков; обосновать тип катков для комплектования им почвообрабатывающего агрегата для влагозадержания и влагонакопления на силовых землях.

### Основная часть

Все известные в настоящее время катки по форме рабочей поверхности можно классифицировать как гладкие, кольчатые, кольчато-зубовые; кольчато-шпоровые, прутковые, пластинчатые (планчатые), трубчатые, спиральные, дисковые и др.

Гладкие катки (рис. 1) в основном изготавливаются в виде пустотелого цилиндра, заполненного водой.



Рис. 1. Гладкий каток

При изменении количества воды в цилиндре меняется удельное давление катка на почву. Недостатком катка является то, что он уплотняет как подповерхностный, так и поверхностный слой почвы, что ускоряет процесс испарения влаги. Кроме того, такие катки не могут производить рыхление почвы, а следовательно, создавать мульчирующий слой.

В составе комбинированных агрегатов такие катки не применяются, а используются, как правило, до и после посевного прикатывания почвы при посеве мелкосемянных культур.

Более широкое распространение в комбинированных агрегатах, в первую очередь в агрегатах для основной безотвальной обработки почвы, получили кольчатые катки, состоящие из вала или цилиндра (барабана) и установленных на них колец. Особенностью таких катков является то, что их кольца позволяют производить не сплошное уплотнение почвы, а бороздковое. Поэтому расположенные между уплотненными бороздками открытые и неприкатанные места могут впитывать влагу выпадающих осадков и пропускать воздух.



Рис. 2. Кольчатый каток с U-образным профилем кольца

Из числа кольчатых катков, кольца которых установлены на валу, интерес представляют катки DSTS фирмы Kokerling (Германия) [1]. Особенностью данных кольчатых катков (рис. 2) является то, что их кольца имеют U-образный профиль, который в процессе работы заполняется почвой, и уплотнение почвы происходит методом «почва по почве».

В результате этого исключается налипание почвы на кольца, обеспечивается хорошее сцепление колец с почвой, а следовательно, исключается и пробуксовка катка. Вместе с тем данный тип катков имеет низкую несущую способность, качество крошения и большую вероятность забивания пространства между кольцами при обработке переувлажненной почвы. Поэтому для улучшения этих показателей кольчатые катки, как правило, устанавливаются в два ряда.



Рис. 3. Кольчатый каток с зубчатой наружной поверхностью колец

Для улучшения качества крошения, наружные кромки кольца могут изготавливаться различной конфигурации (рис. 3) – в виде:

- зубьев;
- звездочек;
- других выступов и вырезов.

Повысить несущую способность и улучшить качество работы кольчатых катков можно путем применения колец с поперечным сечением в виде клина, трапеции, конуса и др. (рис. 4). Такая форма колец позволяет при приложении вертикальной нагрузки уплотнять почву не только в вертикальном, но и боковом направлении.

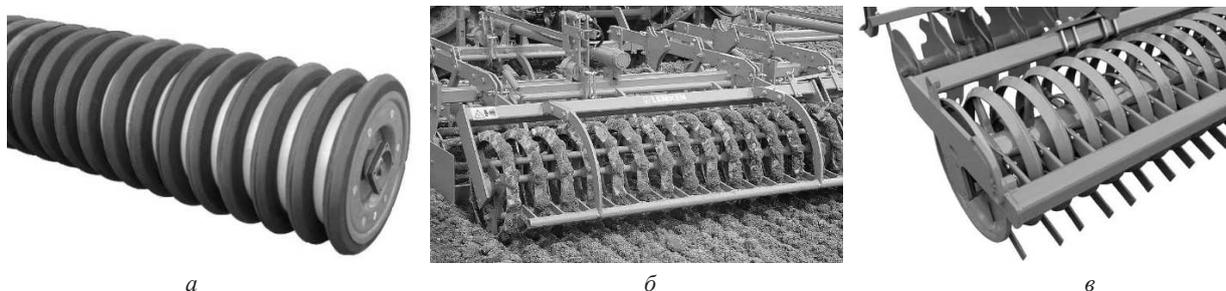


Рис. 4. Кольчатый каток с различной формой профиля колец: в виде клина (а), трапеции (б), конуса (в)

Еще больше повысить несущую способность позволяют кольчатые катки, кольца которых установлены на барабане. При этом могут изготавливаться как металлические (рис. 5, а), так и резиновые (рис. 5, б) кольца.

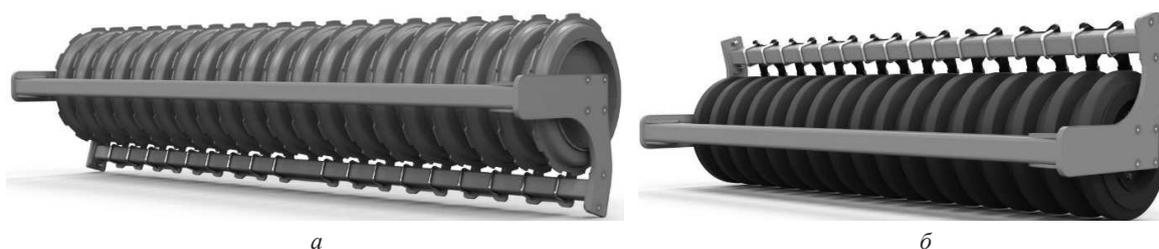


Рис. 5. Кольчатые катки с установленными на барабане металлическими (а) и резиновыми (б) кольцами

Повысить качество крошения и уменьшить налипание влажной почвы позволяют кольчато-зубчатые катки (рис. 6) [2].

Такие катки состоят из двух типов колец: гладкого плоского кольца с наружной режущей кромкой и свободно посаженного на его ступицу зубчатого кольца, диаметр которого несколько превышает диаметр плоского кольца. При работе катка зубчатое кольцо, диаметр которого несколько больше, чем диаметр наружной кромки плоского кольца, предохраняет каток от залипания на влажной почве. Важным свойством такого катка является то, что он оставляет на поверхности тонкий слой измельченной почвы, который предохраняет от быстрого испарения влаги из

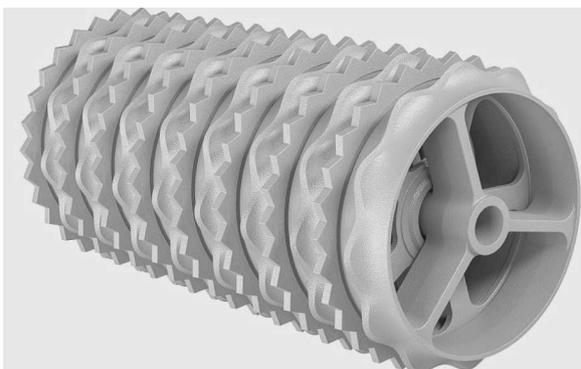


Рис. 6. Кольчато-зубчатый каток фирмы Vaderstad (Швеция)



Рис. 7. Кольчато-шпоровый каток

глубжележащих слоев. Вместе с тем данный тип катка из-за большой удельной массы в составе комбинированных агрегатов практически не используется.

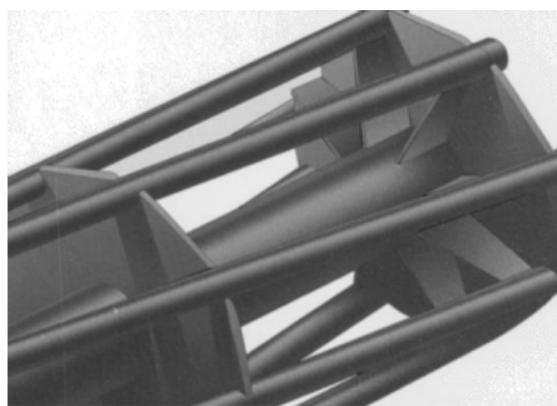
Следующим типом катков являются кольчато-шпоровые катки, которые отличаются от кольчатых катков, кольца которых установлены на валу, тем, что для повышения крошащей способности их кольца имеют на боковой поверхности выступы в виде шпор (рис. 7).

Недостатками кольчато-шпоровых и кольчатых катков, кольца которых установлены на валу, является то, что для увеличения опорной поверхности и обеспечения самоочистки в условиях повышенной влажности они должны располагаться в два ряда.

Прутковые, планчатые и трубчатые катки состоят из дисков и приваренных к ним прутков круглого сечения (прутковые катки), труб (трубчатые катки) или планок (планчатые катки). Поскольку в настоящее время в комбинированных агрегатах прутковые катки практически не применяются, то рассмотрим только планчатые и трубчатые катки (рис. 8).



*а*



*б*

Рис. 8. Планчатый (*а*) и трубчатый (*б*) катки

Планки и трубы, образующие поверхность катка, могут быть установлены параллельно оси катка или, с целью улучшения крошения почвы, наклонно либо по криволинейной образующей, представляющей собой многозаходную спираль.

Кроме этого, для улучшения качества крошения катки устанавливаются в два ряда. Причем первый каток имеет больший диаметр, а второй, идущий вслед за ним, – меньший диаметр. Поскольку рассматриваемые катки обеспечивают крошение комков почвы, находящихся только на поверхности почвы и на глубине 4–5 см, с одновременным сплошным уплотнением почвы на этой же глубине, а также обладают хорошим выравнивающим эффектом, то их в основном применяют в составе почвообрабатывающих агрегатов для предпосевной подготовки почвы или в составе почвообрабатывающе-посевных агрегатов. Еще одним достоинством планчатых и труб-

чатых катков, объясняющим их использование при подготовке посевного слоя, является то, что, помимо крошения, выравнивания и уплотнения почвы, они обладают также еще одним чрезвычайно важным свойством: извлекают на поверхность поля и оставляют на ней сравнительно крупные комья земли, в то время как подвергшиеся более сильному крошению комки почвы скапливаются в нижней части обрабатываемого слоя почвы, т. е. в слое, где высеваются семена. Это оказывает благоприятное влияние на всходы растений, так как комки, лежащие на поверхности поля, при выпадении осадков защищают от размывания подвергшиеся более интенсивному крошению комки почвы, находящиеся под ним.

Несмотря на ряд достоинств, планчатые и трубчатые катки имеют и недостатки, ограничивающие возможность их применения. Так, на глинистых и суглинистых почвах повышенной влажности они забиваются почвой и растительными остатками, обладают недостаточной надежностью на почвах, засоренных камнями, заглубляются на большую глубину при работе на легких почвах, что приводит к сгуживанию почвы перед катками.

Спиральные катки (рис. 9), по сравнению со всеми известными типами катков, обладают лучшими характеристиками по выравниванию поверхности почвы, но низкой технологичной надежностью при повышенной влажности и недостаточным уплотнением и крошением почвы.

Звездчатые катки (рис. 10) представляют собой насаженные на вал звездообразные рабочие элементы. Отличительной особенностью данных катков является то, что они могут уплотнять весь пахотный слой, а не только его верхнюю часть.

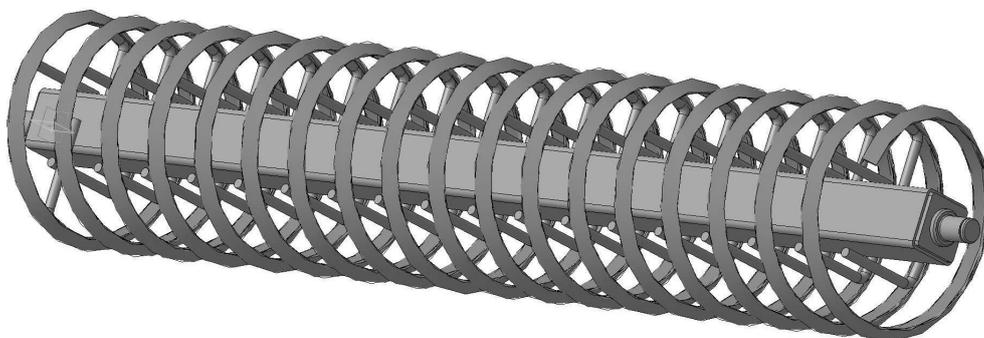


Рис. 9. Спиральный каток

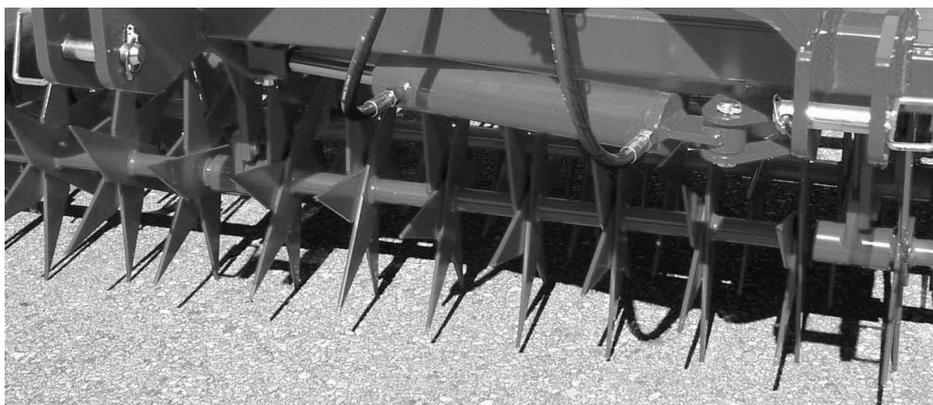


Рис. 10. Звездчатый каток

В последние годы на некоторых агрегатах для предпосевной подготовки почвы и почвообрабатывающе-посевных агрегатах начали применять катки в виде полых резиновых шин (рис. 11) [3].

Такие катки обеспечивают почти идеально выровненный и подуплотненный посевной слой, что позволяет производить более равномерную по глубине заделку семян, и рекомендуются для подготовки почвы под посев овощей, льна, свеклы, в особенности на легких почвах. Кроме пустотелых шин, для подготовки средних и тяжелых почв применяют шины, заполненные каучуком.



Рис. 11. Шинный каток

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что ни один из рассмотренных типов катков не обеспечивает полное выполнение требований, предъявляемых к блоку прикатывающих катков. В связи с этим нами предложен блок катков, включающих два катка:

- опорно-прикатывающий;
- мульчирующий.

Опорно-прикатывающий каток должен быть кольчатого типа и состоять из пустотелого цилиндра с вертикальными дисками, на оси которых установлены подшипниковые узлы. На наружной поверхности пустотелого цилиндра должен быть предусмотрен ряд зубчатых дисков с установленными между ними пластинчатыми чистиками. При этом зубчатые диски на поверхности пустотелого цилиндра должны быть установлены на одинаковом расстоянии друг от друга. Мульчирующий каток должен быть планчатого типа и состоять из двух дисков с подшипниковыми узлами. К наружной поверхности дисков должны быть приварены планки. При этом планки должны быть наклонены к горизонту в продольном и поперечном направлениях.

Такое техническое решение позволит восстановить взрыхленную рыхлительными рабочими органами почву до оптимальной плотности, разработать комья, выровнять поверхность поля, а также создать на поверхности мульчирующий слой почвы и растительных остатков. Кроме этого, будет обеспечена опора для удержания заданной глубины рыхления (рис. 12).

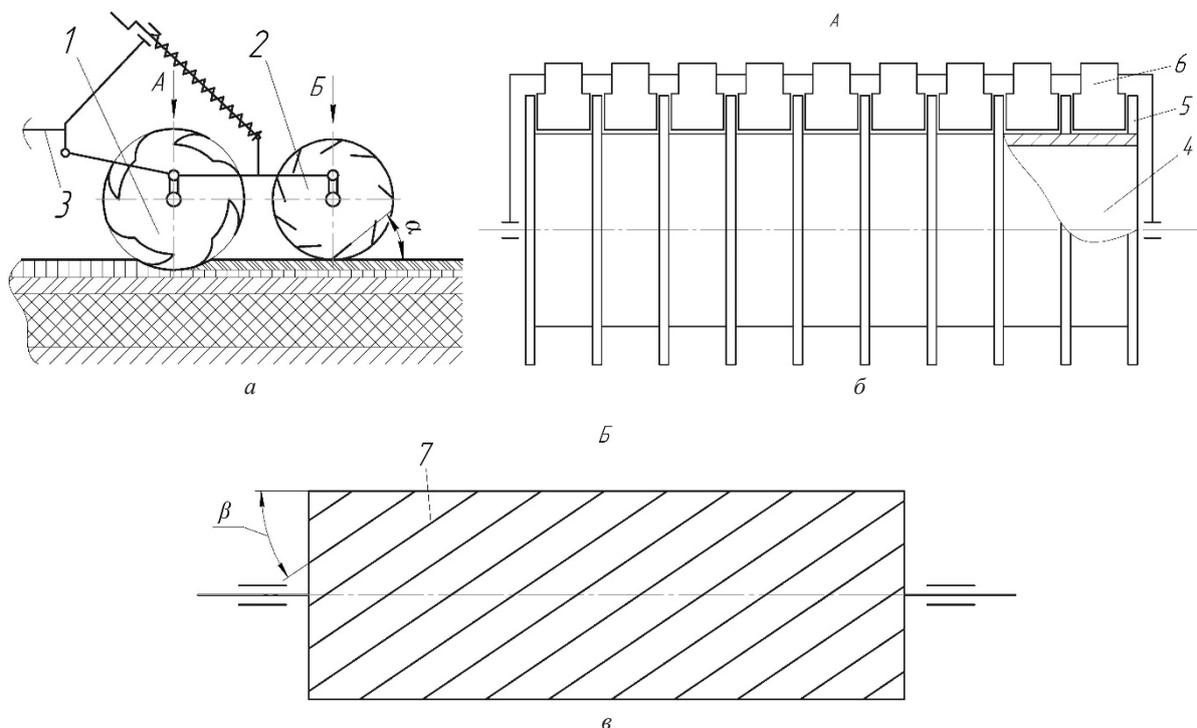


Рис. 12. Схема блока прикатывающих катков: *a* – вид сбоку; *б* – вид А; *в* – вид Б; 1 – опорно-прикатывающий каток; 2 – мульчирующий каток; 3 – рама; 4 – цилиндр; 5 – зубчатые диски; 6 – чистики; 7 – планка

Блок прикатывающих катков состоит из последовательно установленных опорно-прикатывающего катка 1 и мульчирующего катка 2, которые присоединены к раме агрегата 3. При этом мульчирующий каток 2 подпружинен. Кроме этого, каток 1 выполнен в виде пустотелого цилиндра 4, на поверхности которого находятся зубчатые диски 5 с установленными между ними чистиками 6, а мульчирующий каток 2 выполнен в виде планок 7, которые наклонены к горизонту в продольном на угол  $\alpha$  и поперечном на угол  $\beta$  направлениях.

Работа блока прикатывающих катков осуществляется следующим образом. При движении агрегата (не показан) каток 1 заглубляется в ранее взрыхленную почву зубчатыми дисками 5 и перекачивается. Поскольку взрыхленная почва содержит комки, то при перекачивании каток 1 раздробляет их на меньшие частицы и уплотняет средний слой. Налипшая на пустотелый цилиндр 4 катка 1 почва очищается установленными между зубчатыми дисками 5 чистиками 6.

Боковые и наружные поверхности зубчатых дисков 5 самоочищаются за счет трения и разности окружных скоростей по отношению к пустотелому цилиндру 4. Далее мульчирующий каток 2 планками 7 крошит верхний слой почвы. За счет наклона планок 7 под углом  $\alpha$  в продольном направлении происходит подуплотнение верхнего слоя, а за счет наклона планок под углом  $\beta$  в поперечном направлении – выравнивание. Одновременно при вращении мульчирующего катка 2 планки 7 выбрасывают почву и растительные остатки, покрывая поверхность сплошным мульчированным слоем.

### **Заключение**

Катковые рабочие органы должны быть объединены в блок катков, включающий два катка: опорно-прикатывающий и мульчирующий.

При этом опорно-прикатывающий каток должен быть кольчатого типа и состоять из полого цилиндра, на наружной поверхности которого равномерно располагаются зубчатые диски, а между ними установлены пластинчатые чистики. Мульчирующий каток должен быть планчатого типа и состоять из дисков, к наружной поверхности которых приварены планки, при этом планки должны быть наклонены к горизонту в поперечном и продольном направлениях.

### **Список использованных источников**

1. Köckerling – техника для современных агротехнологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.koeckerling.de/fileadmin/user\\_upload/1079\\_Gesamtuebersicht\\_RUS\\_2020.pdf](https://www.koeckerling.de/fileadmin/user_upload/1079_Gesamtuebersicht_RUS_2020.pdf). – Дата доступа: 08.09.2021.
2. Каток Rollex 450-620 фирмы Väderstad [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vaderstad.com/ru/obrabotka-pochvy/katki/rollex/>. – Дата доступа: 08.09.2021.
3. Агрегат Tiger 4 МТ фирмы Horsch [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.horsch.com/ru/produkty/mashiny-dlja-obrabotki-pochvy/kultivatory/tiger-mt>. – Дата доступа: 08.09.2021.

**Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: mehposev@mail.ru*

## **СОШНИК ДЛЯ РАЗНОГЛУБИННОЙ УКЛАДКИ ПОСЕВНОГО МАТЕРИАЛА СЕЯЛКИ СПП-9**

*Аннотация.* В статье приведены описание конструкции и принципа работы сошника сеялки прямого посева СПП-9 с сошником новой конструкции, а также результаты ее приемочных испытаний.

*Ключевые слова:* сеялка прямого посева, сошник, приемочные испытания.

**N. D. Lepeshkin, V. V. Mizhurin**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: mehposev@mail.ru*

## **SEED COOLER SEED DRILL СПП-9**

*Abstract.* The article describes the design and principle of operation of the opener of the direct sowing machine СПП-9 with a new design opener, as well as the results of its acceptance tests.

*Keywords:* direct sowing machine, seed cooler, acceptance tests.

### **Введение**

Технология прямого посева представляет собой посев сельскохозяйственных культур по стерне, обычно с предварительной обработкой гербицидами, или по дернине без какой-либо механической обработки почвы, за исключением формирования мелких бороздок для высева семян. При этом эффективность посева значительно выше, когда все или часть удобрений (стартовая доза) вносятся во время посева. По сравнению с разбросным внесением удобрений это обеспечивает мощное, более дружное прорастание семян вследствие более раннего доступа корней к питательным веществам, что в последствии отразится на урожае. Кроме того, это дает преимущество над сорняками в борьбе за питательные вещества: культурные растения первыми получают доступ к питательным веществам и у них больше вероятность завладеть ими. Растение, имеющее больший и избирательный подход к удобрениям, имеет и более высокую эффективность использования удобрений, что повышает способность культурного растения конкурировать с сорняками [1–3]. В связи с этим исследование и разработка сошников, обеспечивающих одновременно с посевом внесение удобрений, является актуальной.

### **Основная часть**

Одним из требований, предъявляемым к комбинированным сошникам для одновременного посева и внесения удобрений, является то, что они должны эффективно разделять зерно и удобрение так, чтобы те не контактировали друг с другом (для исключения токсического эффекта). При этом глубина заделки удобрений должна быть на 1,5–2,0 см больше глубины заделки семян [4]. Кроме того, сошники не должны забиваться растительными остатками и почвой и сами закрывать сошниковое ложе.

В РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана и испытана сеялка прямого посева СПП-9 (рис. 1) с сошниковыми секциями, которые обеспечивают указанные требования.

Сошниковая секция [5] состоит из двух плоских дисков 1, 2 (рис. 2) с расположенными в их междисковом пространстве семяпроводом 3 и тукопроводом 4, пружины 5 и прикатывающего катка 6 с механизмом его регулировки 7 относительно сошника. Сошники и катки смонтированы на грядиле 8, который подпружинено закреплен на задних брусах. Диски сошника выполнены разновеликими, т. е. имеют разный диаметр, а поэтому, контактируя своими боковыми поверхностями разной площади с почвой, вращаются с разной скоростью и тем самым обеспечивают их самоочистку, исключая забивание их почвой. Кроме того, в междисковом пространстве установлена пластина-направитель 9, которая направляет потоки удобрений в канавку, образованную диском большего диаметра, и потоки семян в канавку, образованную диском меньшего диаметра, и исключает их смешивание. Для лучшего сцепления с почвой диски по периметру имеют вырезы Д.

Сошник работает следующим образом. При движении сошника сначала плоский диск 1 большего диаметра формирует более глубокую бороздку для удобрений, а затем плоский диск 2 – более мелкую бороздку для семян.

Одновременно на дно более глубокой бороздки через трубопровод 4 подаются удобрения, которые засыпаются сходящей с дисков почвой, а затем через семяпровод 3 в более мелкую бороздку подаются семена, которые предварительно заделываются почвой, сходящей с дисков,



Рис. 1. Сеялка прямого посева СПП-9

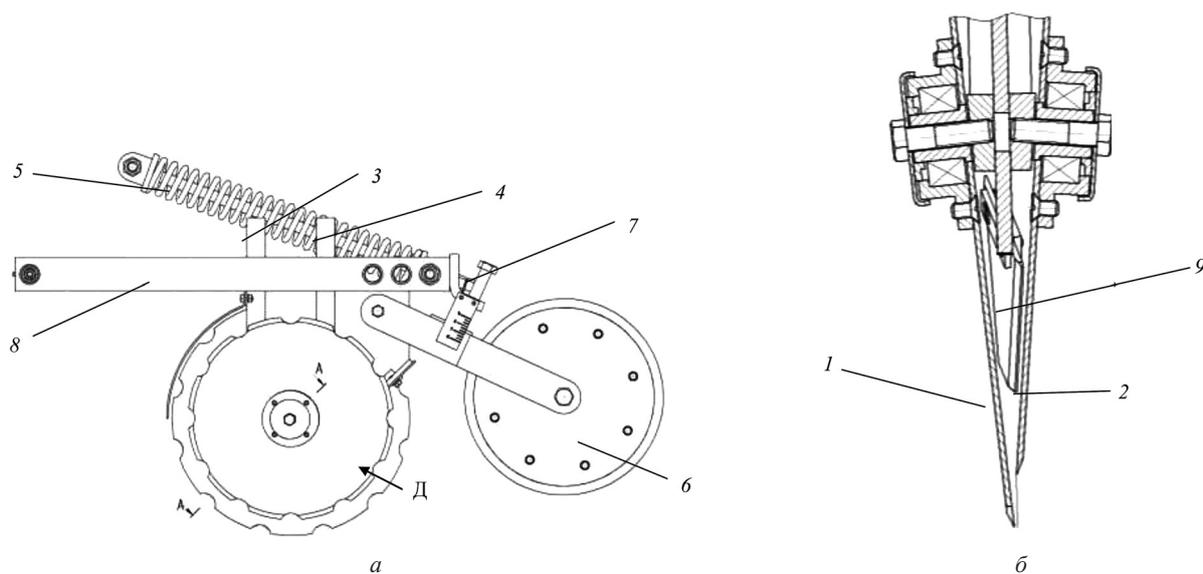


Рис. 2. Конструктивная схема сошниковой секции: а – вид сбоку; б – разрез А-А; 1, 2 – диски (Д – вырезы); 3 – семяпровод; 4 – тукопровод; 5 – пружина; 6 – прикатывающий каток; 7 – механизм регулировки; 8 – грядель; 9 – пластина-направитель

и почвой, самопроизвольно осыпающейся со стенок бороздок за дисками. Окончательно заделка производится катками б.

Испытаниями сеялки СПП-9 [6] установлено: при использовании на сеялке предложенной конструкции сошника с диаметром большего диска 400 мм, меньшего диска 360 мм и диаметром прикатывающего катка 280 мм на посеве зерновых культур при глубине заделки в интервале 20–60 мм отклонение глубины не превышает 2,9 % (по техническому заданию – 10 %), при этом глубина заделки удобрений на 1,5 см ниже глубины заделки семян.

### **Заключение**

Разработана конструкции сошника, обеспечивающего одновременную укладку и заделку семян и удобрений. Установлено, что использование нового сошника позволяет укладывать удобрения и семена на расстояние 1,5–2,0 см друг от друга и производить их заделку без забивания междискового пространства растительными остатками и почвой.

### **Список использованных источников**

1. Бейнер, С. Ж. Технология и посев. Наука и практика / С. Ж. Бейнер, К. Е. Сонстон, В. Р. Ритчи. – 2-е изд. – Нью-Йорк, 2002. – 264 с.
2. NO-TILL – шаг к идеальному земледелию : учеб.-метод. пособие / под ред. В. Батурина. – М. : Народное образование, 2006. – 119 с.
3. Анализ конструкций отечественных и зарубежных сеялок для прямого посева зерновых культур и подсева трав в дернину : аналит. обзор / Н. Д. Лепешкин [и др.]. – Минск : Белорусский научный институт внедрения новых форм хозяйствования в АПК, 2002. – 36 с.
4. Машины посевные и посадочные. Правила установления показателей назначения : ТКП 078-2007. – Введ. 06.08.2007. – Минск : Белорусский научный институт внедрения новых форм хозяйствования в АПК, 2007. – 40 с.
5. Устройство для прямого посева : пат. 11632 ВУ, МПК 7 А01С7/20, А01В49/06 / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, Д. В. Заяц, А. С. Мялик ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № и 20170226 ; заявл. 20.06.17 ; опубл. 30.04.18.
6. Протокол приемочных испытаний сеялки прямого посева СПП-9 от 29 дек. 2016 г. № 099 Б 1/3-2016ИЦ / ГУ «Белорусская МИС». – Минск, 2016. – 116 с.

**Н. Д. Лепешкин<sup>1</sup>, В. В. Мижурин<sup>1</sup>, Д. В. Зубенко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: mehposev@mail.ru

<sup>2</sup>УО «Марьиногорский государственный ордена “Знак Почета”

аграрно-технический колледж имени В. Е. Лобанка»

пос. Марьино, Республика Беларусь

E-mail: priemnaya@mgatk.by

## **К ОБОСНОВАНИЮ СПОСОБА И АГРЕГАТА ДЛЯ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ СКЛОНОВЫХ ЗЕМЕЛЬ (В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ)**

*Аннотация.* В статье рассмотрены различные основные способы обработки почвы, применяемые на склоновых землях Республики Беларусь. Обоснован лучший способ с учетом агрофизических свойств почвы, возделываемых культур, севооборота, угла склона и эрозионной устойчивости почвы для основной обработки склоновых земель. Обоснована необходимость в разработке агрегата, который бы не только обеспечивал оптимальные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур, но и предупреждал развитие эрозионных процессов путем задержания и накопления в почве влаги.

*Ключевые слова:* склоновые земли, эрозия, влагонакопление, влагозадержание, агрегат.

**N. D. Lepeshkin<sup>1</sup>, V. V. Mizhurin<sup>1</sup>, D. V. Zubenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: mehposev@mail.ru

<sup>2</sup>EI "Maryinogorsk state awards "Honour Sign"

agrarian and technical college of V. E. Lobanok"

s. Maryino, Republic of Belarus

E-mail: priemnaya@mgatk.by

## **TO SUBSTANTIATION OF A METHOD AND UNIT FOR BASIC TREATMENT OF SOIL IN SLOPE LANDS (IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS)**

*Abstract.* The article discusses the various basic methods of soil cultivation used on the slope lands of the Republic of Belarus. The best way is substantiated, taking into account the agrophysical properties of the soil, cultivated crops, crop rotation, slope angle and soil erosion resistance for the main cultivation of slope lands. The need for the development of an aggregate is substantiated, which would provide not only optimal conditions for the growth and development of agricultural crops, but also prevent the development of erosion processes by retention and accumulation of moisture in the soil.

*Keywords:* slope lands, erosion, moisture accumulation, moisture retention, unit.

### **Введение**

По данным Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь общая площадь пахотных земель в нашей стране составляет 5,7 млн га, из которых около 10 % подвержено водно-эрозионным процессам [1]. При этом к их проявлению имеет склонность около 32 % земель. Установлено, что водная эрозия не наблюдается лишь на полях, имеющих крутизну склона до 1° [2]. В республике на таких склонах расположено около 2,5 млн га пашни. Все оставшиеся склоновые земли, имеющиеся в Беларуси, подразделяются на слабо, средне и сильно подверженные эрозии. Крутизна их склона равна 1°–3°, 3°–5° и 5°–15° соответственно. На таких землях в республике расположено 2,1 млн, 0,3 млн и 0,08 млн га пашни соответственно. Это свидетельствует о том, что борьба с эрозией является актуальной проблемой для земледелия Беларуси.

Остановить распространение процесса эрозии и восстановить плодородие эродированных земель возможно только путем проведения комплекса противоэрозионных мероприятий, направленных на задержание осадков на месте их выпадения и перевод поверхностного стока во внутрипочвенный. Одним из таких мероприятий является обработка почвы. Особенностью обработки почвы на склонах является то, что она должна, с одной стороны, обеспечивать оптимальные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур, а с другой стороны, предупреждать развитие эрозионных процессов. Поскольку наиболее интенсивный смыв и размыв почвы происходят при весеннем стоке талых вод и осенних ливнях, т. е. в период, когда на почве отсутствует (почва подготовлена на зябь) или еще не развилась достаточно мощная растительность (посевы озимых), то основная роль в системе обработки почвы в деле предупреждения и прекращения процессов эрозии принадлежит основной обработке почвы, которая в это время наиболее существенно может изменить агрофизические свойства почвы.

В настоящее время известны следующие способы основной обработки почвы: отвальная обработка, безотвальная обработка, поверхностная обработка, комбинированная обработка и др. Эти способы при обработке почвы на склонах должны повышать водозадерживающие способности и проводиться на топографической основе с учетом рельефа, т. е. поперек склона или по горизонталям (контурно). Повышение водозадерживающей способности осуществляется следующими способами: за счет увеличения влагонакопления, т. е. водопроницаемости почвы, и за счет поверхностного задержания талых и ливневых вод.

Факторами, определяющими выбор наиболее подходящего способа обработки почвы, являются: тип почвы, ее физические свойства; подверженность эрозионным процессам; культура земледелия; предшественник; способ обработки почвы под предшественник; засоренность поля; условия погоды; наличие растительных остатков; ограниченные сроки применения и внесения органических удобрений; использование гербицидов; наличие необходимой техники и др. Кроме этого, выбор способа обработки почвы зависит и от реакции полевых культур на минимализацию обработки почвы. По реакции на минимализацию обработки почвы культуры можно расположить в порядке убывания: озимые зерновые → яровые зерновые → однолетние травы → гречиха → подсолнечник → кукуруза сахарная свекла.

Из сказанного следует, что ни один из существующих способов основной обработки почвы нецелесообразно применять в чистом виде под все культуры севооборота. Поэтому более разумно сочетать в севообороте отвальные, безотвальные, поверхностные и другие способы обработки почвы. Для условий Беларуси большой интерес представляет комбинированная обработка почвы, включающая 50 % отвальных и 50 % безотвальных обработок, чередуемых по годам в севообороте [2].

На основании вышеизложенного можно заключить, что: во-первых, различные способы основной обработки почвы имеют право на существование; во-вторых, применение любого способа должно увязываться со сложившимися условиями на конкретном поле и не должно быть постоянным.

Цель работы – обосновать способ основной обработки почв склоновых земель для условий Республики Беларусь и агрегата для его осуществления.

### **Основная часть**

Поскольку все способы основной обработки почвы имеют право на существование, а их выбор должен быть увязан с условиями конкретного поля, то за основу для обоснования примем преобладающий способ обработки почвы.

Для выполнения различных способов основной обработки почвы применяют соответствующие приемы.

Прием обработки почвы – это однократное воздействие на почву рабочими органами почвообрабатывающих машин и орудий с целью выполнения одной или нескольких технологических операций. Так как способы обработки почвы различаются применяемыми для их осуществления приемами, то обоснование преобладающего способа основной обработки почвы на склонах проведем путем анализа достоинств и недостатков применяемых в настоящее время приемов.

К числу наиболее распространенных в Беларуси основных приемов отвальной обработки почвы относится вспашка, безотвальной – плоскорезная обработка (рыхление) и чизелевание почвы, поверхностной – лущение, дискование. К дополнительным приемам, увеличивающим влагонакопление, – глубокое рыхление и щелевание. К приемам, увеличивающим влагозадержание, – создание нанорельефа (лункование, бороздование, создание микролиманов, обволочивание зяби) и мульчирование почвы.

Вспашка – это прием обработки почвы плугами, обеспечивающий оборачивание обрабатываемого слоя не менее чем на 135° и выполнение других технологических операций (перемешивание, крошение, рыхление).

Необходимость оборачивания пласта вызвана рядом причин. В процессе возделывания культур происходит дифференциация пахотного слоя: верхняя его часть становится более распыленной и уплотненной, теряет запас питательных веществ. При оборачивании улучшаются свойства сброшенного на дно борозды верхнего слоя. Оборот необходим для заделки пожнивных остатков, навоза, семян сорных растений. Перемешивание почвы обеспечивает равномерное распределение по пахотному слою продуктов распада растительных остатков и удобрений. Озимая пахота обеспечивает почву влагой и воздухом, в результате – спелая почва весной.

Однако плужной обработке присущи и существенные недостатки. Чрезмерное распыление гумусового слоя при обогащении его воздухом способствует усиленной минерализации органического вещества. Плодородные структурные почвы в значительной мере распыляются и становятся более восприимчивыми к водной и ветровой эрозии. В засушливые годы перемещение более влажного слоя на поверхность приводит к быстрому высыханию и непродуктивным потерям влаги. Очень существенным недостатком плужной обработки является образование так называемой плужной подошвы, которая способствует внутрпочвенному стоку по склону. Особенно это проявляется при переходе от загонной вспашки к гладкой (без свальных гребней и развальных борозд).

Надо отметить, что вспашка даже поперек склона (обычная и глубокая) лишь частично ограничивает эрозию. Даже в случае исключения поверхностного стока на фоне вспашки происходит усиленная эрозия от удара дождевых капель. В результате этого развивается линейная эрозия.

Как показывают исследования РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию» [2] и результаты многих других исследовательских учреждений СНГ и дальнего зарубежья, на склоновых землях вспашку с успехом можно заменить безотвальной обработкой почвы. При такой обработке не происходит оборота пласта и пожнивные остатки полностью не заделываются в почву, а лишь перемешиваются с ней. При этом установлено, что эффективность безотвальной обработки возрастает с увеличением крутизны склонов и не зависит от направления движения агрегата по склону. Поэтому применение безотвальных обработок весьма перспективно на широко распространенных в республике крутых, волнистых и сложных склонах, где проведение работ поперек склонов и в направлениях горизонталей местности практически не представляется возможным.

Полученные результаты исследований показывают, что при проведении безотвальных обработок в агротехнические сроки и с высоким качеством безотвальная обработка не может быть основной причиной увеличения в республике засорения полей.

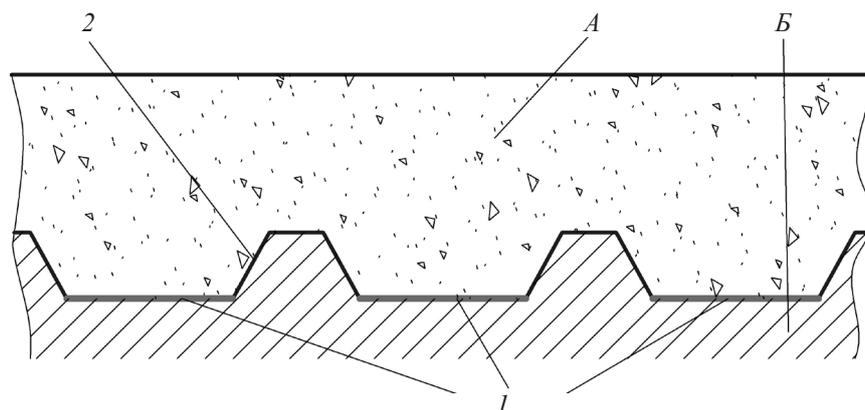
Как было сказано выше, основными приемами безотвальной обработки являются плоскорезная обработка и чизелевание.

Плоскорезная обработка – это безотвальная обработка плоскорезными орудиями с сохранением большей части послеуборочных остатков на поверхности поля. Недостатком плоскорезной обработки при использовании ее на дерново-подзолистых почвах, которых в республике насчитывается около 92 %, является то, что получить плоскорезом качественное крошение почвы по всему обрабатываемому слою, в отличие от черноземов, возможно только в случае хорошей окультуренности почвы и ее оптимальной влажности. При работе плоскореза почвенные агрегаты формируются в основном за счет скола почвы от лезвия лапы, поэтому чем больше глубина обработки, тем крупнее комья на поверхности. Таким образом, в случае повторения из года в год плоскорезной обработки верхний слой уплотняется. Кроме того, при работе плоскорезных лап, так же как и при работе лемеха плуга, образуется «плужная подошва». Все это повышает весен-

ний сток. Наряду с этим плоскорезы особенно неудовлетворительно работают при крайних значениях увлажнения почвы. Рыхление ими сухой почвы приводит к образованию крупных глыб и распределению верхнего слоя. При влажной почве они гляncуют дно и забиваются. Для работы плоскорезов в этих условиях характерна неравномерность глубины рыхления.

Из приемов безотвальной обработки почвы наибольшее распространение в республике получила чизельная обработка почвы.

Особенностью чизельной обработки является то, что формируемый ею почвенный профиль более полно приспособлен к влагонакоплению и влагозадержанию и имеет лучшие показатели по качеству крошения. Характерной особенностью технологического процесса, выполняемого чизельным орудием, является рыхление с недорезом пласта по ширине захвата с образованием неразрушенных гребней над дном борозды и разрыхленного слоя почвы над гребнем (см. рисунок). При этом на дне борозды образуется уплотненное ложе *1*, которое служит для накопления влаги.



Почвенный профиль (фрагмент) после прохода чизеля: А, Б – слои; 1, 2 – поверхность

Уплотненное ложе образуется благодаря непосредственному контакту с орудием вследствие «затирания» дна борозды. Поверхность 2 образуется исключительно благодаря распределению линий скалывания (трещин) без контакта с орудием. Вследствие этого поверхность 1 не пропускает влагу, а поверхность 2 пропускает (рисунок). Ввиду того, что в слое А капиллярные поры разрушены, испарение ограничено, а наличие капиллярных пор в слое Б способствует регулированию водозаряда: либо снижает его избыток, либо подпитывается при недостатке.

По степени перемешивания разрыхляемой почвы чизелевание превосходит плоскорезную обработку, но уступает вспашке. Количество стерни, сохраняемой на поверхности почвы после чизелевания, составляет около 60 %. Этого вполне достаточно для защиты почв от эрозии.

Вследствие неполного рыхления пахотного слоя чизелевание способствует тому, что при всех прочих равных условиях затраты энергии на обработку почвы меньше, чем при плоскорезной и отвальной вспашке, в результате производительность чизельных орудий выше, чем плоскорезов и отвальных плугов.

Что касается приемов поверхностной обработки почвы на склонах, т. е. на глубину до 8 см [3], то они в большинстве случаев сопряжены с большими потерями ливневых и талых вод со стоком. Это происходит вследствие сильного уплотнения нижележащих (10–20 и 20–30 см) слоев. Поэтому применение поверхностной обработки на склонах неприемлемо, особенно в засушливых районах. Применение поверхностной обработки целесообразно в сочетании с глубоким рыхлением или щелеванием.

Приемы лущения и дискования почвы в настоящее время в республике проводятся в основном лущильниками и почвообрабатывающими агрегатами. Однако дисковые орудия по ряду показателей не удовлетворяют агротехническим требованиям. Например, по причине наличия на лезвиях дисков больших сопротивлений не представляется возможным достичь заданной глубины обработки почвы, особенно на тяжелых и сухих почвах. Кроме того, на полях, засоренных

корневищными сорняками, дисковые рабочие органы не уменьшают, а, наоборот, увеличивают засоренность. К отрицательным показателям дисков следует отнести и то, что значительная часть стерни засыпается землей.

Поэтому при осенней безотвальной обработке склоновых земель лушение стерни не является обязательным приемом.

Для задержания влаги на вспаханной почве могут применяться дополнительные приемы, создающие микронеровности на поверхности почвы (нанорельеф): лункование, бороздование и прерывистое бороздование, ячеистая обработка, обволочивание зяби, создание микролиманов и др.

Вместе с тем известно, что создание нанорельефа дает положительный эффект в регулировании оттока и уменьшении смыва почвы только при значительном снежном покрове и неглубоком промерзании почвы, в районах, где зима без глубоких оттепелей. Оттепели вызывают последующее промерзание почвы и образование ледяной непроницаемой прослойки в лунках. При слабой водопроницаемости почвы лунки и борозды переполняются талыми водами и могут разрушаться, что вызывает усиление оттока и смыва почвы. Кроме этого, водоудерживающие неровности затрудняют выполнение на поле последующих работ, а при дефиците осадков могут способствовать дополнительному иссушению, поэтому их не применяют [4].

Более устойчивый положительный эффект обеспечивает создание нанорельефа в весенне-летний период, когда он служит для предотвращения эрозии почвы, вызываемой летними ливнями.

Наиболее эффективным дополнительным приемом к основной безотвальной обработке почвы на склонах, который способствует задержанию влаги и может применяться и как отдельный прием поверхностной обработки, является мульчирующая обработка почвы.

Мульчирующая обработка почвы – это сочетание механической обработки почвы и оставление на ее поверхности измельченных растительных остатков.

При мульчирующей обработке на поверхности поля формируется мульчирующий слой из измельченных остатков растений (стерня, солома, частично корневая система и т. п.) и измельченного до мелкокомковатого состояния и перемешенного верхнего слоя почвы. Исключить возможность перемешивания можно лишь в условиях развития ветровой эрозии, где растительные остатки должны выполнять роль противодефляционного средства.

Мощность (толщина) мульчирующего слоя определяется климатическими условиями, и чем они суше, чем толще (но не более 8–10 см) должен быть мульчирующий слой.

Целесообразность создания мульчирующего слоя подтверждается такими данными: если потери влаги без мульчирующего слоя принять за 100 %, то уже слой в 1,5 см сокращает их на 67 %, а при толщине мульчирующего слоя в 2,5; 4,5; 8,5 см потери влаги на испарение уменьшаются на 74,6; 82,2; 87,0 % соответственно (В. Р. Вильямс). Причем наибольший эффект достигается в том случае, когда мульчирующий слой состоит из комочков размерами 2–3 мм (А. Г. Дояренко). Формируя мульчирующий слой, следует стремиться к тому, чтобы доля участка почвы в нем не превышала 50 %. Кроме испарения, мульча снижает поверхностный сток воды. Например, соломенная мульча в дозе 2 т/га уменьшает сток воды в зависимости от уклона в 6–19 раз, а смыв почвы – в 80–120 раз, по сравнению с немulьчированной поверхностью. Причем с увеличением крутизны склона водозадерживающая эффективность мульчи снижается, а почвозащитная – возрастает. Это одна из важнейших особенностей мульчирования почвы на склонах [5].

Следующей группой приемов дополнительной обработки почвы, которые обеспечивают влагонакопление на склонах, являются глубокое рыхление и щелевание. Эти приемы применяются для разуплотнения подпахотного слоя почвы (плужной подошвы), которая образуется после прохода как рабочих органов (лемеха, дисков, лап), так и опорных колес машин. При увеличении плотности подпахотного слоя сокращается количество воздухо- и влагопроводящих пор, что ведет к переувлажнению пахотного слоя и недостатку влаги в подпахотном слое. Влага, не впитавшаяся в плотный грунт, может стать причиной возникновения водной эрозии на склоновых землях. Пашня, кроме торфяников и богатых гумусом почв, требует разуплотнения один раз в 3–5 лет. Почвы, содержащие более 30 % глинистой фракции, склонны к самоуплотнению и заплыванию,

поэтому требуют более частого разуплотнения [4]. При глубоком рыхлении глубина принимается 40–50 см, на тяжелых мелиорированных почвах – 60–80 см, междуследие – 500–800 мм. При щелевании глубина составляет 40–50 см, расстояние между щелями – 1,0–1,4 м, ширина щели – 2,5–3,0 см [6].

Из представленного анализа и ранее проведенных исследований [7] можно предположить, что на дерново-подзолистых почвах применение отвального способа основной обработки предпочтительно на склонах, слабо подверженных эрозии (смыв почвы до 5 т/га) и имеющих крутизну 1°–3°. При этом под озимые культуры, исходя из требований этих культур и наличия их в севообороте, будет применяться безотвальный и поверхностный способ обработки.

Комбинированный способ обработки можно применять на склонах 3°–5°, на которых почвы средне подвержены эрозии (5–10 т/га). Здесь целесообразно использовать глубокую отвальную или безотвальную обработку под пропашные, среднюю – под зернобобовые и яровые зерновые, поверхностную – под озимые и однолетние травы.

Безотвальный и поверхностный способы обработки, дополненные приемами глубокого рыхления, щелевания и мульчирования, можно рекомендовать на склонах более 5° и смывом почвы более 10 т/га. Обязательное условие эффективности таких способов – применение гербицидов.

Таким образом, очевидно, что на склоновых землях преобладающими способами основной обработки являются безотвальные, которые должны дополняться водозадерживающими и водонакопительными приемами.

Для технического обеспечения безотвального способа основной обработки почвы в республике, в том числе с участием РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», создан ряд высокоэффективных машин, обеспечивающих приемы мульчирующей обработки почвы, чизелевания, глубокого рыхления и щелевания.

Так, мульчирующие обработки почвы можно выполнить с помощью нового поколения дисковых борон (дискаторов) и лушильников. Производство дискаторов налажено на ОАО «Бобруйсксельмаш» (АПН-3, АПН-4, АПД-6, АПД-7,5), ОАО «СелАгро» (АДН-2,5, АДН-3Р), ОАО «Амкодор» – управляющая компания холдинга» (БДК-3, БДК-4, БДК-7,5), ОАО «БЭМЗ» (АП-6, АП-7), а производство лушильника ЛДР-9 – на ОАО «Щучинский ремонтный завод». Для чизелевания почвы ОАО «Амкодор» – управляющая компания холдинга» выпускаются культиваторы КГН-3,0, КГП-4,6, КГП-6,2, ОАО «Минской ремонтный завод» – КНТ-5 и КНТ-6, ОАО «Минский агросервис» – КНЧ-4,2.

Кроме этого, на ГП «Экспериментальный завод» РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» и ОАО «Гидросельмаш» освоено производство чизельно-дисковых агрегатов АКМ-4 и АКМ-6, на ОАО «Лунинецкий ремонтный завод» – КЧД-6, на ОАО «Бобруйсксельмаш» – АПМ-6.

Для глубокого рыхления почвы ОАО «Минский агросервис» освоило производство глубокорыхлителя ГЧ-4, ОАО «БЭМЗ» – ГР-70, ОАО «Завод «Минскагромаш» – ГРТ-4В.

С учетом имеющихся в республике машин и требований к основной безотвальной обработке почвы на склонах такую обработку можно выполнить только за несколько проходов различных агрегатов по полю. В результате многократных проходов машин по полю происходит ухудшение оптимальной структуры почвы за счет чрезмерного распыления верхнего слоя почвы как двигателями тракторов и сельхозмашин, так и рабочими органами сельхозмашин, стойки которых постоянно воздействуют на верхний слой. При этом снижается водозадерживающая и водонакопительная способность почвы, так как при проходе агрегатов в взрыхленном слое образуются пазухи и пустоты, а также происходит значительное повреждение растительных остатков на дневной поверхности поля.

Для исключения этих негативных явлений при обработке склоновых земель необходимо разработать почвообрабатывающий агрегат, способный производить обработку почвы за один проход.

## Выводы

1. С учетом агрофизических свойств почвы, возделываемых культур, севооборота, угла склона и эрозионной устойчивости почвы для основной обработки склоновых земель могут исполь-

зоваться отвальный, безотвальный, поверхностный, комбинированный и другие способы обработки почв, но преобладающим является безотвальный способ обработки почвы, включающий такие приемы обработки, как мульчирование, чизелевание, глубокое рыхление.

2. Для безотвального способа основной обработки почвы на склонах необходимо разработать агрегат, обеспечивающий не только оптимальные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур, но и предупреждающий развитие эрозионных процессов путем задержания и накопления в почве влаги. Таким агрегатом может быть комбинированный агрегат, способный за один проход производить приемы мульчирования, чизелевания и глубокого рыхления почвы.

#### **Список использованных источников**

1. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь (по состоянию на 01.01.2020 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://gki.gov.by/ru/activity\\_branches-land-reestr](http://gki.gov.by/ru/activity_branches-land-reestr). – Дата доступа: 16.08.2021.
2. Бачило, Н. Г. Энергосберегающие системы обработки почвы / Н. Г. Бачило // Современные технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси : сб. науч. материалов. – Минск : ИВЦ Минфина, 2005. – С. 12–32.
3. Земледелие. Термины и определения : ГОСТ 16265-89. – М. : Издательство стандартов, 1990. – 21 с.
4. Жук, А. Ф. Почвообрабатывающие агроприемы, технологии и комбинированные машины / А. Ф. Жук. – М. : Росинформагротех, 2012. – 144 с.
5. Шикуча, Н. К. Почвозащитная система земледелия : справ. кн. / Н. К. Шикуча. – Харьков : Прапор, 1987. – 200 с.
6. Глубокое рыхление и щелевание эродированных и временно переувлажненных почв : рекомендации // Госагропром БССР, НПО «Белсельхозмеханизация», НПО «Плодородие». – Минск : ЦНИИМЭСХ, 1988. – 19 с.
7. Точицкий, А. А. Склоновые земли: боремся с эрозией / А. А. Точицкий, Н. Д. Лепешкин // Белорусское сельское хозяйство. – 2012. – № 4 (120). – С. 87–89.

**Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: mehposev@mail.ru*

## **К ОБОСНОВАНИЮ ТИПА РЫХЛИТЕЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА ДЛЯ ВЛАГОНАКОПЛЕНИЯ И ВЛАГОЗАДЕРЖАНИЯ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены различные конструктивные решения и технические возможности известных чизельных рабочих органов и обоснован тип рыхлительного рабочего органа к почвообрабатывающему агрегату для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях.

*Ключевые слова:* склоновые земли, влагонакопление, влагозадержание, агрегат, рыхлительный рабочий орган.

**N. D. Lepeshkin, V. V. Mizhurin**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: mehposev@mail.ru*

## **TO JUSTIFICATION OF THE TYPE OF RIPPING WORKING BODIES OF A TILLAGE UNIT FOR WATER ACCUMULATION AND MOISTURE RETENTION ON SLOPE LANDS**

*Abstract.* The article discusses various design solutions and technical capabilities of the known chisel working bodies and substantiates the type of loosening working body to the tillage unit for moisture accumulation and moisture retention on sloping lands.

*Keywords:* slope lands, moisture accumulation, moisture retention, unit, loosening working body.

### **Введение**

Одним из путей снижения ресурсопотребления, обеспечения влагой и защитой почв от эрозии на склоновых землях является замена основной отвальной обработки почвы на безотвальную. При этом безотвальный способ для условий Беларуси должен включать такие приемы обработки почвы, как мульчирование ее верхнего слоя растительными остатками, чизелевание пахотного слоя и глубокое рыхление подпахотного слоя с образованием на его дне гребней. Для осуществления такого способа основной обработки склонов за один проход предложена схема комбинированного агрегата, предусматривающая его блочно-модульную конструкцию, куда в качестве базового блока должен входить блок, состоящий из рыхлительных рабочих органов. При этом данный блок может использоваться как в составе агрегата, когда впереди его устанавливается блок дисков, а сзади – блок катков, так и самостоятельно. При обработке склонов в составе агрегата рыхлительные рабочие органы должны обеспечивать послойное рыхление почвы на двух уровнях: на первом – рыхление на глубину обычной обработки, т. е. на глубину пахотного слоя, и на втором – глубокое рыхление (до 40 см) с образованием на дне слоя гребней. При необходимости (например, обработка равнинных земель) рабочие органы должны производить только безотвальное рыхление пахотного слоя. При использовании блока как самостоятельного орудия его рабочие органы должны производить только глубокое безотвальное рыхление, т. е. рыхление подпахотного слоя или щелевание.

В настоящее время в республике для безотвального рыхления пахотного и подпахотного горизонта используют чизельные орудия, которые в зависимости от глубины рыхления подразделяются на чизельные культиваторы (тяжелые культиваторы), чизельные плуги и глубокорыхлители.

Особенностью чизельных рабочих органов, применяемых на этих орудиях, является то, что они рыхлят почву, отрывая ее от монолита, однако не уплотняют подпахотные слои, как лемешные плуги, плоскорезы и дисковые орудия, т. е. не образуют «плужную подошву». Прорезая в ней щели, они способствуют лучшему поглощению почвой воды. Поскольку чизельные орудия производят обработку почвы с недорезом пласта по ширине захвата, то на дне обработанного ими слоя почвы будут образовываться гребни, препятствующие подпочвенному стоку на склонах. Кроме того, такая обработка является и менее энергоемкой, и более производительной.

Конструктивно чизельные рабочие органы, как правило, состоят из стойки с установленными в ее нижней части долотом и лапой. С целью снижения тягового сопротивления и повышения качества обработки, производительности, а также их технической и технологической надежности рабочие органы постоянно совершенствуются, поэтому для их выбора требуется оценка их достоинств и недостатков.

Цель работы – оценить конструктивные решения и технические возможности известных чизельных рабочих органов и обосновать тип рыхлительного рабочего органа к почвообрабатывающему агрегату для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях.

### Основная часть

Для снижения тягового сопротивления и улучшения заглубляемости наряду с прямолинейными используются наклонные и криволинейные стойки по ходу движения (рис. 1).

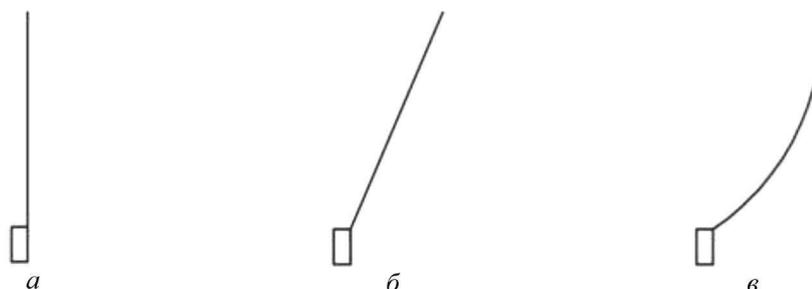


Рис. 1. Типы профиля прямолинейной (а), наклонной (б) и криволинейной (в) стоек в продольном направлении

Использование криволинейных и наклонных стоек объясняется характером взаимодействия пласта со стойкой, т. е. наличием, помимо лобового, также косого резания, при котором наряду с деформацией сжатия в направлении движения имеет место сдвиг почвы в стороны по поверхности скольжения (наименьшего сопротивления).

Кроме этого, при использовании криволинейной стойки установленное в ее нижней части долото или лапа более вынесены вперед, чем при установке их на прямолинейной стойке. Вследствие этого фронтальная поверхность стойки поднимает почву, сколотую лапой или долотом вверх, и на ней не образуется, как на прямолинейной стойке, нарост из уплотненной почвы, так называемое уплотненное ядро. К достоинствам наклонных и криволинейных стоек относится и то, что при их работе исключается вынос на дневную поверхность поля подпахотных слоев почвы, которые в течение некоторого времени сохраняют повышенную токсичность, неблагоприятно влияющую на прорастание семян.

Известны и другие типы стоек, снижающие тяговое сопротивление. Например, стойки (рис. 2), поперечное сечение которых выполнено в виде трехгранного клина с почвоподъемными пазами, образованными наклонными под острым углом к горизонту ребрами [1].

Известна стойка (рис. 3) с передней наклонной режущей кромкой, имеющей зубья и вырезы [2].

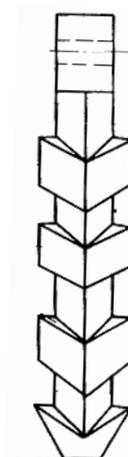


Рис. 2. Трехгранная стойка с почвоподъемными пазами

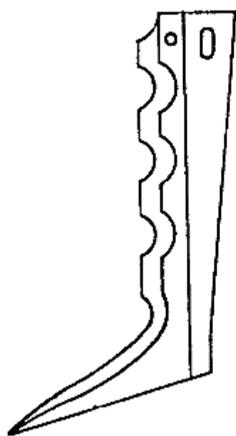


Рис. 3. Стойка с клиновидной режущей кромкой, имеющей зубья и вырезы

Наряду с изменением конфигурации стойки снизить ее тяговое сопротивление, а также повысить качество крошения позволяют стойки, имеющие степень подвижности. С этой целью используются упругие S- или С-образные стойки (рис. 4), а также жесткие стойки, оснащенные пружиной (рис. 5), которая является и защитой от камней.

Для лучшего разуплотнения пласта стойки могут наклоняться не только по ходу движения, но и в сторону (например, *Paroplow* фирмы *Howard*), при этом изгиб стойки может быть как надпочвенным, так и внутривспашочным (рис. 6). Надо отметить, что такие стойки явились начальным этапом тенденции развития послышной обработки почвы.

Анализ рассмотренных выше типов стоек показывает, что послышное рыхление, т. е. рыхление на разных уровнях, при использовании таких стоек можно осуществлять за один проход агрегата только путем последовательной установки на агрегате разных по высоте стоек.

Примером агрегатов, обеспечивающих за один проход рыхление пахотного и подпахотного горизонтов, служат глубокорыхлитель DRH 9800 фирмы *Salford* (Канада) и агрегат АКР-3 (разработка РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»).

При работе глубокорыхлителя DRH 9800 фирмы *Salford* (Канада) (рис. 7) дисковые рабочие органы 1 разрезают растительные остатки, смешивают их с землей и выравнивают поверхность.

Рыхлительные рабочие органы 2 (лапа щелевателя) разрыхляют почву на глубину до 41 см. Рыхлительные рабочие органы 3 (лапа чизеля) разрыхляют почву в промежутках между рабочими органами на глубину 28 см. Обработку почвы завершают выравнивающие и прикатывающие рабочие органы 4 (трехрядной бороны) и 5 (прикатывающий каток).

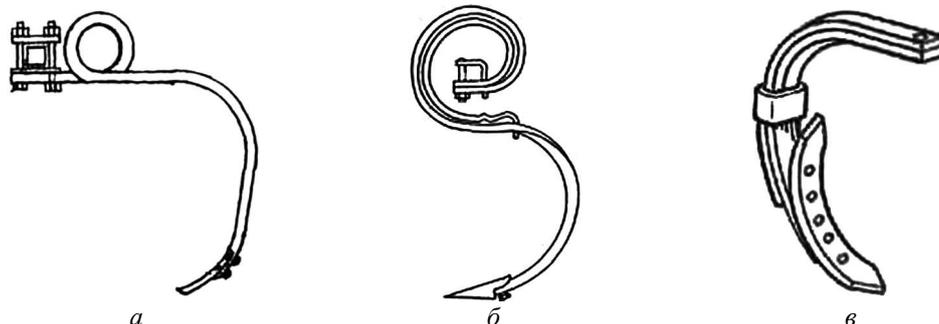


Рис. 4. Типы упругих стоек: *а* – упругая стойка для обработки почвы на глубину до 20 см; *б* – упругая стойка с подпружинником для обработки почвы на глубину до 15 см; *в* – сдвоенная плоская пружина для обработки на глубину до 25 см



*а*



*б*

Рис. 5. Типы жестких стоек, оснащенных спиральной (*а*) и плоской (*б*) пружиной



Рис. 6. Типы профиля стоек с внутрипочвенным (а) и надпочвенным (б) изгибом в поперечном направлении

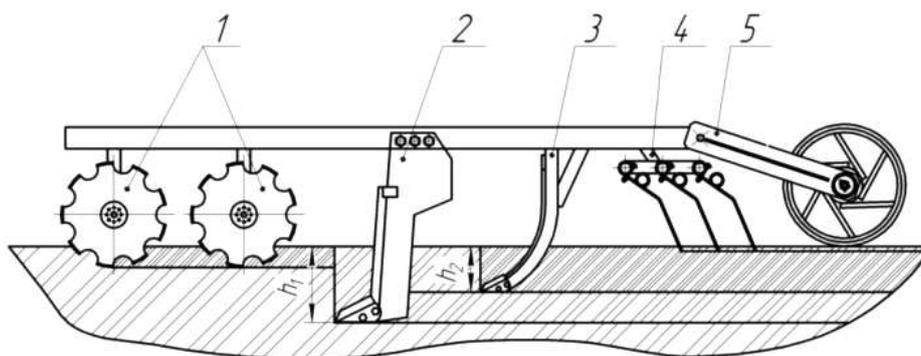


Рис. 7. Технологическая схема глубокорыхлителя DRH 9800 фирмы Salford (Канада): 1 – дисковые рабочие органы; 2 – лапа щелевателя; 3 – лапа чизеля; 4 – трехрядная борона; 5 – прикатывающий каток

Агрегат для разноглубинной обработки почвы АКР-3 (рис. 8) так же, как и глубокорыхлитель DRH 9800, имеет рыхлительные рабочие органы для рыхления подпахотного и пахотного горизонта.

Недостатком этих агрегатов является то, что для проведения одновременного рыхления пахотного и подпахотного слоя почвы они должны иметь два типоразмера стоек. Кроме этого, их недостатком является и то, что они не могут при необходимости рыхлить только подпахотный горизонт или только пахотный.

Известен культиватор CTSE фирмы Kverneland (Германия) (рис. 9).

В процессе обработки почвы рыхлительные рабочие органы 1 рыхлят и перемешивают почву и пожнивные остатки на глубину до 15 см. Далее дисковые рабочие органы 2 выравнивают верхний слой, перемешивают и заделывают в почву солому и другие растительные остатки.

После дисков обработку почвы на глубину до 40 см производят рыхлительными рабочими органами 3. Завершает обработку слоя почвы каток 4, который крошит комки почвы, выравни-



Рис. 8. Агрегат АКР-3

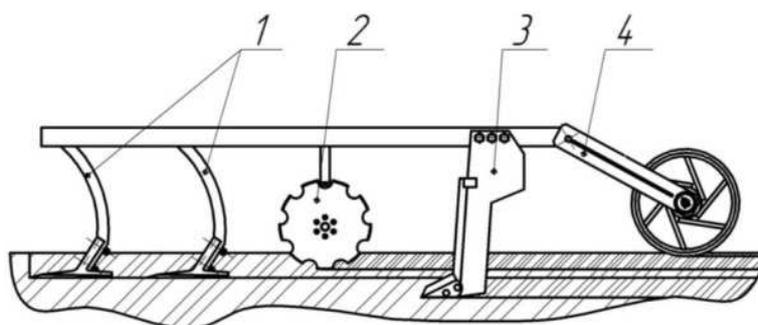


Рис. 9. Технологическая схема культиватора CTSE фирмы «Kverneland» (Германия):  
1, 3 – рыхлительные рабочие органы; 2 – дисковые рабочие органы; 4 – прикатывающий каток

ваит и уплотняет поверхностный слой. Отличительной особенностью данного культиватора является то, что при необходимости рабочие органы для глубокого рыхления 3 можно переводить в нерабочее положение, тогда обработка будет сводиться только к обработке пахотного слоя. Вместе с тем данное конструктивное решение металлоемко и не позволяет рыхлить только подпахотный горизонт.

Известны конструкции сдвоенных стоек (рис. 10) [3–5].

Преимуществом сдвоенных стоек является то, что они позволяют в 2 раза увеличить междуосью рыхлительных рабочих органов, не изменяя геометрию гребней относительно прямых и наклонных стоек. Однако такие стойки также не позволяют создать почвообрабатывающий агрегат, обеспечивающий одновременное рыхление пахотного и подпахотного слоя, а также раздельное рыхление этих слоев.

С целью расширения функциональных возможностей рыхлительных рабочих органов некоторые исследователи предлагают использовать одну стойку, но устанавливать на ней сменные лапы и долотья для обработки пахотного или подпахотного слоя. Особенностью таких стоек является то, что здесь при использовании одной стойки для мелких и глубоких обработок меняется угол наклона ее нижней части к горизонту, что, в свою очередь, позволяет устанавливать при изменении глубины обработки лапы и долотья под требуемыми углами крошения.

Из таких технических решений интерес представляет устройство для противозерозионной обработки почвы (рис. 11) содержащее полую стойку с закрепленной на ней режущей лапой и съемные разуплотнители [6].

При этом разуплотнители могут быть выполнены как в виде короткого прямого рыхлителя и долота с углом наклона для рыхления пахотного горизонта, так и с удлиненным рыхлителем и долотом с углом наклона для рыхления подпахотного горизонта.

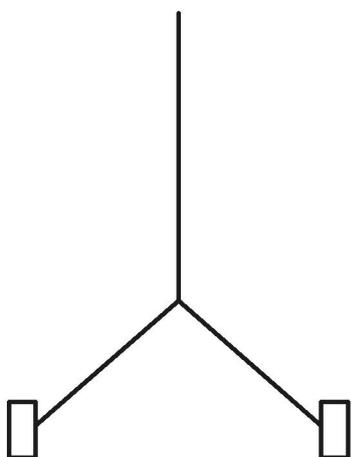


Рис. 10. Сдвоенная стойка

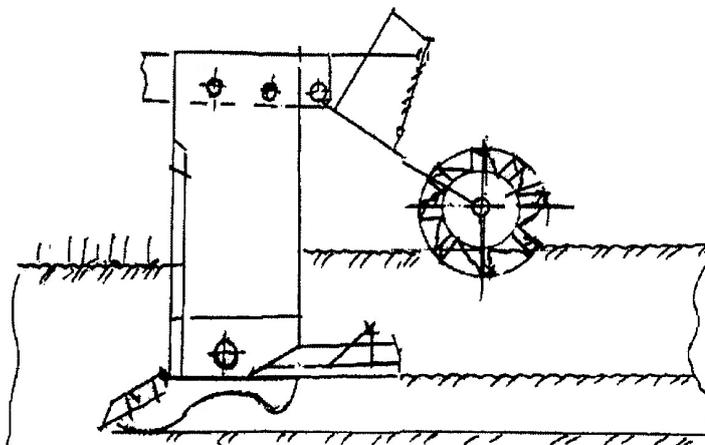


Рис. 11. Устройство для противозерозионной обработки почвы

Кроме этого, известен глубокорыхлитель (рис. 12), где стойка установлена с возможностью регулировки угла наклона к горизонту [7].

С этой целью стойка закреплена в кронштейнах рамы при помощи осей и предохраняющих разрушающихся элементов, выполненных в виде срезных болтов. Кронштейны рамы состоят из двух пластин, между которыми расположены стойки. Каждая пластина имеет одно отверстие для оси и как минимум два отверстия под срезные болты для регулировки угла наклона лапы или долота к горизонту.

При установке стойки на глубокое рыхление (см. рис. 12) на ней устанавливается долото и путем перестановки срезных болтов в соответствующие отверстия кронштейнов рамы устанавливается угол наклона долота к горизонту ( $30^\circ \pm 3^\circ$ ). При установке стойки на обычную обработку устанавливаются долото и боковые лапы.

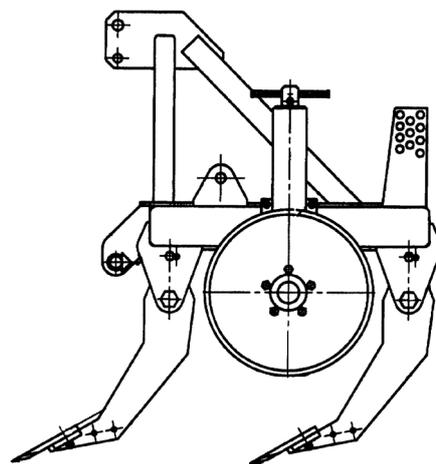


Рис. 12. Глубококорыхлитель

Путем перестановки срезных болтов в соответствующие отверстия кронштейнов рамы устанавливается угол наклона долота и лапы к горизонту ( $21^\circ \pm 3^\circ$ ).

Рассмотренные конструкции (типы) стоек, хотя и позволяют настроить глубококорыхлители для работы в режиме глубокого рыхления и режиме основной обработки почвы, т. е. для обработки подпахотного или пахотного слоя, но не имеют возможности использовать глубококорыхлитель для одновременного рыхления подпахотного и пахотного слоя.

Известен тип рыхлительного рабочего органа (рис. 13), который выполнен в виде бруса с передней режущей кромкой и установлен на раме под тупым углом к направлению движения [8]. При этом по длине бруса попарно посредством стоек установлены долото и стрельчатые лапы. Ширина лап выполнена переменной, уменьшающейся от верхнего яруса к нижнему.

Недостатком такого типа рабочего органа является то, что, несмотря на возможность производить одновременно с разуплотнением подпахотного слоя рыхление пахотного, он не предназначен для раздельного выполнения этих операций. Недостатком является и то, что жестко установленные на брус стойки не позволяют регулировать качество рыхления в зависимости от типа почвы и глубину рыхления. При этом расположенные на одной линии друг за другом рабочие органы не исключают забивание их растительными остатками.

Известен глубококорыхлитель (рис. 14), содержащий стойку, состоящую из двух подвижно соединенных между собой частей [9].

Верхняя часть стойки выполнена с криволинейной передней гранью, в нижней части которой расположена лапа. Нижняя часть стойки отклонена назад по ходу движения и имеет в нижней части долото. При движении лапа верхней части стойки рыхлит почву на глубину 15 см с образованием мелкокомковатой структуры, а долото, установленное на нижней части стойки, произво-

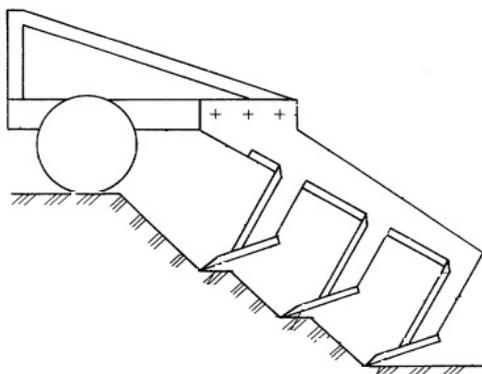


Рис. 13. Рыхлительный рабочий орган

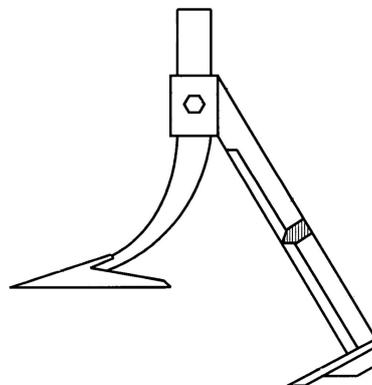


Рис. 14. Глубококорыхлитель со стойкой

дит глубокое рыхление на глубину от 15 до 35 см с разрушением плужной подошвы. Регулировка глубины обработки производится путем перемещения вверх или вниз нижней стойки вдоль верхней.

Недостатком такого типа рабочего органа является то, что он не может производить только прием глубокого рыхления почвы.

Известны рабочие органы для глубокого рыхления почвы, где для повышения качества рыхления пахотного слоя на их стойки устанавливают различные режущие элементы (рис. 15) [10–12].

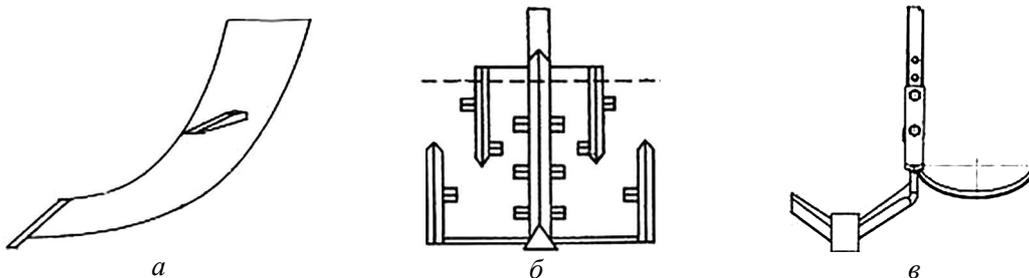


Рис. 15. Тип стоек глубокорыхлителей с плоскими режущими (а), серповидными (б) и кольцевыми режущими (в) элементами

Достоинством таких рабочих органов является то, что они позволяют одновременно производить рыхление подпахотного и пахотного слоя, а при необходимости, в случае установки режущих элементов съемными, – только рыхление подпахотного слоя. Вместе с тем такой тип стоек, хотя и не позволяет производить только рыхление пахотного слоя, так как угол наклона к горизонту нижней части стоек остается неизменным, однако его можно принять за основу для проектирования рыхлительного рабочего органа агрегата для влагонакопления и влагозадержания. При обосновании типа стойки немаловажным является защита ее от поломок при встрече с препятствием. Поэтому при использовании агрегата на некаменистых почвах целесообразно использовать защиту в виде срезного болта, а на каменистых почвах – автоматическую защиту.

При проектировании стойки с защитой (рис. 16) надо учесть положение оси поворота стойки относительно носка долота или лапы. Центр оси крепления стойки по горизонтали должен быть вынесен вперед или находится на одном уровне с носком долота.

В противном случае (см. рис. 16), если носок долота вынесен вперед относительно оси крепления стойки, например, на расстояние  $L$ , то при наезде на препятствие и разрушении срезного

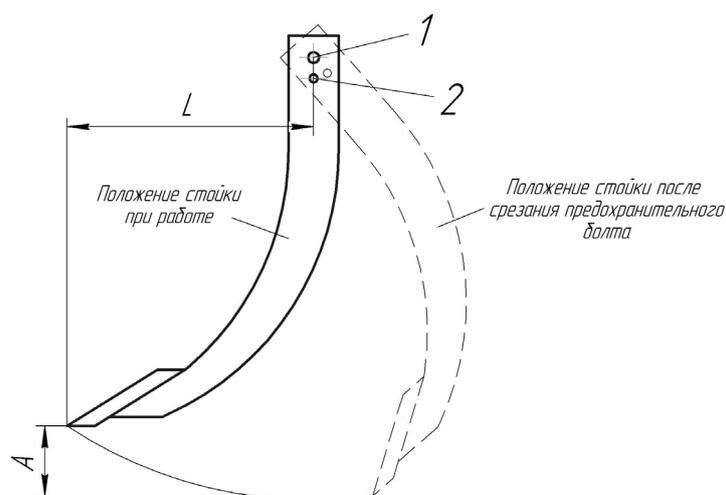


Рис. 16. Схема работы пассивного предохранительного устройства в виде срезного болта:  $A$  – глубина, ниже установленной глубины обработки;  $L$  – расстояние вынесения носка долота вперед относительно оси крепления стойки; 1 – ось поворота; 2 – срезной болт

болта стойка с долотом, поворачиваясь на оси, должна дополнительно заглубляться в почву ниже установленной глубины обработки на глубину А или приподнять весь агрегат. Такая нагрузка не исключает деформацию или излом стойки, долота и дополнительных режущих элементов.

По результатам анализа типов рыхлительных рабочих органов нами предложен усовершенствованный рабочий орган для послойной обработки почвы, который состоит из стойки, наральника (долота) и съемных боковых ножей (рис. 17). Стойка выполнена разнонаклонной к направлению движения, с тупым углом в верхней части и острым углом в нижней, а центр оси крепления стойки по горизонтали вынесен вперед или находится на одном уровне с носком наральника. Наряду с этим фронтальная поверхность верхней и нижней частей стойки имеет режущие кромки, а на ее боковых поверхностях установлены дополнительные съемные боковые ножи. При этом боковые ножи установлены с возможностью регулировки их угла наклона к горизонту и их расположения на стойке по вертикали.

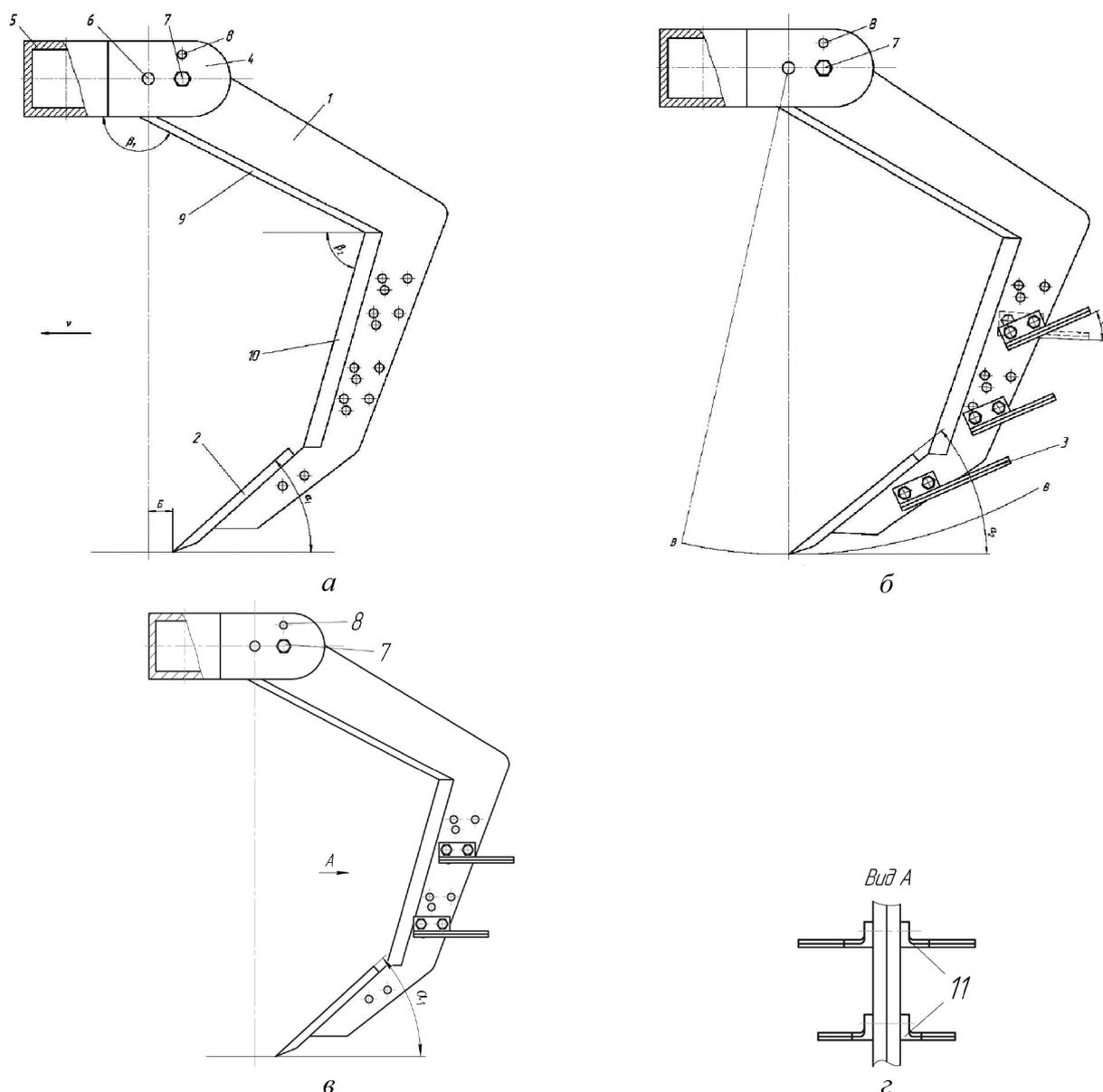


Рис. 17. Предлагаемый рабочий орган: а – при выполнении технологической операции – рыхление подпахотного слоя почвы, вид сбоку; б – рабочий орган при выполнении рыхления пахотного слоя, вид сбоку; в – рабочий орган при выполнении рыхления подпахотного и пахотного слоя, вид сбоку; 2 – вид А; 1 – стойка; 2 – наральник; 3, 11 – боковые ножи; 4 – кронштейн; 5 – рама; 6 – ось; 7 – срезной болт; 8 – отверстие; 9, 10 – режущие кромки

При использовании данного рабочего органа на некаменистых почвах его стойки должны крепиться в кронштейнах рамы при помощи осей и предохранительных разрушающихся элементов, выполненных преимущественно в виде срезных болтов. Кронштейны рамы должны состоять из двух пластин, между которыми должны быть расположены стойки. Каждая пластина должна иметь одно отверстие для оси и как минимум два отверстия под срезные болты для регулировки угла наклона наральника к горизонту.

Такое техническое решение позволит производить качественное раздельное или одновременное рыхление пахотного и подпахотного слоев почвы, что обеспечивает его широкие функциональные возможности, при этом будет обеспечена высокая надежность защиты рабочего органа во время преодоления препятствия на некаменистых почвах.

Рыхлительный рабочий орган состоит из стойки 1 (см. рис. 17), наральника 2 и съемных боковых ножей 3.

Рабочие органы закреплены в кронштейнах 4 рамы 5 агрегата при помощи осей 6 и предохранительных разрушающихся элементов, выпаленных преимущественно в виде срезных болтов 7. Кронштейны 4 рамы 5 состоят из двух пластин, между которыми расположены стойки. Каждая пластина имеет одно отверстие для оси 6 и как минимум два отверстия 8 под срезные болты 7 для регулировки углов наклона наральника 2 к горизонту  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ . Стойка 1 выполнена разнонаклонной к направлению движения  $v$ , с тупым углом  $\beta_1$  в верхней части и острым углом  $\beta_2$  в нижней, а центр оси 6 крепления рабочего органа по горизонтали вынесен вперед на расстояние Б (см. рис. 17, а) или находится на одном уровне (см. рис. 17, в) с носком наральника 2. Наряду с этим фронтальная поверхность верхней и нижней частей стойки 3 имеет режущие кромки 9 и 10, а на ее боковых поверхностях установлены дополнительные съемные боковые ножи 11, которые установлены с возможностью регулировки их угла наклона к горизонту  $\gamma$  и их расположения на стойке 1 по вертикали.

Рыхлительный рабочий орган работает следующим образом. При настройке глубокорыхлителя на рыхление подпахотного слоя (см. рис. 17, а) на стойку 1 устанавливается только наральник 2. Путем перестановки срезных болтов 7 в соответствующие отверстия 8 кронштейнов 4 рамы 1 устанавливается угол наклона наральника 2 к горизонту  $\alpha_1$ .

При движении глубокорыхлителя режущие кромки 9 и 10 стойки 1 разрезают вертикально пахотный и подпахотный слой почвы вместе с растительными остатками и корнями. При этом выполнение стойки 1 разнонаклонной к направлению движения  $v$ , с тупым углом  $\beta_1$  в верхней части и острым углом  $\beta_2$  в нижней, а также установка наральника 2 под углом  $\alpha_1$  (оптимальным для данной операции) позволяет увлекать в образованную стойкой 1 щель растительные остатки и корни, а следовательно, самоочищать стойку 1, что исключает ее забивание. Все это приводит к повышению качества крошения подпахотного слоя, а также исключается вынос нижних слоев почвы на поверхность, который неблагоприятно влияет на прорастание семян.

При настройке рабочего органа на одновременное рыхление подпахотного и пахотного слоя (см. рис. 17, б) на боковой поверхности нижней части стойки 1 устанавливаются дополнительные боковые ножи 11. Здесь при движении рабочего органа наряду с рыхлением подпахотного слоя происходит интенсивное рыхление с помощью боковых ножей 11 пахотного слоя. Требуемое качество рыхления данного слоя обеспечивается путем регулирования угла наклона боковых ножей 11 к горизонту  $\gamma$  и расположением их на стойке 1 по вертикали.

При настройке рабочего органа на рыхление пахотного слоя (см. рис. 17, в) на боковые поверхности стойки 1 устанавливаются боковые ножи 5 и 11. Требуемое качество рыхления почвы в данном случае обеспечивается путем установки требуемых углов наклона  $\alpha_2$  наральника 2 и углов наклона  $\gamma$  боковых ножей 11.

При наезде на препятствие и продолжении движения рабочего органа вперед происходит разрушение срезного болта 7. В это время носок наральника 2 стойки 1 пройдет по дуге В – В, следовательно, стойка 1 повернется на оси 6 без подъема всего глубокорыхлителя, что приводит к повышению надежности стойки 1 и установленных на ней боковых ножей 5 и 11.

## Заключение

Для почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склонах рыхлительные рабочие органы должны быть чизельного типа и состоять из жесткой стойки, наральника (долота) и съемных боковых ножей. Стойки должны быть выполнены разнонаклонными к направлению движения, с тупым углом в верхней части и острым углом в нижней. Центр оси крепления стойки по горизонтали должен быть вынесен вперед или находиться на одном уровне с носком наральника. Наряду с этим фронтальная поверхность верхней и нижней части стойки должна иметь режущие кромки, а на ее боковых поверхностях должны быть установлены дополнительные съемные боковые ножи с возможностью регулировки их угла наклона к горизонту и их расположения на стойке по вертикали.

## Список использованных источников

1. Рабочий орган для рыхления почвы : а. с. 1055358 СССР, МПК А01В 35/22, А01В 13/16 / В. А. Федоров, В. А. Джамаль ; Украинский научно-исследовательский институт защиты почв от эрозии, Донской зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства. – № 3483909/30-15 ; заявл. 11.08.1982 ; опубл. 23.11.83.
2. Глубокорыхлитель : а. с. 1496646 СССР, МПК А01В 13/08 / Л. Ф. Бабицкий, Н. В. Даценко, А. В. Бауков ; Крымский сельскохозяйственный институт имени М. И. Калинина. – № 4230587/30-15 ; заявл. 09.03.87 ; опубл. 30.07.89.
3. Почвообрабатывающее орудие : пат. 2107414 Российской Федерации, МПК А01В 13/08 / И. В. Пулин, В. В. Леонтьев, И. Б. Борисенко ; заявитель Нижне-Волжский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Опытное проектно-конструкторское технологическое бюро. – № 95120466/13 ; заявл. 05.12.1995 ; опубл. 27.09.1998.
4. Орудие для глубокой обработки почвы : пат. 2553252 Российской Федерации, МПК А01В 13/08 / В. И. Пындак, А. Е. Новиков, И. Б. Борисенко ; Волгоградский государственный аграрный университет. – № 2014106380/13 ; заявл. 20.02.2014 ; опубл. 10.06.2015.
5. Почвообрабатывающее орудие : пат. 2579231 Российской Федерации, МПК А01В 13/08, А01В 35/14 / И. Б. Борисенко, Ю. Н. Плескачев, М. Н. Шапров, М. А. Садовников, П. И. Борисенко ; заявитель Волгоградский государственный аграрный университет. – № 2015116239/13 ; заявл. 28.04.2015 ; опубл. 10.04.2016.
6. Устройство для противоэрозионной обработки почвы : пат. 2366140 Российской Федерации, МПК А01В 49/02 / В. И. Таранин, С. И. Камбулов ; заявитель Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – № 2008110761/12 ; заявл. 20.03.2008 ; опубл. 10.09.2009.
7. Глубокорыхлитель : пат. 116300 Российской Федерации, МПК А01В 13/00 / С. П. Стругов, Н. И. Педан, Е. Е. Горлаков ; заявитель БДТ-АГРО. – № 201135051/13 ; заявл. 22.08.2011 ; опубл. 27.05.2012.
8. Глубокорыхлитель : а. с. 1466668 СССР, МПК А01В 13/16 / А. К. Игамбердиев, А. С. Кушнарев ; Мелитопольский институт механизации сельского хозяйства. – № 4234728/30-15 ; заявл. 02.03.87 ; опубл. 23.03.89.
9. Глубокорыхлитель : пат. 2485741 Российской Федерации, МПК А01В 13/08 / В. М. Лабух ; заявитель Брянская государственная сельскохозяйственная академия. – № 2011110492/13 ; заявл. 18.03.2011 ; опубл. 27.09.2012.
10. Глубокорыхлитель : а. с. 1384225 СССР, МПК А01В 13/08 / Е. Н. Лиманский ; Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова. – № 4156411/30-15 ; заявл. 27.08.86 ; опубл. 30.03.88.
11. Почвообрабатывающее орудие : а. с. 1093269 СССР, МПК А01В 35/26, А01В 13/08 / В. А. Федоров, И. Н. Листопадов, В. Я. Лимапев, В. А. Джамаль, Ю. В. Майданников, И. М. Шапошников ; Донской зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Украинский научно-исследовательский институт защиты почв от эрозии. – № 3451978/30-15 ; заявл. 14.06.82 ; опубл. 23.05.84.
12. Рабочий орган для послонной безотвальной обработки почвы : пат. 139415 Российской Федерации, МПК А01В 35/20, А01В 35/26 / Г. Г. Пархоменко, И. В. Божко, А. В. Громаков, С. И. Камбулов, В. Б. Рыков ; заявитель Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук. – № 2013148673/13 ; заявл. 31.10.2013 ; опубл. 20.04.2014.

**Н. Д. Лепешкин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: mehposev@mail.ru*

**К ОБОСНОВАНИЮ ТИПА ДИСКОВОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА  
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА ДЛЯ ВЛАГОНАКОПЛЕНИЯ  
И ВЛАГОЗАДЕРЖАНИЯ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены различные конструктивные решения и технические возможности известных дисковых рабочих органов и обоснован тип дискового рабочего органа к почвообрабатывающему агрегату для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях.

*Ключевые слова:* склоновые земли, влагонакопление, влагозадержание, агрегат, дисковый рабочий орган.

**N. D. Lepeshkin**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: mehposev@mail.ru*

**TO JUSTIFICATION OF THE TYPE OF THE DISC WORKING BODY  
OF THE TILLAGE UNIT FOR WATER ACCUMULATION  
AND MOISTURE RETENTION ON SLOPE LANDS**

*Abstract.* The article discusses various design solutions and technical capabilities of the known disk working bodies and substantiates the type of disk working body to the tillage unit for moisture accumulation and moisture retention on sloping lands.

*Keywords:* slope lands, moisture accumulation, moisture retention, unit, disk working body.

**Введение**

Для технического обеспечения основной безотвальной обработки почвы в Республике Беларусь создан ряд высокоэффективных почвообрабатывающих агрегатов (дискаторы, чизельные и чизельно-дисковые агрегаты, глубокорыхлители), обеспечивающих такие приемы влагозадержания и влагонакопления, как мульчирование, чизелевание и глубокое рыхление почвы. Вместе с тем в республике в настоящее время отсутствует агрегат, способный за один проход производить влагосберегающую обработку почвы на склонах. Отличительной особенностью агрегата для основной обработки почвы на склонах является то, что с целью предотвращения стока талых и ливневых вод он должен одновременно с безотвальным рыхлением пахотного слоя (чизелевание) производить рыхление подпахотного слоя и формировать в верхней части пахотного слоя мульчирующий слой, состоящий из измельченных растительных остатков и почвы. Одним из рабочих органов, входящих в состав такого агрегата наряду с рыхлительными, выравнивающими и прикатывающими рабочими органами, является дисковый рабочий орган. В составе почвообрабатывающего агрегата дисковые рабочие органы, как правило, устанавливаются перед рыхлительными рабочими органами и обеспечивают предварительное рыхление верхнего слоя и измельчение (разрезание) растительных остатков. При этом после прохода дисковых рабочих органов большая часть измельченных растительных остатков должна находиться на поверхности поля и в верхней части пахотного слоя. Это позволит создать после прохода всех рабочих органов в верхней части пахотного слоя мульчирующий слой. Кроме этого, дисковые рабочие органы должны надежно обеспечивать технологический процесс и не быть энергоемкими.

Поскольку в последние годы создано значительное количество различных конструкций дисковых рабочих органов, отличающихся в основном типом применяемого в них диска, то для обоснования типа дискового рабочего органа к перспективному агрегату требуется оценка их достоинств и недостатков.

Цель работы – оценить конструктивные решения и технические возможности известных дисковых рабочих органов и обосновать тип дискового рабочего органа к почвообрабатывающему агрегату для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях.

### Основная часть

Основной отличительной особенностью применяемых в комбинированных агрегатах дисковых рабочих органов является тип диска. По этому признаку диски могут быть плоскими, сферическими, волнистыми, ножевидными и игольчатыми.

Достоинством плоских дисков (рис. 1) является то, что при работе почвообрабатывающих агрегатов, оснащенных такими дисками, обеспечивается высокая рабочая скорость. Причем не происходит сильного разбрасывания и распыления почвы. В процессе работы плоские диски хорошо заглубляются и обеспечивают подрезание растительных остатков [1].

Недостатками плоских дисков является то, что из-за плохого защемления растительных остатков лезвием происходит некачественное измельчение растительных остатков. Кроме того, происходит сгуживание перед диском растительных остатков и дальнейшее его выглубление из почвы [2]. Поэтому их более целесообразно применять для обработки почв, подверженных ветровой эрозии, а также в качестве различных ножей в плугах и корне-клубнеуборочных машинах или в сошниках сеялок.



Рис. 1. Плоский диск: а – вид сбоку; б – разрез диска

В отличие от плоских дисков, основными параметрами которых являются диаметр, толщина и угол заострения лезвия, сферические диски характеризуются еще таким параметром, как радиус сферической поверхности.

Наибольшее распространение в современных почвообрабатывающих агрегатах получили гладкие сферические диски со сплошным или вырезным лезвием и сферические диски с гофрированной поверхностью на глубину погружения в почву.

Гладкие сферические диски со сплошным лезвием (рис. 2) увеличенного диаметра (550–700 мм) применяются при обработке почвы на глубину до 14 см и наличии на ее поверхности крупностебельных пожнивных остатков, и наоборот, диски меньшего диаметра – при обработке почвы на глубину 4–6 см и наличии на поверхности почвы легких пожнивных остатков, например измельченной соломы.

Диски со сплошным лезвием наиболее полно перерезают пожнивные остатки, но при определенных условиях (повышенная влажность и глубина обработки) быстро забиваются почвой и растительными остатками из-за такого явления, как потеря оборотов или полная остановка дисков. Вырезные диски даже при относительно небольших диаметрах более надежно захватывают пожнивные остатки и перерезают их или перекатываются через них. Такие диски легче заглубляются в почву и практически постоянно находятся в зацеплении с плотным дном борозды,



Рис. 2. Сферический диск со сплошным лезвием: *a* – вид сбоку; *б* – разрез А–А

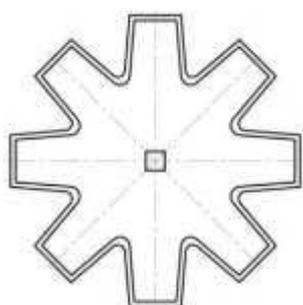


Рис. 3. Сферический диск с вырезами трапецидальной формы

что обеспечивает сохранность оборотов диска, а следовательно, исключает явление забивания междискового пространства почвой и растительными остатками. Форма и размеры вырезов дисков в зависимости от условий работы бывают разными. Диски с вырезами по периферии получили название «ромашка». Первые диски типа «ромашка» использовались на отечественных боронах батарейного типа БДТ-3, БДТ-7 и других и имели вырезы трапецидальной формы (рис. 3).

Впоследствии появились диски с вырезами полукруглой формы разных размеров (рис. 4).

Диски с вырезами радиусом 30–60 мм (см. рис. 4, *a*) предназначены как для перерезания растительных остатков, так и для обеспечения более надежного сцепления с почвой. Диски с вырезами радиусом до 30 мм (см. рис. 4, *б*) в основном предназначены для более надежного вращения диска.

В целях более надежного вращения диска в соответствии с поступательной скоростью агрегата и перерезания растительных остатков диски могут иметь ассиметричные вырезы, обеспечивающие резание со скольжением (рис. 5).

С целью более интенсивного измельчения пожнивных остатков, крошения почвы и их перемешивания некоторые зарубежные фирмы применяют сферические диски с гофрированной (рифленой) поверхностью на глубину погружения в почву (рис. 6). Диски такого типа выпускают немецкие фирмы Kuhn, Krause и др.

Наряду со сферическими дисками интерес представляют диски конической формы (рис. 7). У конических дисков всегда сохраняется рабочий угол (угол наклона к горизонтали касательной к поверхности диска) при износе.



Рис. 4. Сферический диск с вырезами полукруглой формы размерами 30–60 мм (*a*) и до 30 мм (*б*)

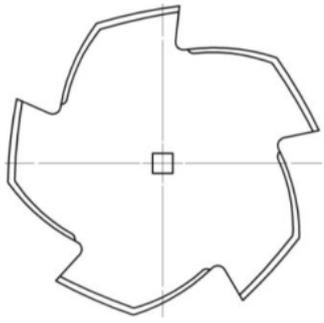


Рис. 5. Диск с ассиметричными вырезами «Флео-Флео» фирмы Quivogne (Австрия)

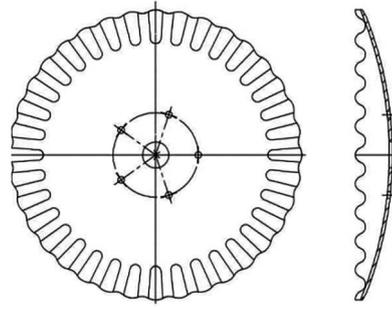


Рис. 6. Сферический диск с рифленой поверхностью

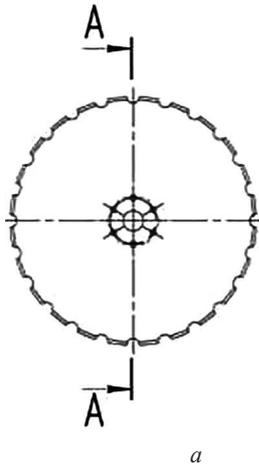


Рис. 7. Диск конической формы: а – вид сбоку; б – разрез А-А

Такие диски легко заглубляются в почву, но плохо крошат почву по мере увеличения глубины ее обработки. Поэтому конические диски в сочетании с другими рабочими органами с повышенными крошащими свойствами дают хорошие результаты.

Конические диски широко применяются в комбинированных агрегатах фирм Vaderstad (Швеция), Kverneland (Германия) и др.

Несмотря на большое количество уже имеющихся в производстве различных типов сферических дисков работы по их совершенствованию в плане повышения степени крошения и перемешивания почвы и растительных остатков ведутся постоянно.

Рассмотрим некоторые наиболее интересные конструктивные схемы сферических дисков, предлагаемые исследователями.

Предложена конструкция (рис. 8) сферического диска для основной и предпосевной обработки почвы, которая позволяет повысить качественные показатели обработки почвы при различных сочетаниях ее физико-механических свойств [3].

Диск состоит из сферы 1, на которой выполнены крепежные отверстия 2, и режущей части 3, которая представляет собой периодически повторяющуюся волну с уменьшающейся амплитудой к центру диска и переходом в сферу. Выполнив режущую часть в виде волны, при круговом движении текущий угол атаки

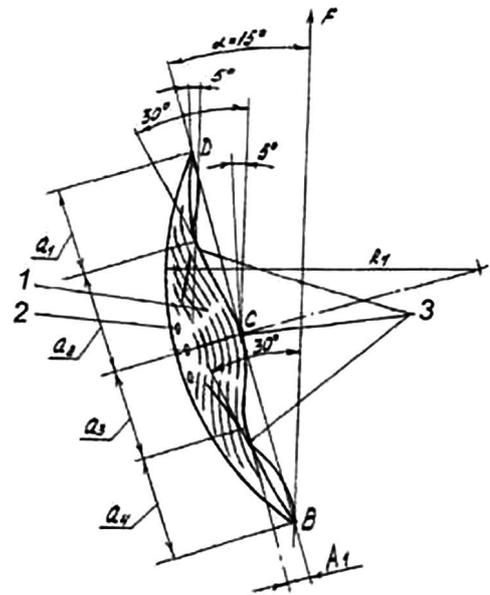


Рис. 8. Схема сферического диска: 1 – сфера; 2 – крепежные отверстия; 3 – режущая часть

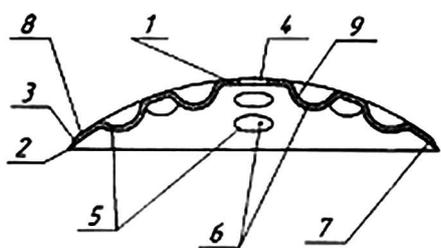


Рис. 9. Схема рабочего органа борона: 1 – сферическая часть; 2 – режущая кромка; 3 – заточка; 4 – крепежные отверстия; 5 – сферические местные деформации; 6 – выпуклые вершины; 7 – вогнутая часть; 8 – выпуклая часть; 9 – вогнутость

полнены сферические местные деформации 5 с выпуклыми вершинами 6 на вогнутой части 7 и вогнутости 9 на выпуклой части 8.

Во время обработки почвы рабочим органом борона пласт почвы, отрезанный лезвием, будет перемещаться по его рабочей поверхности, встречая сферические выпуклости, в результате чего суммарные напряжения в пласте будут интенсивно изменять свою величину как по абсолютному значению, так по направлению линий действия приложенных сил, что приведет к изменению траектории его движения. За счет выполнения на рабочей поверхности множества таких сферических выпуклостей и физико-механических свойств почвы, будет возникать эффект Баушингера, способствующий более интенсивному крошению пласта.

Недостатками предложенной конструкции являются сгуживание почвы при малых углах наклона диска к вертикали и низкой частоте вращения рабочего органа, а также в случае работы по пересушенной почве и его залипанию при работе с почвой повышенной влажности.

Предложен ряд технических приспособлений к дисковому почвообрабатывающему орудью, предназначенных для повышения качества обработки почвы и снижения энергоемкости [5–7]. Приспособление включает в себя диск 4 (рис. 10), установленный с возможностью вращения и имеющий углы атаки и установки к вертикали, на стойке 3. На самой стойке 3 через регулировочный механизм 2 установлен подпружиненный щиток 1, выполненный со свойствами брахистохронной кривой, т. е. кривой скорейшего спуска, гарантированной величины зазора между диском и щитком и установки его в соответствии с углами трения почвы по материалу поверхности [7].

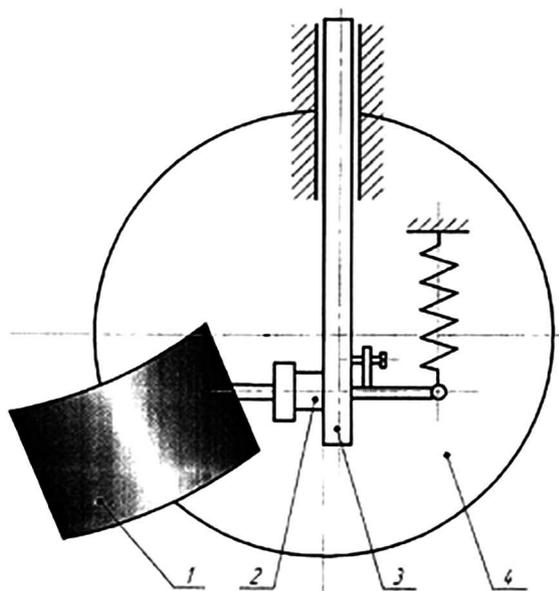


Рис. 10. Схема приспособления: 1 – подпружиненный щиток; 2 – регулировочный механизм; 3 – стойка; 4 – диск

изменяется в пределах диапазона ее амплитуды, что приводит к изменению степени воздействия его на почву и траектории движения пласта.

Недостатками предложенной конструкции являются увеличение заднего угла резания при увеличении угла наклона диска к вертикали и несогласованность текущего угла атаки и текущих физико-механических параметров почвы.

Предложен рабочий орган дисковой борона, позволяющий при работе в режиме основной и предпосевной обработки почвы повысить степень ее крошения и перемешивания за счет выполнения на его поверхности местных сферических деформаций [4]. Рабочий орган состоит (рис. 9) из сферической части 1 с крепежными отверстиями 4 и режущей кромкой 2 с заточкой 3. На рабочей поверхности выполнены сферические местные деформации 5 с выпуклыми вершинами 6 на вогнутой части 7 и вогнутости 9 на выпуклой части 8.

Предложенные технические решения позволяют в процессе движения почвы по рабочей поверхности диска изменить ее траекторию за счет ориентации силы опорной реакции щитка на почву по направлению суммарных напряжений изгиба пласта и сил инерции, что приводит к ее крошению и обороту.

Существенными недостатками указанных технических решений являются плохое крошение пласта при работе в экстремальных почвенных условиях и высокая энергоемкость.

Предложен диск для пахоты, позволяющий повысить степень крошения пласта и улучшение его оборота и снижения отброса почвы из зоны почвообработки [8]. Диск для пахоты 2 выполнен из внутренней части (рис. 11) с отверстием 1 для

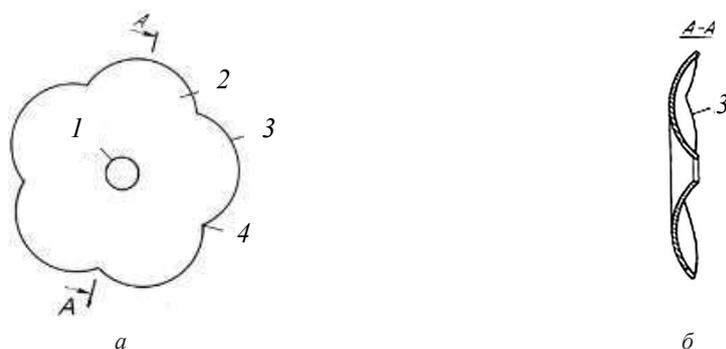


Рис. 11. Схема диска для пахоты: а – вид спереди; б – разрез А-А;  
1 – отверстие; 2 – диск; 3 – лопасть; 4 – тупой угол

его установки на ось или ступицу и рабочей части, сечение которой выполнено по поверхности тора. Рабочая часть имеет лопасти 3, которые имеют вогнутую форму и соединяются между собой по тупым углам 4.

При работе указанного диска для пахоты пласт почвы перемещается по круговой траектории вдоль его внутренней поверхности, крошится за счет его более интенсивного изгиба, перемещивается и укладывается на поверхность почвы. Недостатком указанного диска для пахоты является плохое крошение пересушенной или влажной почвы.

Предложены сферические диски почвообрабатывающего орудия, позволяющие при работе повысить степень крошения почвы и пожнивных остатков, а также снизить тяговое сопротивление орудия [9, 10]. Сферический диск состоит из сферической части 1 (рис. 12) с режущей кромкой 2, в центре которой выполнены центрирующие 3 и крепежные 4 отверстия, при этом на внутренней поверхности сферы выполнены вырезы 5, между которыми образуются спицы 6 [9].

При работе предлагаемого сферического диска на почву при ее перемещении по внутренней части сферы 1 за счет выполнения на ней вырезов 5 создается большее удельное давление, что приводит к самоотчистке диска, а попавшие в вырезы 5 пожнивные остатки и почва дополнительно крошатся и сепарируются. Таким образом, технически результат достигается за счет повышения удельного давления или уменьшения площади опоры почвы при ее перемещении вдоль поверхности рабочего органа. Недостатком указанного сферического диска является плохое крошение пласта при работе по пересушенной почве.

Предложена конструктивно-технологическая схема сферического диска почвообрабатывающего орудия для основной и предпосевной обработки почвы, позволяющая повысить степень крошения почвы и измельчение стерни [11]. Сферический диск состоит (рис. 13) из четного количества зубьев 1 и 3 и вырезов 2, установочного 4 и крепежных 5 отверстий, при этом, чередуясь через один, зубья 1 и 3 отогнуты в сторону вогнутости и выпуклости сферы диска.

В процессе работы сферического диска, врезаясь в почву, зубья, отогнутые в сторону выпуклости сферы, отрезают от монолита отдельные почвенные агрегаты, а зубья, отогнутые в противоположную сторону, дополнительно их крошат и измельчают, а также подрезают и измельчают пожнивные остатки и стерню.

Далее почва перемещается по внутренней поверхности сферического диска, дополнительно крошится и частично оборачивается. Таким образом, предлагаемый сферический диск позволяет повысить степень крошения почвы за счет повышения интенсивности воздействия на нее или, другими словами, повышения интенсивности ее резания.

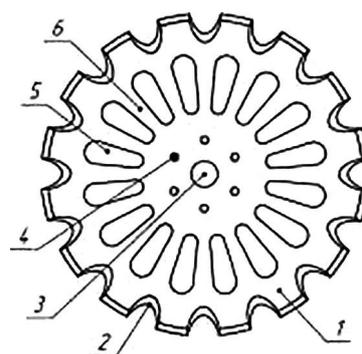


Рис. 12. Схема сферического диска почвообрабатывающего орудия:  
1 – сфера; 2 – вырезы;  
3 – центрирующее отверстие;  
4 – крепежное отверстие;  
5 – вырез; 6 – спица

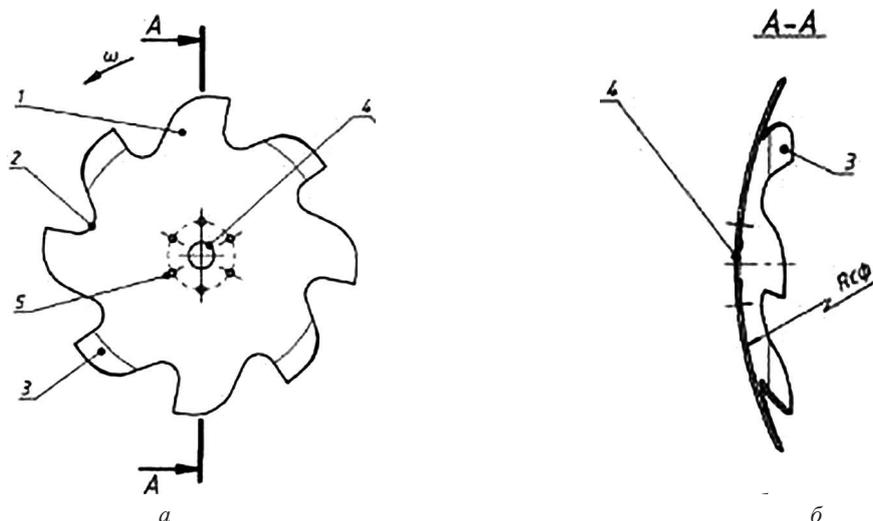


Рис. 13. Схема сферического диска почвообрабатывающего орудия: а – вид сбоку; б – разрез А-А; 1, 3 – зубья; 2 – вырез; 4 – установочное отверстие; 5 – крепежное отверстие

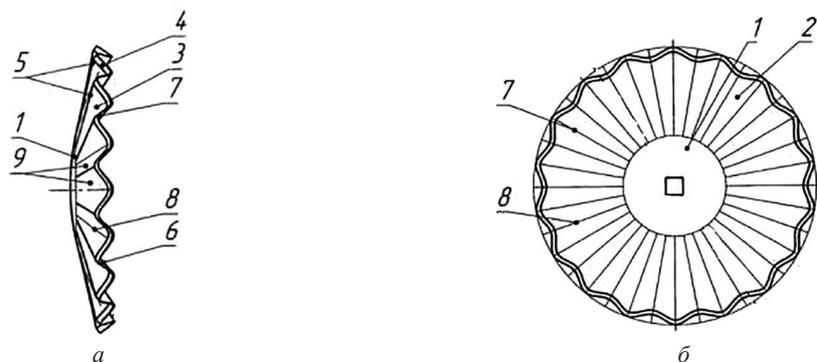


Рис. 14. Схема почвообрабатывающего диска: а – вид спереди; б – вид сбоку; 1 – сферическая центральная часть; 2 – наружное кольцо; 3 – гофра; 4 – лезвие диска; 5, 6 – линия гребней; 7, 8 – линия впадины; 9 – боковая поверхность гофры

Предложен почвообрабатывающий волнистый диск (рис. 14), предназначенный для поверхностной обработки почвы, позволяющий снизить залипание его рабочей поверхности, повысить степень крошения почвы и пожнивных остатков [12].

Почвообрабатывающий волнистый диск состоит из центральной сферической части 1 с отверстиями для установки и крепления рабочего органа и наружного кольца 2 с гофрами 3 и лезвием 4. При этом высота гофр возрастает от центра диска к краям и линии гофр 5 на выпуклой части диска выполнены касательной к сферической части, а линии гофр 6 на вогнутой части – в виде дуг радиуса кривизны, совпадающим с радиусом кривизны центральной сферической части. В процессе работы почвообрабатывающего диска, за счет выполнения его режущей части гофрированной, почва и растительные остатки защемляются лезвием диска, что повышает качество измельчения, а боковые поверхности гофр способствуют интенсификации процесса крошения почвы за счет повышения интенсивности ее резания. Недостатком указанного диска является плохое крошение переувлажненной и пересохшей почвы, а также высокая энергоемкость вследствие большой опорной поверхности режущей кромки.

Известен рабочий орган дискового лушителя, предназначенный для поверхностной обработки почвы с повышенной степенью крошения почвы с образованием мульчирующего слоя [13]. Рабочий орган (рис. 15) состоит из сферических дисков 2, установленных на общей оси 1, попарно соединенных между собой ножами 4 с режущей кромкой 5, выполненной по логарифмической спирали, и с вершиной ножа 6, при этом крепление и регулировка резания осуществляются при помощи отверстий 8.

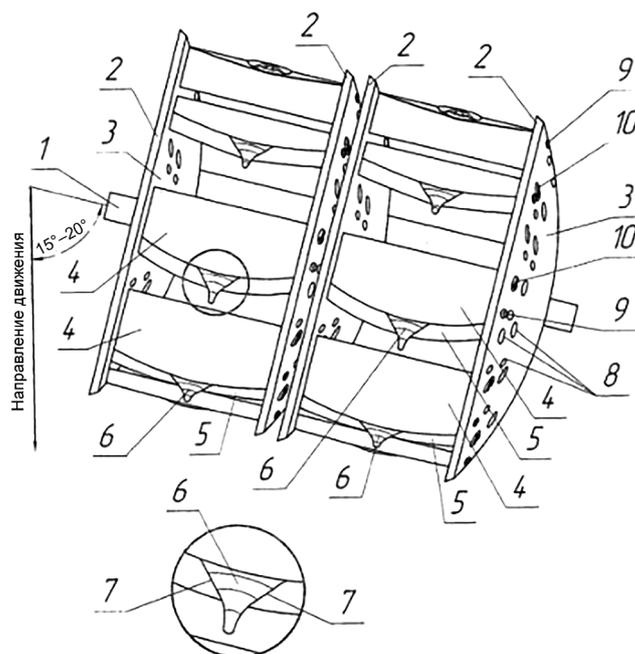


Рис. 15. Схема рабочего органа дискового лушителя: 1 – ось; 2 – сферический диск; 3 – наружная окружность; 4 – нож; 5 – режущая кромка; 6 – вершина ножа; 7 – боковая поверхность ножа; 8 – установочное отверстие; 9 – стопорный палец; 10 – болтовое соединение

В процессе движения рабочего органа вершины ножей *б*, вращаясь, внедряются в почву и способствуют вращению сферических дисков. Сферические диски *2* вместе с ножами *4*, вращаясь, отделяют пласт почвы от монолита и производят его предварительное крошение. Затем они производят перемещение пласта по внутренней поверхности сферических дисков с частичным оборотом и перемешиванием. Интенсификация процесса крошения почвы обусловлена интенсивностью ее резания дополнительными ножами. Существенными недостатками предлагаемого рабочего органа являются плохое крошение пласта при обработке пересохшей или переувлажненной почвы, высокая энергоемкость процесса ввиду большого заднего угла резания и возможность забивания.

В завершение анализа сферических дисков можно отметить, что, несмотря на их широкое распространение в производстве и попытку их совершенствования, они не могут быть рекомендованы для использования в составе почвообрабатывающего агрегата для основной обработки склоновых земель по следующим причинам. Так, по причине наличия на лезвиях дисков больших сопротивлений не представляется возможным достигнуть заданной глубины обработки почвы, особенно на тяжелых и сухих почвах. Кроме того, на полях, засоренных корневищными сорняками, дисковые рабочие органы не уменьшают, а, наоборот, увеличивают засоренность. К отрицательным показателям дисков следует отнести и то, что значительная часть стерни засыпается почвой. Наряду с этим агрегаты, оснащенные сферическими дисками, не могут работать на высоких скоростях. Повышение скорости ведет к чрезмерному разбрасыванию почвы и увеличению тягового сопротивления, а также происходит их выглубление из почвы.

Известны ножевидные диски фирм Great Plains (США) (рис. 16), JAT (Германия), Vederstad (Швеция).



Рис. 16. Ножевидный диск фирмы Great Plains (США)



Рис. 17. Игольчатый диск

Конструктивно они представляют собой диск, по периметру которого установлены лопатки с закрепленными ножами. Достоинство таких дисков – высокая рабочая скорость. Например, для агрегата *HektorGigant* фирмы JAT (Германия) скорость составляет до 25 км/ч. Кроме того, они обеспечивают качественное измельчение растительных остатков высокостебельных культур. Недостатком таких дисков является то, что они не обеспечивают хорошую работу на тяжелых и влажных почвах.

Игольчатые диски (рис. 17), в отличие от сферических дисков, где рыхление почвы происходит путем отделения пласта (стружки) резанием и отбрасывания его за счет наличия у дисков сферы при поступательном движении, производят рыхление почвы путем погружения игл в почву и разрушения ее в местах наименьших внутренних связей без оборота пласта.

Так как рыхление почвы происходит по линии наименьших связей без оборота пласта, то агротехнические показатели работы агрегатов с игольчатыми дисками возрастают с увеличением поступательной скорости агрегата. Благодаря этому игольчатые диски обеспечивают качественную работу при высоких скоростях. Кроме того, при работе игольчатых дисков на поверхности поля остается до 70 % стерни.

Известны рабочие органы в виде волнистого диска (рис. 18), которые получили широкое распространение на агрегатах фирм *Great Plains* (США), *Salford* (Канада), *SMS* (Чехия) и других, а также на агрегате АПМ-6А фирмы «Бобруйксельмаш». Отличительной особенностью игольчатых и волнистых дисков является то, что они производят обработку почвы без образования ее уплотненного слоя [14]. Волнистый диск представляет собой искривленный плоский диск. Искривление его идет от центра к наружному диаметру и образует на последнем так называемую волну, которая имеет различную форму и размеры. Из волнистых дисков наибольший интерес представляет диск (см. рис. 18), у которого искривление волны идет не от центра диска, а на некотором расстоянии по радиусу и под углом к нему, – так называемый турбодиск.

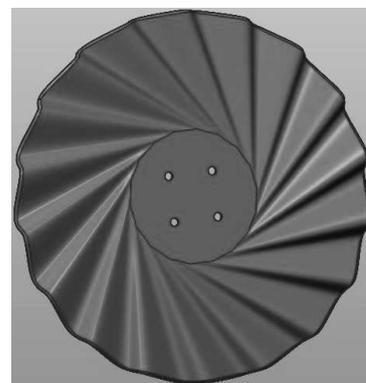


Рис. 18. Турбодиск

Такая особенность позволяет заглубиться волне диска в почву вертикально, а выглубиться горизонтально. Это обеспечивает наилучшие результаты измельчения растительных остатков, сосредоточенных в валках и в небольших скоплениях на поле. Это является немаловажным фактором, так как после прохода уборочной машины на поле остается много небольших скоплений растительных остатков. Волнистые диски хорошо заглубляются в почву (до 15 см), а значит, измельчают корневую систему. Почвообрабатывающие агрегаты, оснащенные волнистыми дисками, имеют высокую рабочую скорость (агрегаты *RTS* фирмы *Salford* работают на скорости до 19 км/ч).

С учетом достоинств и недостатков различных типов дисковых рабочих органов при комплектовании почвообрабатывающего агрегата для основной безотвальной обработки почв склоновых земель целесообразно использовать волнистые диски.

### Заключение

Для типичных почвенных условий работы почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склонах входящие в его состав дисковые рабочие органы должны включать волнистые диски, т. е. быть волнистого типа. При этом искривление волны должно происходить не от центра диска, а на некотором расстоянии по радиусу и под углом к нему.

## Список использованных источников

1. Обоснование параметров рабочих органов и конструктивной схемы почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях : отчет о НИР (промежуточный, этап 01.1) / РУП «НППЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» ; рук. темы Н. Д. Лепешкин. – Минск, 2021. – 73 с. – № НИОКТР 20211100.
2. Кобяков, И. Д. Механико-технологические основы работы шестиугольных дисковых рабочих органов почвообрабатывающих орудий : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / И. Д. Кобяков. – Новосибирск, 2012 – 39 с.
3. Способ почвообработки и устройство для его осуществления : пат. 2375855 Российской Федерации, МПК А01В 7/00, А01В 15/16, А01В 23/06 / В. А. Ежов, К. А. Сохт, А. К. Кириченко ; заявитель Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени П. П. Лукьяненко. – № 2008108115/12 ; заявл. 03.03.2008 ; опубл. 20.12.2009.
4. Рабочий орган бороны : пат. 185832 Российской Федерации, МПК А01В 23/06 / М. В. Ивашнев [и др.] ; заявитель Петрозаводский государственный университет. – № 2018126298 ; заявл. 16.07.2018 ; опубл. 19.12.2018.
5. Приспособление к дисковому почвообрабатывающему орудью : пат. 2335869 Российской Федерации, МПК А01В 15/16, А01В 5/00, А01В 7/00 / В. Н. Ожерельев, В. В. Никитин ; заявители В. Н. Ожерельев, В. В. Никитин. – № 2007111225/12 ; заявл. 27.03.2007 ; опубл. 20.10.2008.
6. Приспособление к дисковому почвообрабатывающему орудью : пат. 2344586 Российской Федерации, МПК А01В 5/00, А01В 7/00 / В. Н. Ожерельев, В. В. Никитин ; заявители В. Н. Ожерельев, В. В. Никитин. – № 2007135700/12 ; заявл. 26.09.2007 ; опубл. 27.01.2009.
7. Приспособление к дисковому почвообрабатывающему орудью : пат. 186224 Российской Федерации, МПК А01В 15/00, А01В 5/00 / В. Н. Блохин [и др.] ; заявитель Брянский государственный аграрный университет. – № 2018116484 ; заявл. 03.05.2018 ; опубл. 11.01.2019.
8. Диск для пахоты и дисковый плуг : пат. 2046578 Российской Федерации, МПК А01В 15/16, А01В 5/00 / Жан-Шарль Жавеляк ; заявитель Жавеляк Жан-Шарль. – № 5010089/15 ; заявл. 02.05.1990 ; опубл. 27.10.1995.
9. Диск сферический почвообрабатывающего орудия : пат. 78621 Российской Федерации, МПК А01В 7/00 / заявитель Сельмашкомплект. – № 2008121578/22 ; заявл. 28.05.2008 ; опубл. 10.12.2008.
10. Диск сферический почвообрабатывающего орудия : пат. 2381639 Российской Федерации, МПК А01В 15/16, А01В 23/06 / К. А. Сохт, А. К. Кириченко, В. А. Ежов ; заявитель Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени П. П. Лукьяненко. – № 2008127679/12 ; заявл. 07.07.2008 ; опубл. 07.07.2008.
11. Диск сферический почвообрабатывающего орудия : пат. 86375 Российской Федерации, МПК А01В 7/00, А01В 23/06 / К. А. Сохт, А. К. Кириченко, В. А. Ежов, Г. Н. Гречкина, О. И. Горюнова ; заявитель Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени П. П. Лукьяненко. – № 2009111909/12 ; заявл. 31.03.2009 ; опубл. 10.09.2009.
12. Диск почвообрабатывающий : пат. 2622916 Российской Федерации, МПК А01В 23/06, А01В 15/16 / А. Ф. Жук, Г. С. Юнусов, В. А. Игумнов, С. А. Шишиморов ; заявитель Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. – № 2016146294 ; заявл. 25.11.2016 ; опубл. 21.06.2017.
13. Рабочий орган дискового луцильника : пат. 176202 Российской Федерации, МПК А01В 21/07 / Л. Ф. Бабицкий, И. В. Соболевский ; заявитель Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского. – № 2017109747 ; заявл. 23.03.2017 ; опубл. 12.01.2018.
14. Лепешкин, Н. Д. Об использовании машин для вертикальной обработки почвы в условиях Республики Беларусь / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, Д. В. Заяц // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2013. – Вып. 47. – С. 37–43.

**Н. Д. Лепешкин<sup>1</sup>, В. П. Чеботарев<sup>2</sup>, А. В. Горный<sup>2</sup>, Д. А. Яновский<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: mehposev@mail.ru*

*<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: aleksandr.gorny@gmail.com*

## **НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПЛУЖНЫХ КОРПУСОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

*Аннотация.* В статье обоснованы типы корпусов плуга для условий Республики Беларусь и дан анализ направлений совершенствования их лемешно-отвальной поверхности.

*Ключевые слова:* вспашка, корпус плуга, лемешно-отвальная поверхность, полосовой отвал.

**H. D. Lepeshkin<sup>1</sup>, V. P. Chebotarev<sup>2</sup>, A. V. Gorny<sup>2</sup>, D. A. Yanovsky<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: mehposev@mail.ru*

*<sup>2</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: aleksandr.gorny@gmail.com*

## **DIRECTIONS FOR IMPROVING PLOW BODIES FOR CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

*Abstract.* The article substantiates the types of plow hulls for the conditions of the Republic of Belarus and analyzes the directions for improving their ploughshare surface.

*Keywords:* plowing, plow body, ploughshare surface, strip blade.

### **Введение**

Основная обработка почвы оказывает решающее значение на проведение и эффективность дальнейших операций по ее обработке, необходимых для придания ей состояния готовности к севу и посадке сельскохозяйственных культур. Несмотря на достигнутые успехи в разработке почвообрабатывающих орудий, вспашка как один из способов основной обработки по-прежнему будет играть основную роль в обработке почвы. В соответствии с исследованиями РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию» в Беларуси вспашка должна занимать 50 % и чередоваться в севообороте по годам с чизелеванием, которое также будет занимать 50 % [1].

В Республике Беларусь в послеперестроечный период проделана большая работа по созданию отечественных плугов. На ведущих предприятиях (ОАО «Минский завод шестерен», ОАО «Минойтовский ремонтный завод», ОАО «Калинковичский ремонтно-механический завод», ОАО «Оршаагропромаш») освоено производство плугов нового поколения, которое, как показывают сравнительные испытания, по основным эксплуатационным и энергетическим показателям приближается к лучшим зарубежным аналогам [2]. Однако, несмотря на все достоинства, выпускаемые в настоящее время плуги еще не отвечают в полной мере требованиям вспашки для условий Республики Беларусь.

Качество и энергоемкость процесса вспашки главным образом зависит от формы лемешно-отвальной поверхности корпусов плуга, которые должны отвечать условиям их эксплуатации. Вместе с тем номенклатура корпусов к выпускаемым в республике плугам ограничена. В резуль-

тате не обеспечивается требуемое качество вспашки в различных производственно-климатических условиях, например: на сухих и влажных минеральных и торфяных почвах, на склоновых землях. В связи с этим для обоснования типов корпусов плуга, адаптированных к почвенно-климатическим, технологическим и производственным условиям Республики Беларусь, необходимо выполнить анализ тенденций совершенствования отвально-лемешных поверхностей корпусов плуга.

### Основная часть

Для снижения энергоемкости и повышения качества вспашки в мировой практике плугостроения накопился большой ряд технических решений по совершенствованию отвально-лемешных поверхностей корпусов плуга, направленных на оптимизацию их геометрических параметров, расширение номенклатуры выпускаемых корпусов, снижение тягового сопротивления, расширение последней борозды.

Оптимизация геометрических параметров в зависимости от скорости и почвенных условий может быть проведена двумя путями: созданием плужного корпуса с регулируемыми параметрами и разработкой сменных корпусов с постоянными параметрами. Однако конструкторы в настоящее время отдают предпочтение второму направлению. Первое направление имеет тот недостаток, что изменение параметров лемешно-отвальной поверхности путем регулировок в одних случаях ведет к ухудшению оборота пласта и крошения, в других случаях – к увеличению тягового сопротивления. Поэтому наиболее перспективно создание конструкции плужного корпуса с постоянными параметрами лемешно-отвальной поверхности для работы в широком диапазоне почвенных условий. Однако это сложная задача, и пока ее практическое решение не найдено.

Анализ производства плугов ведущих зарубежных фирм показывает, что для повышения качества вспашки в различных условиях эксплуатации каждая из них выпускает большой (5–10 и более) типоразмерный ряд сменных корпусов. Номенклатура корпусов ведущих фирм включает корпуса с различной формой лемешно-отвальной поверхности (цилиндрической, культурной, полувинтовой, винтовой, ромбовидной) и конструкцией отвала (цельного, составного, полосового).

Основными функциями вспашки являются: полная заделка растительных остатков, крошение пласта и выровненность пахоты. Однако ни один известный тип корпуса в отдельности не удовлетворяет этим требованиям. Корпус с цилиндрическим отвалом лучше других обеспечивает крошение почвы, но хуже оборачивает пласт и заделывает растительные остатки. Винтовой отвал наоборот – лучше других оборачивает пласт, но хуже крошит. В связи с этим создатели плугов искали компромисс в полувинтовом отвале с углоснимом или в культурном – с предплужником.

Однако в последние годы в мировом плугостроении, когда появились энергонасыщенные трактора, обеспечивающие более высокие скорости вспашки, разработаны специальные приспособления к плугам для дополнительной обработки пласта. Кроме того, изменилось и отношение к различным типам корпусов. Для работы на наиболее распространенных фонах на первое место выдвинут корпус с винтовой отвально-лемешной поверхностью. Это объясняется рядом его преимуществ перед остальными. Корпуса с винтовой рабочей поверхностью лучше других выполняют основную функцию плуга – заделку растительных остатков, которая объясняется более высокой степенью оборачиваемости пласта. Положительным является и то, что корпуса с винтовым отвалом способны работать в широком диапазоне скоростей без существенного ухудшения оборота пласта. Что касается крошения пласта, то с появлением эффективных приставок к плугам для дополнительной разделки пласта эта функция корпуса стала менее значимой. Таким образом, освоенный и применяемый в республике корпус по типу корпуса № 9 фирмы Kverneland (Германия) с винтовым отвалом является самым типичным и основным корпусом, которым оснащаются плуги ведущих фирм Европы. Для улучшения качества крошения, например, фирма Kuhn (Германия) предлагает корпуса для вспашки на глубину от 15 до 30 см с винтообразным цилиндрическим отвалом. Такие корпуса имеют цилиндрическую форму передней и винто-

образную форму задней части отвала, что обеспечивает наряду с хорошей заделкой растительных остатков и частичное крошение почвы.

Одной из тенденций совершенствования корпуса плуга при вспашке тракторами с широкими колесами является расширение последней борозды. С этой целью фирма Kverneland предлагает отвал № 28, который перемещает почву дальше от полевой доски, а следовательно, увеличивает ширину дна борозды. При этом ширина дна борозды по сравнению с отвалом № 9 увеличивается на 25 %, что позволяет использовать трактора с шириной шин до 710 мм и работать в борозде без уплотнения предыдущей борозды. Данный отвал предназначен для работы на глубину от 15 до 30 см. По сравнению с отвалом № 9 он более длинный, а поэтому создает более плоский профиль, обеспечивающий более качественную последующую обработку почвы, а также хорошо оборачивает и уплотняет почву (рис. 1).

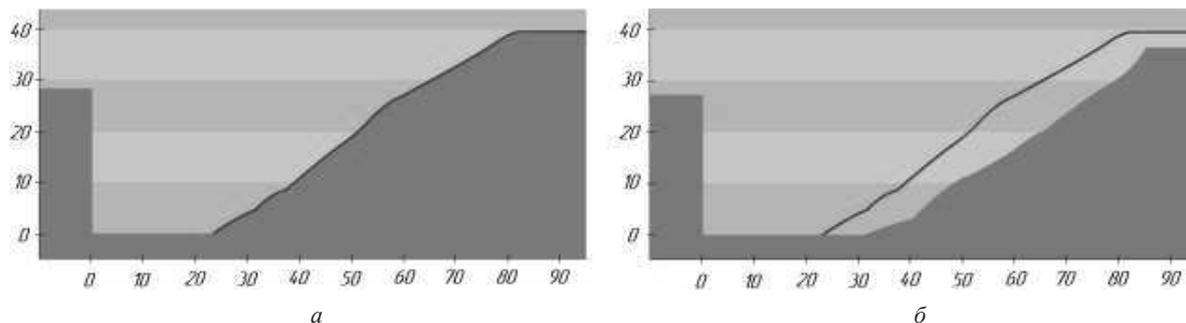


Рис. 1. Профиль борозды, образованный отвалом: а – № 9; б – № 28

Уменьшить степень уплотнения отваливаемого пласта колесами трактора позволяют и ромбовидные отвалы. Ромбовидные отвалы близки к цилиндрическим отвалам, хотя в последнее время, например, фирма Kuhn, выпускает и винтообразные ромбические корпуса. В отличие от обычных ромбические корпуса имеют выпуклый криволинейный полевой обрез, что увеличивает на 60 % поперечное сечение открытой борозды (рис. 2).

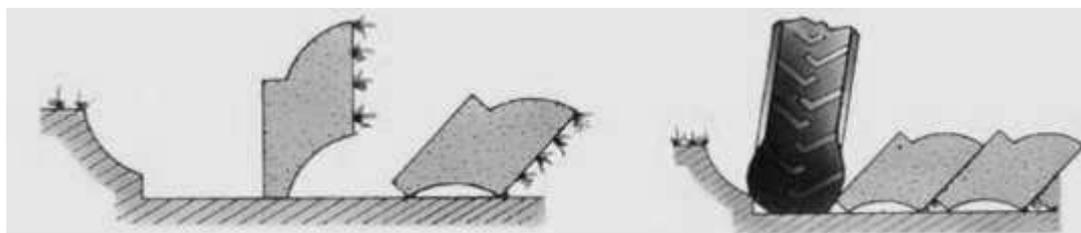


Рис. 2. Профиль борозды при вспашке ромбовидными корпусами

Тяговое сопротивление плуга может быть снижено, по данным фирмы Kuhn, до 20 %. Кроме этого, ромбическая форма пласта обеспечивает его оборот при более коротких отвалах корпусов и с меньшим расстоянием между ними (75 см по сравнению со 105 см у традиционных корпусов), что очень важно для оборотных плугов, так как их удельная металлоемкость почти вдвое больше, чем у обычных. Однако главным преимуществом данного типа корпуса, как показала практика его использования, является более устойчивая работа пахотного агрегата на склонах. В республике более 50 % пашни расположено на склоновых землях, значительная часть которых имеет крутизну 5°–15°. Поскольку при вспашке таких почв наблюдается неустойчивость пахотного агрегата, некачественный оборот пласта, плохая заделка растительных остатков и невыровненность поверхности, а также механическая эрозия от перемещения пласта вниз по склону, то с учетом вышеназванных достоинств ромбовидного корпуса плуга целесообразно освоить его производство.

Несмотря на то что в настоящее время на новых плугах уже внедрен целый ряд новых технических решений, направленных на повышение качества и снижения ресурсопотребления плуж-

ных корпусов, исследования по их совершенствованию ведутся постоянно. Рассмотрим некоторые наиболее интересные технические решения, улучшающие конструкцию отвалов.

Так, в соответствии с патентом [3], для повышения качества крошения, оборота пласта и снижения энергозатрат сплошных отвалов предлагается использовать отвал в виде чередующих полос металла и антифрикционного материала, а в соответствии с патентом [4] с этой целью предлагается установить на лицевой стороне поверхности отвала в зоне стыка лемеха с отвалом режущие инструменты флюгерного типа. Согласно патенту [5], улучшить рыхление пласта можно путем установки на поверхности отвала пластинчатых ножей, имеющих форму клина, с вершиной, обращенной в сторону лемеха, а согласно патенту [6], – путем выполнения отвала с прорезями, в которых установлены цельноконические ротационные элементы, прикрепленные к отвалам подшипниковыми узлами. Кроме этого, интерес представляют и конструкции, где для повышения качества рыхления устанавливаются укороченные отвалы и дополнительные рабочие органы в виде диска с рыхлительными элементами [7, 8] или отвалы, состоящие из щитка и свободно вращающегося диска, установленного за щитком [9].

Наряду с рассмотренными конструкциями корпусов плуга, где используются в основном цельные или составные отвалы, большой интерес, особенно для обработки тяжелых почв, представляют полосовые (пластинчатые) отвалы, в конструкции которых также можно проследить ряд новых тенденций, связанных с улучшением качества их работы. Полосовой отвал, как правило, состоит из отдельных расходящихся полос, каждая из которых имеет две точки крепления: к груди отвала и к дополнительной задней опоре на нерабочей стороне отвальной поверхности. При этом задняя опора каждой пластины придает жесткость всей конструкции. Поскольку каждая пластина прикреплена к опоре, то в некоторых конструкциях такого отвала предусмотрена регулировка положения последней, позволяющая изменять форму лемешно-отвальной поверхности (культурная, полувинтовая и т. д.). Хотя, как показывает анализ, в последнее время пластинчатые отвалы изготавливаются нерегулируемыми. Кроме этого, полосы могут слегка прогибаться и вибрировать от переменного сопротивления почвы, что положительно влияет на процесс вспашки.

Преимущество отвальной поверхности, состоящей из полос, состоит в том, что отваливаемый пласт лучше крошится, чем на сплошном отвале, так как он подвержен растягивающему усилию со стороны веерно расположенных полос, а контактные напряжения увеличиваются. Этому способствует и упругая деформация полос, приводящая их к сплошной вибрации. Однако главным достоинством этого корпуса является отсутствие залипания влажной почвы, и, как следствие, сохранение своей геометрии и коэффициента трения. Здесь при движении пласта повышается удельное давление почвы, приходящееся на площади полос, поэтому почва легче разрушается из-за наличия пустых зон между полосами, а залипание влажной почвы устраняется. По данным зарубежных фирм, при скорости вспашки до 2 м/с (до 10 км/ч) тяговое сопротивление полосовых отвалов (особенно на влажных почвах) на 20 % ниже, чем у цельных отвалов. При использовании пластинчатого отвала пластины, оборачивающие подрезанную лемехом почву, как правило, соединяются с опорными частями стойки корпуса при помощи соединительных элементов или быстродействующих крепежных устройств. Для соединения с опорными частями в пластинах предусмотрены соответствующие сверленные отверстия, выемки или другие фасонные элементы. Эти сверленные отверстия, выемки или фасонные элементы ослабляют прочность пластин, особенно тогда, когда они выполнены из упрочненного материала. В таком состоянии эти сверленные отверстия и выемки способствуют образованию трещин, которые впоследствии приводят к поломке пластин. Поэтому упрочненные пластины могут быть прочными только до определенной степени, что в конечном счете ведет к более короткому сроку их службы. У пластин с повышенной степенью прочности при нагрузке появляются трещины, которые могут привести к их преждевременной поломке. Поэтому одно из направлений совершенствования пластинчатых отвалов связано с креплением пластин. Так, фирма Lemken на плугах «Диамант» устанавливает корпуса Dura Maxx, которые позволяют увеличить срок службы на 75 % и сократить время замены рабочих органов на 80 %. Это стало возможным благодаря отказу от ослабляющих прочность материала сверлений и перфораций. Здесь полосы закреплены всего двумя

крючками (рис. 3). В данной конструкции для достижения повышенного эффекта от вибрации существенно увеличено расстояние между задним обрезом полос и их задним креплением. Данная конструкция предотвратила и создание корпуса Dura Maxx Hybrid с пластиковыми полосами для вспашки очень липких почв в почвенных условиях со слабым давлением на полосы отвала. При большом давлении пластиковые полосы устанавливаются только в тех частях корпуса, которые особенно подвергаются налипанию (сверху и снизу). Для полного отказа от крепежных элементов исследователями фирмы Lemken предлагаются технические решения, где пластины присоединяются с помощью клея [10].

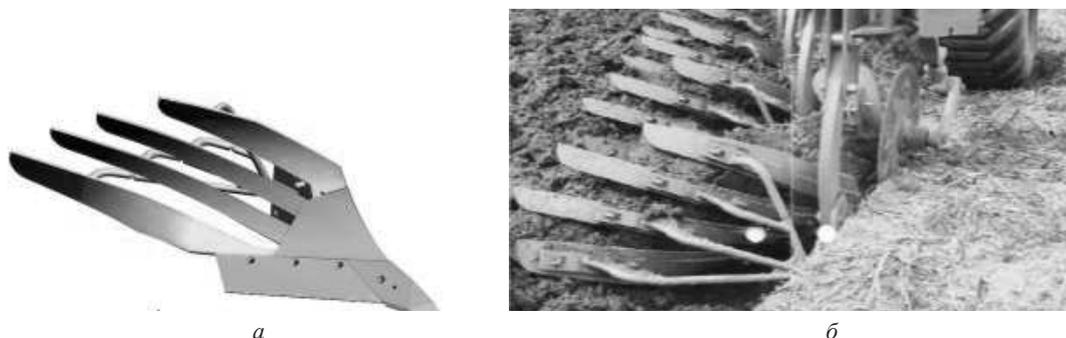


Рис. 3. Корпус Dura Maxx Hybrid: *а* – общий вид; *б* – процесс работы

Недостатком серийных полосовых отвалов, применяемых в настоящее время, является то, что при вспашке сухой глинистой почвы консольные концы полос деформируются, нарушая форму рабочей поверхности, а устранение деформации путем увеличения толщины полос исключает их вибрацию, и преимущества полосового отвала проявляются в меньшей степени. Кроме этого, на таких отвалах передняя часть отвала (грудь) остается невибрирующей и не исключает налипание почвы на переднюю и среднюю части отвала. Для устранения этих недостатков, например, в соответствии с патентом [11], предлагается полосы отвала выполнять из пружинистого материала, а отгиб их консольных концов, выступающих за заднюю опору, ограничивать в пределах упругой деформации полос с помощью ограничителей отгиба. В соответствии с патентом [12] предлагается в зоне стыка полос с грудью отвала устанавливать вибрирующие опоры, выполненные в виде тарельчатых или цилиндрических пружин, упоров и ограничителей отгиба. Аналогичное техническое решение, способствующее равномерному распределению вибрации на поверхности отвала и на весь пласт в целом, предлагается исследователями УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» [13]. С этой целью ими предлагается устанавливать между каждой полосой и задней опорой цилиндрические винтовые пружины сжатия. С учетом того, что в республике 24 тыс. га пашни расположено на тяжелых глинистых почвах, 1787 тыс. га – на заболоченных и 329 тыс. га – на торфяных почвах [14], а практика использования зарубежных плугов, оборудованных плугами с пластинчатыми отвалами, подтверждает эффективность их работы на указанных почвах, то очевидна целесообразность разработки и освоения производства корпусов с полосовыми отвалами, в том числе и ромбовидных, для условий Республики Беларусь.

### Выводы

1. Наряду с освоенными в производстве и широко используемыми в хозяйствах корпусами типа корпуса № 9 фирмы Kverneland, с целью более глубокой адаптации плугов к естественно-природным условиям республики, повышения качества и снижения энергоемкости вспашки, необходимо расширить номенклатуру корпусов, создав в первую очередь корпуса с пластинчатыми отвалами для вспашки сухих и тяжелых почв и ромбические корпуса, в том числе с полосовым отвалом для склоновых земель.

2. При обосновании параметров корпусов плуга с пластинчатым отвалом должна быть обеспечена стабильность вибрации его пластин независимо от условий эксплуатации.

3. Разработка новых корпусов плугов должна вестись с учетом наиболее возможного расширения последней борозды, образованной после прохода плуга.

4. Параметры новых корпусов должны обеспечивать качественную вспашку на скоростях не менее 10 км/ч.

5. Элементы крепления быстроизнашивающихся деталей, образующих лемешно-отвальную поверхность корпусов плуга, должны обеспечивать их быструю замену, в том числе и без инструмента, а также возможность установки быстро изнашивающихся деталей из пластика.

#### Список использованных источников

1. Бачило, Н. Г. Энергосберегающие системы обработки почвы / Н. Г. Бачило // Современные технологии производства растениеводческой продукции в растениеводстве : сб. науч. материалов. – Минск : ИВЦ Минфина, 2005. – С. 12–32.

2. Точицкий, А. А. Чем пахать родную. Сравнительная оценка плугов отечественного и зарубежного производства / А. А. Точицкий, Н. Д. Лепешкин, Е. Я. Грек // Беларусское сельское хозяйство. – 2004. – № 9. – С. 5–8.

3. Корпус плуга : пат. 2012177 Российской Федерации, МПК А01В12/08 / А. В. Клочков. – № 4921896/15 ; заявл. 26.03.1991 ; опубл. 15.05.1994.

4. Корпус плуга : пат. 2028738 Российской Федерации: МПК А01В15/08 / В. А. Лаврухин, В. Н. Щиров. – № 5050335/15 ; заявл. 30.06.1992 ; опубл. 20.02.1995.

5. Плужный корпус : а. с. 1676463 СССР, МКИЗ А01В15/08, А01В17/00 / А. В. Мортиросов, А. И. Мортиросов. – № 4748089/15 ; заявл. 16.10.1989 ; опубл. 15.09.1991.

6. Плуг : пат. 2252516 Российской Федерации, МПК А01В15/08 / А. Ф. Кислов, А. В. Щорский. – № 2003100697/12 ; заявл. 08.01.2003 ; опубл. 27.05.2005.

7. Корпус плуга : пат. 2412570 Российской Федерации, МПК А01В15/00 / А. В. Павлушин [и др.]. – № 2009135365/21 ; заявл. 28.09.2009 ; опубл. 27.02.2011.

8. Плужный корпус : пат. 2075912 Российской Федерации, МПК А01В15/08 / П. В. Мишин [и др.]. – № 93033373/15 ; заявл. 28.06.1993 ; опубл. 27.03.1997.

9. Скоростной плуг : пат. 2470502 Российской Федерации, МПК А01В15/00, А01В15/08, А01В17/00 / Д. П. Титов. – № 20111133297/13 ; заявл. 06.04.2011 ; опубл. 27.12.2012.

10. Рабочий орган для почвообрабатывающих орудий : пат. 2356199 Российской Федерации, МПК А01В15/08, А01В15/02 / Ларс Гелен [и др.]. – № 2005111280/12 ; заявл. 18.04.2005 ; опубл. 27.05.2009.

11. Полосовой отвал почвообрабатывающего орудия : пат. 86376 Российской Федерации, МПК А01В15/08 / В. В. Васильченко [и др.]. – № 2006102690/22 ; заявл. 23.01.2008 ; опубл. 10.09.2009.

12. Полосовой отвал плуга : пат. 2426290 Российской Федерации, МПК А01В, А01В 15/08 / В. В. Василенко [и др.]. – № 2010112577/21 ; заявл. 31.03.2010 ; опубл. 20.08.2011.

13. Полосовой отвал плуга : пат. 8056 Респ. Беларусь, МПК А01В15/08 / И. Н. Шило, Н. Н. Романюк, В. А. Агейчик. – № 20110717/21 ; заявл. 23.07.2011 ; опубл. 30.04.2012.

14. Земля Беларуси. 2001 : справ. пособие / И. М. Богдевич [и др.] ; под ред. Г. И. Кузнецова, Г. В. Дудко. – Минск : Альтиора, 2002. – 120 с.

**М. М. Ковалев<sup>1</sup>, Г. А. Перов<sup>1</sup>, А. И. Тарима<sup>2</sup>, С. В. Просолов<sup>1</sup>, С. П. Колешко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»

г. Тверь, Российская Федерация

E-mail: vniiml@mail.ru

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: belagromegh@tut.by

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЛЬНОТЕРЕБИЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ПОПЕРЕЧНЫМИ РУЧЬЯМИ НА РАЗЛИЧНОМ ЛЬНЕ**

*Аннотация.* В статье на примере уборки льна-долгунца показана важность работы делителей уборочных машин на их производительную и качественную работу. Получены зависимости для расчета нагрузки на стеблеподводы и воздействия делителя на неровность почвы. Экспериментально подтверждено ухудшение показателей качества работы агрегата при отклонении делителей от рабочего положения. Установлены условия для повышения эффективности их работы.

*Ключевые слова:* лен, делители уборочных машин, стеблеподводы, поворот, неровности поверхности поля, зависимости, показатели качества работы.

**M. M. Kovalev<sup>1</sup>, G. A. Perov<sup>1</sup>, A. I. Taryma<sup>2</sup>, S. V. Prosolov<sup>1</sup>, S. P. Koleshko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>FSBSI "Federal Scientific Center for Bast Crops"

Tver, Russia

E-mail: vniiml@mail.ru

<sup>2</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: belagromegh@tut.by

## **INCREASE WORK EFFICIENCY FLAX DRAWING MACHINES WITH TRANSVERSE STREAMS ON VARIOUS LINEN**

*Abstract.* The importance of the work of the dividers of harvesting machines for their productive and high-quality work is shown on the example of harvesting flax-long-lived flax. The dependences for calculating the load on the stem-bearing structures and the effect of the divider on the soil unevenness are obtained. The deterioration of the quality indicators of the unit's operation when the dividers deviate from the working position has been experimentally confirmed. Conditions for increasing the efficiency of their work are established.

*Keywords:* flax, dividers of harvesting machines, stalk drives, rotation, unevenness of the field surface, dependencies, performance indicators.

### **Введение**

Процессы уборки сельскохозяйственных культур характеризуются активным взаимодействием рабочих органов уборочных машин с растениями, что может негативно сказываться на сборах и качестве получаемой продукции [1–3].

Многие машины для уборки культур сплошного и узкорядного посева, а также естественных трав оснащаются делителями. Они предназначены для отделения массы растений, захватываемых машиной, от остающихся в поле или для деления полосы стеблей на узкие полосы.

В машинах для уборки льна имеются и крайние, и средние делители, со стеблеподводами в виде многогранных клиньев с вершинами, направленными в сторону движения машины. И делители, и пальцы разделяют массу растений в поле для подведения их в зону эффективного воздействия последующих рабочих органов, извлекающих их из почвы. Наиболее рельефно закономерности воздействия деющих рабочих органов можно проследить на делителях льнотеребиль-

ных аппаратов. Хотя закономерности эти для многих уборочных машин и общие, однако специфика уборки льна обуславливает значительно более важное влияние рабочего процесса делителей на характер и результаты работы других исполнительных механизмов льнотеребилок и льнокомбайнов, чем в жатвенных аппаратах, основанных не на тереблении, а на срезе растений [1–3].

От правильного выбора параметров делителей зависят не только показатели качества работы, но и высокопроизводительная работа льноуборочных машин, что очень важно в условиях жесткой конкуренции на внутреннем и внешнем рынках. По данным машинно-испытательных станций ежегодно в льноводной зоне до 30 % площадей посевов полегают, а их уборка представляет значительную трудоемкость [4]. В связи с этим повышение эффективности работы делителей в трудных условиях уборки для сохранения качества выращенного урожая и увеличения сборов льнопродукции является приоритетной задачей [5–10].

Поэтому исследованию процесса подвода растений в устья теребильных ручьев делителями посвящены многие работы [1–3, 5–10]. Анализ работы делителей, снабженных прямолинейными стеблеподводами растений, представлен в исследованиях [1–3, 5–7]. Динамические особенности взаимодействия стеблеподводов со стеблями рассмотрены в работе [8]. В ней показано, что для повышения эффективности работы делителей форма профиля стеблеподводов должна иметь переменную кривизну. Исследования двухъярусных шестигранных делителей с нижним расположением опорного бруса и компенсатора в трудных условиях уборки культуры представлены в работе [9].

В работах [9, 10] показаны преимущества одноярусных трехгранных делителей с верхним расположением компенсаторов, нашедших основное применение в льнотеребильных аппаратах, в сравнении с двухъярусными шестигранными делителями с нижним расположением опорного бруса и компенсатора.

Анализ выполненных исследований показал, что делители льноуборочных машин являются важными рабочими органами, во многом определяющими рабочие качества всей машины. Поэтому конструкции делителей многообразны и постоянно совершенствуются [9, 10].

Выполняемые ими технологические процессы теоретически и экспериментально исследованы достаточно полно. Однако ряд вопросов работы этих рабочих органов изучен недостаточно или вообще не рассмотрен. Так, не изучен процесс воздействия одноярусных трехгранных делителей на неровности поверхности поля при уборке полеглого и короткостебельного льна, вследствие наличия на ней почвенных комков, камней и кочек, образованных корневой системой трав, подсеваемых под основную культуру.

Цель работы – провести теоретический анализ процесса воздействия одноярусных трехгранных делителей на неровности поверхности поля и экспериментально определить влияния положения делителей на показатели качества работы теребильного аппарата.

### Материалы и методы исследования

При выполнении теоретических исследований применялся метод системного анализа, положения теоретической и земледельческой механики, использование компьютерных программ.

Для проведения лабораторно-полевых опытов были изготовлены одноярусные трехгранные делители с верхним расположением компенсатора, которые были установлены на теребильный аппарат льнотеребилки ТЛ-1,9 (рис. 1). Принципиальная схема такого делителя представлена на рис. 2, а, в котором верхний центральный стеблеподвод  $AC$  выполнен телескопическим, снабжен пружиной сжатия  $1$  и винтовым механизмом  $2$ . Такое устройство обеспечивает поворот делителя кверху во время наезда его носком  $CD$  на неровность (препятствие) в поле, и его ускоренное возвращение в рабочее положение [9].

Задачей исследований являлось экспериментальное определение показателей качества работы льнотеребилки ТЛ-1,9 в зависимости от скорости агрегата  $v_m$  и угла  $\gamma$  установки делителей.

Углы  $\gamma$  поворота кверху делителей устанавливали равными  $0^\circ$ ;  $3^\circ$ ;  $6^\circ$ ;  $9^\circ$ ;  $12^\circ$ . Скорости  $v_m$  агрегата в опытах были 1,5 и 2,5 м/с, что соответствовало основным режимам работы на таком исходном материале [4].



Рис. 1. Общий вид одноярусных трехгранных делителей с верхним расположением компенсаторов, установленных на теребельном аппарате льнотеребилки ТЛ-1,9

Выходными параметрами были: чистота теребления  $a_r$ , потери семян  $b_c$ , растянутость ленты  $c_d$  и повреждения стеблей  $d_c$  [11, 12].

При проведении исследований в качестве исследуемого материала использовали лен-долгунец сорта Тверской в фазе желтой спелости. Густота растений перед уборкой составила 1360 шт/м<sup>2</sup>, влажность стеблей была 50 %, а семенных коробочек – 46 %. По состоянию стеблестоя лен был полеглим (2,8–2,9 балла). При уборке такого льна делители располагают на минимальном расстоянии от поверхности почвы. Общая длина стеблей составила 0,8 м.

Математическую обработку результатов исследований проводили методами математической статистики, с использованием персональных компьютеров и универсального статистического пакета STADIA [13, 14].

### Результаты и их обсуждение

Рассмотрим процесс поворота делителя в продольно-вертикальной плоскости при его наезде в точке  $E$  на неровность почвы (почвенный комок, камень и др.) высотой  $\lambda$  (рис. 2,  $a$ ).

При этом делитель, подвешенный шарнирно на боковых  $OC$  и верхнем центральном  $AC$  стеблеподводах, установленный на высоте  $h_0$  от поверхности поля, поворачивается кверху.

Анализ проведем при допущениях:

- неровность на поверхности почвы принимаем за твердое тело;
- вес стеблеподводов много меньше силы сжатия пружины и его можно не учитывать.

При повороте делителя со стороны неровности на поверхности поля на носок  $CD$  будут действовать силы: нормальная  $N_{\Pi}$ , трения скольжения  $F_{\Pi}$  и их равнодействующая сила  $R_{\Pi}$ , отклоненная от нормали на угол  $\varphi_{\Pi}$ . Для проведения анализа приложим в шарнир  $C$  две равные, противоположно направленные силы  $R'_{\Pi}$  и  $-R'_{\Pi}$  параллельные и равные силе  $R_{\Pi}$ , которую требуется определить. Сила  $R'_{\Pi}$  воспринимается стеблеподводами  $OC$  и  $AC$ .

Из рис. 2 следует, что угол

$$\beta = \gamma - \gamma_1 + \alpha_1 - \alpha_2, \quad (1)$$

где  $\beta$  – угол, под которым действует сила  $R_{1C}$ , град;  $\gamma$  и  $\gamma_1$  – углы поворота стеблеподводов  $OC_0$  и  $AC_0$ , град;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – углы до начала поворота стеблеподводов  $OC_0$  и  $AC_0$ , град.

Обозначим:  $OC_0 = OC'$  через  $l_{OC}$ ; высота  $C_0C'$  приближенно равна хорде  $\Delta c$ ;  $AC_0$  через  $b_1$ ;  $AC'$  через  $b'_1$ ;  $OA$  через  $b$ ;  $\Delta c \approx C_0C' \approx l_{OC}\gamma$ .

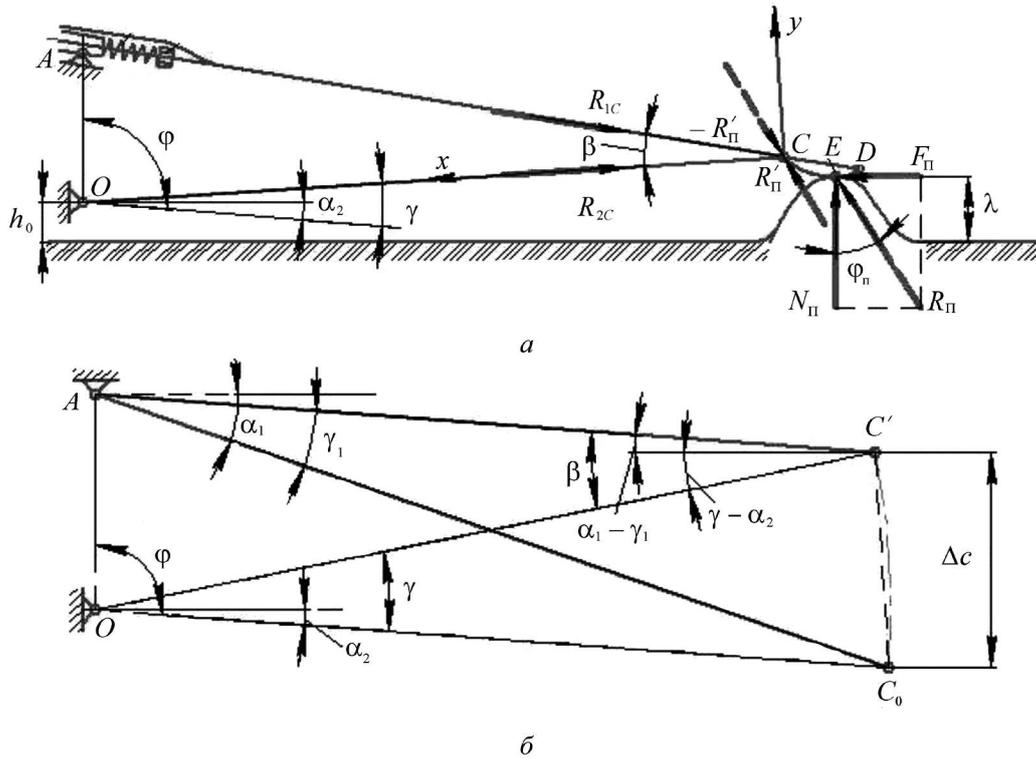


Рис. 2. Схемы: *а* – к расчету поворота делителя при наезде носком *CD* на неровность; *б* – определения углов  $\varphi$ ,  $\gamma_1$  и высоты  $\Delta c$

Тогда угол

$$\gamma \approx C_0 C' / OC \approx \Delta c / l_{OC}, \text{ рад.} \quad (2)$$

Угол  $\gamma_1$  определяется из треугольника  $AC_0 C'$ :

$$\gamma_1 = \arccos \frac{b_1^2 + (b'_1)^2 - \Delta_0^2}{2b_1 b'_1}. \quad (3)$$

При повороте стеблеподвода  $AC_0$  в положение  $AC'$  на угол  $\gamma$  длина стеблеподвода  $AC_0 = b_1$  уменьшится до величины  $AC' = b'_1$ , которую обозначим  $\Delta l$ :

$$\Delta l = b_1 - b'_1, \quad (4)$$

где  $b_1 = l_{OC} \sqrt{1 + m^2 - 2m \cos \varphi}$ ;  $b'_1 = l_{OC} \sqrt{1 + m^2 - 2m \cos(\varphi - \gamma)}$ , а  $m = \frac{OA}{OC_0} = \frac{b}{l_{OC}}$ .

Подставив значения углов  $\gamma$  по (2),  $\gamma_1$  по (3) в (1) получим значение угла  $\beta$ , под которым действует сила  $R_{1C}$ :

$$\beta \approx \gamma + \alpha_1 - \alpha_2 - \arccos \frac{1 + m^2 - m \cos(\varphi - \gamma) - 0,5\gamma^2}{\sqrt{1 + m^2 - 2m \cos \varphi} \sqrt{1 + m^2 - 2m \cos(\varphi - \gamma)}}.$$

Зная углы, под которыми действуют силы, спроектируем силы на осях  $x$  и  $y$  и составим систему уравнений

$$\sum X = R'_{II} \sin(\varphi_{II} - \gamma + \alpha_2) - R_{2C} - R_{1C} \cos \beta = 0;$$

$$\sum Y = R'_{II} \cos(\varphi_{II} - \gamma + \alpha_2) - R_{1C} \sin \beta = 0,$$

решением которой получим формулы для расчета сил, действующих на стеблеподводы:

$$R_{1C} = R_{II}' \frac{\cos(\varphi_{II} - \gamma + \alpha_2)}{\sin \beta};$$

$$R_{1C} = R_{II}' [\sin(\varphi_{II} - \gamma + \alpha_2) - \cos(\varphi_{II} - \gamma + \alpha_2) \operatorname{ctg} \beta]. \quad (5)$$

Сила  $P_{II}$  сжатия пружины  $l$  уравновешивается силой  $R_{1C}$ . Эта же сила  $P_{II}$  уравновешивает добавочную силу  $C_{II} \Delta_{II}$ , где  $C_{II}$  – жесткость пружины, а  $\Delta_{II}$  – ее полная деформация. Тогда

$$\Delta_{II} = \Delta_0 + \Delta l = \Delta_0 + b_1 - b_1',$$

где  $\Delta_0$  – предварительное сжатие пружины при установке делителя, а  $\Delta l$ ,  $b_1$ ,  $b_1'$  определяются по (4):

С учетом изложенного

$$P_{II} = C_{II} \left\{ \Delta_0 + l_{OC} \left[ \sqrt{1 + m^2 - 2m \cos \varphi} - \sqrt{1 + m^2 - 2m \cos(\varphi - \gamma)} \right] \right\}. \quad (6)$$

Так как  $P_{II} = R_{1C}$ , то, приравняв  $P_{II}$  по (6) и  $R_{1C}$  по (5), после упрощения получим:

$$R_{II} = R_{II}' = \frac{C_{II} \sin \gamma}{\cos(\varphi_{II} - \gamma - \alpha_2)} \left\{ \Delta_0 + l_{OC} \left[ \sqrt{1 + m^2 - 2m \cos \varphi} - \sqrt{1 + m^2 - 2m \cos(\varphi - \gamma)} \right] \right\}. \quad (7)$$

По полученной формуле (7) построены зависимости силы воздействия  $R_{II}$  носка делителя на неровность поверхности почвы от угла поворота  $\gamma$  боковых стеблеподводов  $OC$  делителя. Расчеты проводили при следующих параметрах:  $C_{II} = 6,3; 7,45; 8,3$  Н/мм;  $\Delta_0 = 15$  мм;  $b = 200$  мм;  $l_{OC} = 800$  мм;  $\varphi_{II} = 0,3; 0,6; 0,9$ ;  $\alpha_2 = 5^\circ$ ;  $\gamma = 0^\circ; 5^\circ; 10^\circ; 15^\circ; 20^\circ$ ;  $\varphi = 100^\circ$ ;  $m = 0,216$ .

Результаты вычислений представлены на рис. 3, 4.

Из формулы (7) и рис. 3 следует, что сила воздействия  $R_{II}$  носка делителя на неровность почвы возрастает с увеличением жесткости  $C_{II}$  пружины, углов трения  $\varphi_{II}$  и поворота  $\gamma$  боковых стеблеподводов  $OC$  делителя. Причем интенсивный рост силы воздействия  $R_{II}$  имеет место при больших значениях угла  $\gamma$ , а чем больше угол поворота  $\gamma$ , тем сильнее стеблеподводы делителя будут оказывать неправильное воздействие на подводимые к теребильным ручьям стебли, что может привести к потерям льнопродукции.

Для определения влияния поворота делителей кверху от рабочего положения и скорости агрегата на показатели качества работы теребильного аппарата были проведены лабораторно-полевые опыты, результаты которых показаны графически на рис. 5 [9].

Эксперименты выяснили, что показатели качества работы теребильного аппарата на полеглом льне при увеличении угла  $\gamma$  до  $12^\circ$  ухудшаются: чистота теребления  $a_T$  снижается, а потери семян  $b_C$ , растянутость ленты  $c_L$  и повреждения стеблей  $d_L$  возрастают по параболическим кривым.

При снижении чистоты теребления с увеличением угла  $\gamma$  делители хуже подводят растения к устьям теребильных ручьев, в результате чего часть стеблей полеглого льна не захватывается теребильными ремнями.

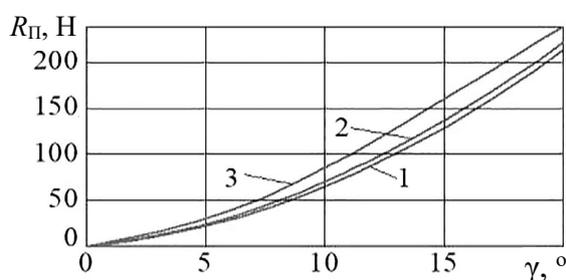


Рис. 3. Зависимость силы воздействия  $R_{II}$  носка делителя на неровность поверхности почвы от угла поворота  $\gamma$  боковых стеблеподводов  $OC$  при: 1 –  $\varphi_{II} = 0,3$ ; 2 –  $\varphi_{II} = 0,6$ ; 3 –  $\varphi_{II} = 0,9$ ;  $C_{II} = 7,45$  Н/мм;  $\Delta_0 = 15$  мм

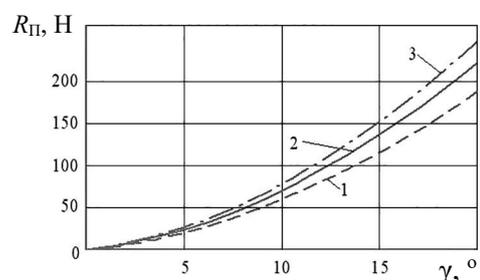


Рис. 4. Зависимость силы воздействия  $R_{II}$  носка делителя на неровность поверхности почвы от угла поворота  $\gamma$  боковых стеблеподводов  $OC$  при: 1 –  $C_{II} = 6,3$  Н/мм; 2 –  $C_{II} = 7,45$  Н/мм; 3 –  $C_{II} = 8,3$  Н/мм;  $\varphi_{II} = 0,6$ ;  $\Delta_0 = 15$  мм

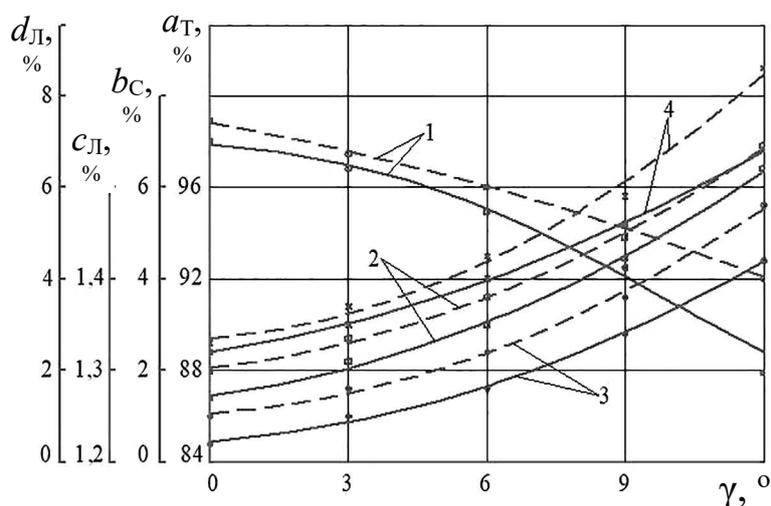


Рис. 5. Зависимость чистоты тербления  $a_T$  (1), потерь семян  $b_C$  (2), растянутости ленты  $c_{Л}$  (3) и повреждений стеблей  $d_{Л}$  (4) тербильным аппаратом от угла  $\gamma$  поворота делителей кверху во время наезда на неровность почвы: —  $v_m = 1,5$  м/с; - - -  $v_m = 2,5$  м/с

Увеличение потерь семян происходит за счет снижения чистоты тербления, а также потому, что корбочки части стеблей попадают в зажим между ремнями и ими разрушаются.

Возрастание растянутости ленты и повреждений растений с ростом угла  $\gamma$  объясняется тем, что отклоненные кверху делители сильнее наклоняют стебли в продольно-вертикальной плоскости в направлении движения агрегата.

Снижение показателей качества работы тербильного аппарата с увеличением скорости  $v_m$  агрегата с 1,5 до 2,5 м/с также происходит по параболическим кривым, вследствие возрастания интенсивности воздействия стеблеподводов на стебли, а также от большего сотрясения машины при перемещении по полю.

Полученные регрессионным анализом квадратичные параболы для определения показателей качества работы тербильного аппарата в зависимости от угла  $\gamma$  поворота делителя (см. рис. 5) адекватны экспериментальным данным [13, 14].

### Заключение

1. Во время поворота одноярусного трехгранного делителя стеблеподводы  $AC$  и  $OC$  работают на сжатие или растяжение, а силы реакции  $R_{1C}$  и  $R_{2C}$  в шарнире  $C$  действуют вдоль стеблеподводов и рассчитываются по формулам (5). Сила  $R_{1C}$ , с которой делитель воздействует на неровность почвы, описывается формулой (7). При эксплуатации агрегатов необходимо стремиться к тому, чтобы сила  $R_{1C}$  была по возможности меньшей, что позволит предотвратить заглобление носка делителя в неровность поверхности почвы и его поломку.

2. Получены закономерности в виде квадратичных парабол изменения показателей качества работы тербильного аппарата на уборке полеглого льна от угла  $\gamma$  поворота делителя в вертикальной плоскости и скорости  $v_m$  агрегата. Наиболее значительное снижение показателей качества работы наблюдается при больших углах поворота делителя.

3. Условием повышения показателей качества работы тербильного аппарата является устранение угла  $\gamma$  поворота делителя при работе агрегата, что может быть достигнуто выращиванием более устойчивых к полеганию сортов льна-долгунца и обработкой почвы в соответствии с агротехническими требованиями. Обязательным условием является также проведение культуртехнических работ (сбор камней и вывоз их с поля).

### Список использованных источников

1. Летошнев, М. Н. Сельскохозяйственные машины: теория, расчет, проектирование и испытание / М. Н. Летошнев. – М. ; Л. : Сельхозгиз, 1955. – 764 с.

2. Усевич, И. Г. Исследования работы тербильных аппаратов льноуборочных машин : дис. ... канд. техн. наук / И. Г. Усевич. – Великие Луки, 1972. – 127 с.
3. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы / Н. И. Кленин, В. А. Саун. – М. : Колос, 1980. – 671 с.
4. Колчина, Л. М. Опыт освоения прогрессивных технологий и технических средств для уборки и первичной переработки льна-долгунца : науч. аналит. обзор / Л. М. Колчина, М. М. Ковалев. – М. : Росинформагротех, 2008. – 152 с.
5. Шейченко, В. О. Обґрунтування параметрів та режиму роботи льнобрального апарату з поперечними рівчачками : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / В. О. Шейченко. – Дослідницьке, 2006. – 126 с.
6. Налобина О. О. Механіко-технологічні основи процесів взаємодії робочих органів льнозбирального комбайна з рослинним матеріалом : дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.11 / О. О. Налобина. – Луцьк, 2008. – 365 с.
7. Хайлис, Г. А. Теория льноуборочных машин / Г. А. Хайлис. – М. : Росинформагротех, 2011. – 322 с.
8. Родионов, Л. В. Динамические особенности взаимодействия делителя со стеблями / Л. В. Родионов, М. М. Ковалев // Тракторы и сельхозмашины. – 1985. – № 5. – С. 36–38.
9. Ковалев, М. М. Делители машин для уборки лубяных культур (конструкция, теория и расчет) / М. М. Ковалев. – М. : Росинформагротех, 2014. – 244 с.
10. Ковалев, М. М. Инновационные пути повышения эффективности работы делителей уборочных машин / М. М. Ковалев // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті : наук. журн. – Луцьк, 2015. – № 1 (3). – С. 86–92.
11. Стандарт организации. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для уборки льна. Методы оценки функциональных показателей : СТО АИСТ 8.9-2004. – 45 с.
12. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для внесения удобрений, машины для послеуборочной обработки зерна, машины для уборки картофеля, овощных и бахчевых культур, плодов и ягод, льна, погрузочно-разгрузочные и транспортные средства. Показатели назначения и надежности : СТО АИСТ 1.13-2011. – М. : Росинформагротех, 2013. – 52 с.
13. Кулаичев, А. П. Методы и средства комплексного анализа данных / А. П. Кулаичев. – 4-е изд., пераб. и доп. – М. : Форум : Инфра-М, 2006. – 512 с.
14. Хайлис, Г. А. Исследование сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных / Г. А. Хайлис, М. М. Ковалев. – М. : Колос, 1994. – 179 с.

**А. П. Шкляр**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: shklyarov05@rambler.ru*

**ЗЕМЛЯ КАК ОСНОВНОЕ СРЕДСТВО ПРОИЗВОДСТВА  
В АГРАРНОМ СЕКТОРЕ ЭКОНОМИКИ И ФАКТОРЫ,  
ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

*Аннотация.* В статье приводится анализ точек зрения ряда исследователей по вопросу земли как средства производства в сельском хозяйстве. Отражена многогранность и сложность земли как материально-технической базы и экономического потенциала сельскохозяйственного производства. Уделено внимание ее основному качеству – плодородию. Систематизированы основные признаки земли как средства производства и предложены пути повышения эффективности ее использования с учетом комплекса факторов, влияющих на производственный цикл в сельском хозяйстве.

*Ключевые слова:* аграрное производство, земля, плодородие, почва, предмет труда, средство производства, средство труда.

**A. P. Shklyarov**

*EI "Belarusian State Agrarian Technical University"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: shklyarov05@rambler.ru*

**LAND AS THE MAIN MEANS OF PRODUCTION IN THE AGRICULTURAL SECTOR  
OF THE ECONOMY AND FACTORS AFFECTING THE EFFICIENCY OF ITS USE**

*Abstract.* The article analyzes the points of view of a number of researchers on the issue of land as a means of production in agriculture. The versatility and complexity of the land as a material and technical base and the economic potential of agricultural production is reflected. Attention is paid to its main quality – fertility. The main features of land as a means of production are systematized and ways to improve the efficiency of its use are proposed, taking into account a set of factors that affect the production cycle in agriculture.

*Keywords:* agricultural production, land, fertility, soil, object of labor, means of production, means of labor.

**Введение**

Сельскохозяйственное производство – специфический вид экономической деятельности, поскольку к числу основных средств производства относится земля. В этой связи результаты производства прямо пропорционально зависят от ее плодородия и месторасположения [1].

Плодородие принадлежит к числу основных, влияющих на результативность деятельности качеств земли как средства производства. Аграрной наукой признано два вида плодородия: естественное, которое ближе к биологической интерпретации данной категории, и искусственное, которое следует рассматривать как результат производственной деятельности человека, и в этой связи оно приобретает экономическую оценку.

К. Маркс писал, что развитие экономического плодородия зависит «...отчасти от развития земледельческой химии, отчасти – земледельческой механики... Поэтому, хотя плодородие и является объективным свойством почвы, экономически оно все же подразумевает известное отношение – отношение к данному уровню развития земледельческой химии и механики, а поэтому изменяется вместе с этим уровнем» [2].

Местоположение земельного участка сельскохозяйственного назначения по отношению к инфраструктуре, дорогам и административно-хозяйственному центру предприятия играет немало-

важную роль. Удаленность сельскохозяйственных участков откладывает отпечаток на результаты экономической деятельности.

В этой связи при равновеликих затратах труда и средств экономический эффект будет существенно отличаться [1], что следует учитывать при планировании производства и организации труда.

Считая землю творением природы, некоторые экономисты относят ее к достоянию всего народа, и это стало основанием для отсутствия в высокоцивилизованных странах частной собственности на нее (Австралия, Израиль, Канада, Китай, Швеция и др.) [3].

В мировой практике вопрос частной собственности на землю остается открытым. До сих пор ведутся оживленные дискуссии о социально-экономической значимости частной собственности на землю. Доля сомнения имеется и у сторонников применения этой формы отношений. Высказывается мнение, что в частной собственности на землю велика доля незримых опасностей [4]. По этой причине в развитых странах для достижения максимального эффекта достаточно успешно сочетаются все формы собственности на землю.

### **Материалы и методы исследований**

Объект исследования: агропромышленный комплекс.

Предмет исследования: земля как элемент производственной деятельности и основное средство производства в сельском хозяйстве.

Материалы исследований: сборники научных трудов, материалы научно-практических конференций, интернет-ресурсы.

Методы исследований: системный анализ, синтез, сравнение, абстрагирование, конкретизация, обобщение результатов исследования.

### **Результаты и их обсуждение**

Отличительной особенностью земли как средства производства является ее способность к улучшению (повышение плодородия), в то время как большинство средств производства склонно к изнашиванию (здания, машины, оборудование) и их стоимость постепенно переносится на вновь созданный продукт [5].

Само по себе плодородие почвы не восстанавливается. Процесс восстановления предусматривает целый комплекс организационно-экономических и технико-технологических мероприятий, наиболее значимыми из которых являются: планирование и организация севооборотов, научно обоснованное внесение удобрений и средств защиты растений, внедрение высокоэффективных технологий с использованием высокопроизводительной сельскохозяйственной техники.

Многие средства производства могут перемещаться в пространстве и времени. Земля характеризуется постоянством пространственного размещения [6]. Хотя подобное постоянство можно считать условным, если вспомнить о деградации земель, вызванной природными катаклизмами и неразумной деятельностью человека.

Большинство исследователей утверждает, что земля в ходе производства одновременно вмещает в себе функции предмета и средства труда. Встречается и другая точка зрения, сторонники которой не отрицают, что земля – основное средство производства, но при этом настаивают на том, что сама по себе земля не является предметом труда и как средство производства обретает свою сущность только после целенаправленного воздействия труда человека [6].

Подобная точка зрения несколько противоречива и не согласуется с определением, приводимым в словаре терминов по экономике труда, где отмечается, что вещество природы, на которое направлен труд человека (земля, вода, руда, уголь), или же продукт прошлого труда (сырье растительного или животного происхождения; металл, произведенный из полезных ископаемых) относится к предметам труда [7].

Земля как средство производства в сельском хозяйстве является материальной основой организации производственной деятельности. Она выступает в качестве как предмета труда, так и средства труда одновременно. Обладание определенными характеристиками и свойствами,

воздействующими на рост и развитие растений, позволяет считать землю и средством труда [8]. К таким свойствам можно отнести плодородие, запас влаги в почве, механический ее состав, температурный и газовый режимы. Эти свойства во многом меняются под воздействием агротехнических приемов.

Если в отношении земли как предмета труда более или менее отмечается единство взглядов, то отношение к земле как средству труда весьма неоднозначно и мнения разделились.

Так, Г. Н. Барсукова полагает, что землю в большей степени можно отнести к предмету труда, чем к средству труда [9]. Ни земля, ни ее верхний плодородный слой – почва, не переносят свою стоимость на вновь созданный продукт. Это дало основание усомниться в том, что в сельском хозяйстве земля является основным средством производства. Таким образом, применяемое с XIX в. понятие подвергается критике.

По утверждению О. В. Тарханова, любой объект природы, принимающий участие в производстве, не может быть отнесен к средствам производства, если он не переносит свою стоимость на вновь созданный продукт. Придерживаясь общепринятой трактовки понятия «средства производства», исследователь отрицает функцию земли в этом экономическом качестве, даже несмотря на то, что она является объектом купли-продажи и имеет рыночную стоимость. Кроме того, она не переносит свою стоимость и со временем дорожает. Автором высказывается сомнение по поводу определения земли как основного средства производства в сельском хозяйстве, а если она и является таковой, то современной науке требуется еще доказать это [10].

Далее на основе анализа автор пытается доказать, что основным средством производства в аграрном секторе экономики является не земля, а почвенное плодородие. По его мнению, признание этого утверждения позволит преодолеть теоретические трудности в аграрной экономике и наметить пути стабилизации производства продуктов питания.

Вопрос, конечно, риторический, если принять во внимание, что почвенное плодородие – один из факторов, лежащих в основе товарного производства растениеводческой продукции, действующий в комплексе с температурным режимом, влажностью, приходом фотосинтетически активной радиации, агроприемами.

Многими исследователями земля признается многогранной и достаточно сложной категорией. Как факт территориальной ограниченности стран и основа базирования государственных производственных сил она неизменно находится в центре внимания политиков и экономистов, однако, будучи в центре пересечения многих стратегических интересов, она как объект экономических отношений не имеет четкого и однозначного определения [11].

В процессе производства продукции растениеводства участие принимает не вся земля, а лишь ее верхний плодородный слой, получивший название «почва». Благодаря своим качествам этот верхний плодородный слой земли имеет неопределимое значение в жизни всего органического мира.

С момента использования почвы как средства производства человек оказывает существенное влияние на природный почвообразовательный процесс и достаточно часто оно крайне негативное. Экономическая деятельность человека всегда сопровождается настойчивыми целенаправленными действиями в сторону преобразования естественных ландшафтов, такими как вырубка и посадка лесов, разработка естественных травостоев и замена их искусственными агрофитоценозами, осушение и орошение, отчуждение земель под строительство.

Человек с момента зарождения земледелия и до настоящих дней вносит существенные коррективы в естественный почвообразовательный процесс, особое место в котором отводится методам воздействия на почву в результате ее обработки, применению удобрений и средств защиты растений [12].

Безусловно, почва является природным телом, которое на протяжении существования земледелия подвергается многовековому воздействию человека, и с учетом этого она в полной мере может частично считаться продуктом этого труда.

Благодаря человеку (или скорее всего по его вине) в формировании генетического профиля почв и их плодородия сегодня принимают участие не только растения, почвенные микроорганизмы, дождевые черви, но и продукты жизнедеятельности людей: пластиковая пыль, радиоак-

тивные вещества, выбросы стационарных и передвижных установок. Это одна из проблем современного сельского хозяйства.

Доказательством подобному утверждению могут служить данные Почвенного института имени В. В. Докучаева, показывающие, что производственная деятельность на Земле в целом, и земледелие в частности, привела к созданию нового типа почвы под названием агрозем. Этот новый тип почвы имеет относительно однородный поверхностный горизонт, существенно отличающийся от естественной почвы [13].

Принимая участие в сельскохозяйственном производстве, земля на полном основании может быть отнесена к материально-технической базе аграрного производства и изучаться в качестве производственного потенциала.

Критикуя точку зрения исследователей, рассматривающих землю в качестве отдельного ресурса в составе производственного потенциала, А. И. Индюков полагает, что в материально-технической базе сельскохозяйственного производства в качестве основного ресурса определяется земля. Далее автор характеризует этот ресурс как сочетание свойств земли и природных условий. На основании этого он делает вывод о том, что в материально-технической базе сельскохозяйственного производства отражается комплексная оценка земли как орудия и предмета труда [14]. Достаточно сложно прокомментировать точку зрения, представляющую собой яркий пример межродовой гибридизации.

Характеризуя землю в качестве экономического потенциала, некоторые исследователи считают ее важнейшим фактором производства, рассматриваемым в качестве предмета труда [15].

Земля как средство производства в аграрном секторе экономики вызывает массу споров, порождая противоречивые точки зрения по отношению к сельскому хозяйству в целом как направлению экономической деятельности. Большинство исследователей относит сельское хозяйство к сложной отрасли, хотя встречаются и иные точки зрения. И наличие земли как средства производства относят к выгодной ее особенности, обосновывая свои взгляды отсутствием морального и физического ее износа. Следовательно, в процессе производства не требуется замены их более совершенными средствами, а при рациональном использовании земля улучшает свое главное качество – плодородие [16].

Автор прав только отчасти, поскольку во внимание не принимаются иные факторы, кроме износа. Многообразие причин, способных вызвать безвозвратное исчезновение земли как средства производства (в конкретных условиях), является ярким доказательством подобному утверждению – природные катаклизмы (затопление, эрозия), промышленное (в том числе радиоактивное) загрязнение, выбытие из землепользования для целей строительства жилья, коммуникаций, производственных сооружений.

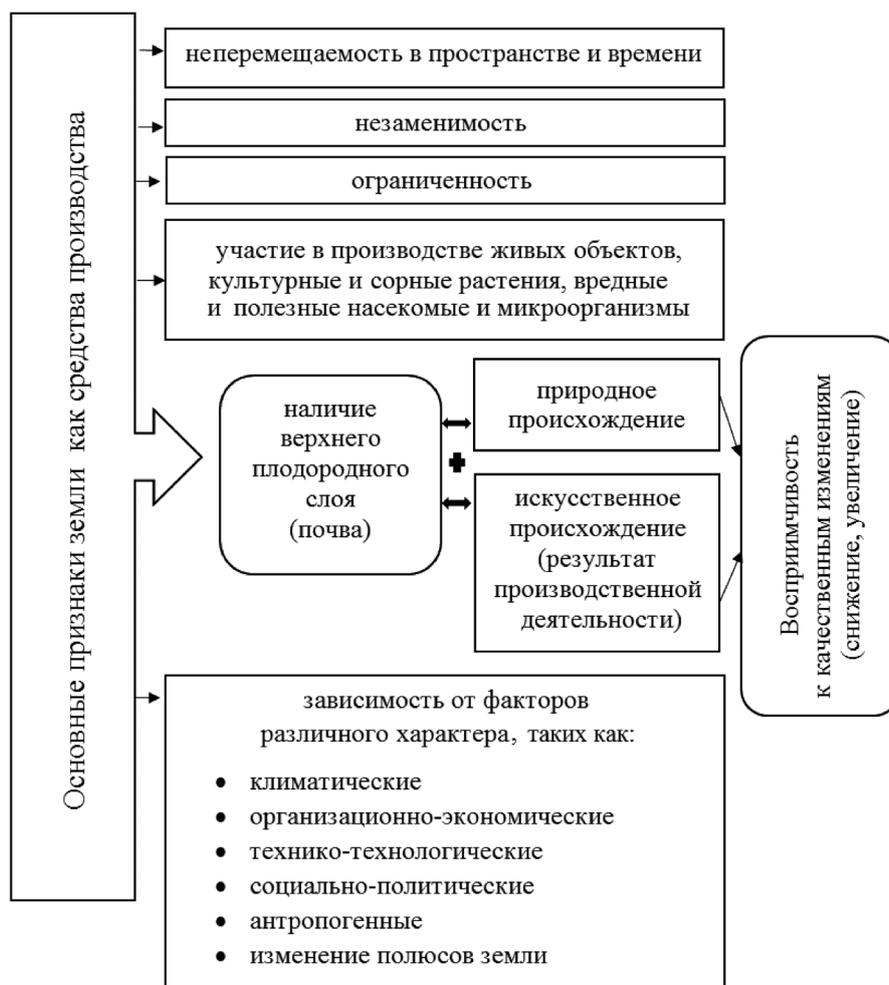
Это косвенно подтверждает Т. А. Чижикова, отмечая непостоянство земли как средства производства и связывая это с ее функциями. Основой для их изменения автор считает меняющиеся направления деятельности, задачи и уровень развития производства [17].

Резюмируя высказывания исследователей по вопросам особенностей земли как средства производства можно отметить ее основные признаки: незаменимость, ограниченность, перемещаемость, зависимость от климатических изменений, плодородие (см. рисунок). С учетом этих признаков и должна строиться стратегия аграрного производства.

Главная цель сельского хозяйства – получение максимальной прибыли.

Основой эффективности растениеводства выступает урожайность, которая находится в зависимости от ряда факторов, научно обоснованное сочетание которых позволит максимизировать потенциальный ресурс почвы. К числу наиболее эффективных приемов повышения эффективности использования земли следует отнести:

- организацию сельскохозяйственного производства на принципах адаптации;
- внедрение энергоэффективных экологически безопасных технологий;
- пересмотр селекционных программ с учетом глобального изменения климата;
- внедрение высокоэффективных экологически пластичных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, максимально использующих климатический потенциал;
- внедрение новых методов и приемов труда;



Характерные признаки земли как средства производства

- внедрение в производство перспективных интродуцентов;
- соблюдение комплекса мероприятий по повышению плодородия и защите от деградации земель сельскохозяйственного назначения [18].

### Заключение

Земле присущи все признаки предмета и средства труда, и она может быть отнесена к основному средству производства в сельском хозяйстве. Земля как средство производства обладает способностью сохранения и улучшения своих качеств при длительном использовании. В потенциале земли сформирован комплекс биологических и экономических признаков, характеризующих ее универсальность и многогранность в использовании.

### Список использованных источников

1. Харрасов, И. Р. Сельское хозяйство как особый объект в осуществлении аграрной политики государства / И. Р. Харрасов // Аграрное земельное право. – 2009. – № 7 (55). – С. 13–17.
2. Маркс, К. Капитал : в IV т. / К. Маркс. – М., 1955. – Т. I, ч. 2. – 664 с.
3. Ивасенко, А. Г. Особенности сельского хозяйства как отрасли материального производства и объекта земельно-ипотечного кредитования / А. Г. Ивасенко // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 8. – С. 215–218.
4. О собственности на землю. Мировой опыт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://funduk.club/2018/12/05/sobstvennost-zemla/>. – Дата доступа: 03.06.2021.
5. Измалкова, И. В. Проблемы рационального использования земельных ресурсов в сельском хозяйстве / И. В. Измалкова, С. А. Измалков // Экономич. вестник Ростовск. гос. ун-та. – 2007. – Т. 5, № 3, ч. 2. – С. 150–153.

6. Тарасов, Д. А. О роли земельных ресурсов в общественном производстве / Д. А. Тарасов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2009. – № 1. – С. 99–104.
7. Словарь терминов по экономике труда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vocabulary.ru/slovari/pic-slovar-terminov...truda.html>. – Дата доступа: 08.06.2021.
8. Жердева, О. В. Роль, значение и функции земли в сельскохозяйственном производстве / О. В. Жердева // Теория и практика общественного развития. – 2013. – № 8. – С. 319–320.
9. Барсукова, Н. Г. Особенности земли как природного объекта и объекта земельных отношений / Н. Г. Барсукова // Тр. Кубанск. гос. аграрн. ун-та. – Краснодар, 2012. – № 3 (36). – С. 25–30.
10. Тарханов, О. В. Основное средство агроценоза: обоснование нового видения / О. В. Тарханов // Аграрн. наука. – 2014. – № 7. – С. 13–14.
11. Березинец, О. Н. Основные подходы к определению сущности земли как объекта экономических отношений / О. Н. Березинец // Вісн. СевНТУ : зб. наук. пр. Сер. : Економіка і фінанси. — Севастополь, 2012. – Вип. 130/2012. – С. 22–29.
12. Почвоведение / И. С. Кауричев [и др.] ; под. ред. И. С. Кауричева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1982. – 496 с.
13. Усков, И. Б. Основы адаптации земледелия к изменениям климата : справ. изд. / И. Б. Усков, А. О. Усков. – СПб., 2014. – 384 с.
14. Индюков, А. И. Сущность и экономическое содержание материально-технической базы сельскохозяйственного производства / А. И. Индюков // КАНТ. – 2014. – № 3 (12). – С. 44–49.
15. Удайдуллаев, М. Б. Эффективное земледелие как основа успешной экономической деятельности в использовании земельных ресурсов / М. Б. Удайдуллаев, В. М. Асанов // Территория науки. – 2017. – № 6. – С. 76–81.
16. Овчарук, Н. Ю. Особенности и перспективы сельскохозяйственного производства в России / Н. Ю. Овчарук // Экономика и предпринимательство. – 2019. – № 5. – С. 384–387.
17. Чижикова, Т. А. Использование земли как природного комплекса, средства производства и рекреации / Т. А. Чижикова // Наука сегодня: задачи и пути решения : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 30 мая 2018 г. : в 2 ч. / Науч. центр «Диспут». – Вологда, 2018. – Ч. 1. – С. 102–103.
18. Комплекс мероприятий по повышению плодородия и защите от деградации почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь на 2021–2025 годы / В. В. Лапа [и др.] ; под ред. В. В. Лапы, Н. Н. Цыбулько ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии ; Мин-во сельск. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь. – Минск : ИВЦ Минфина, 2021. – 148 с.

**А. В. Дунаев<sup>1</sup>, В. Е. Тарасенко<sup>2</sup>, А. А. Жешко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

г. Москва, Российская Федерация

E-mail: Dunaev135@mail.ru

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: trs9@yandex.ru

<sup>3</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: azeshko@gmail.com

## **ОБОСНОВАНИЕ НОРМАТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ УПРАВЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ В ТЕХНИЧЕСКОМ СЕРВИСЕ МТП АПК**

*Аннотация.* Рассмотрена оптимизация некоторых показателей технической эксплуатации машин в АПК. Приведена история этого вопроса, описан универсальный подход от профессора В. М. Михлина – оптимизация допускаемых значений параметров по минимуму суммарных удельных затрат и издержек на сервис машин, реализованный и в программе ТУРБО-НЭК.

*Ключевые слова:* трактор, параметр технического состояния, затраты на технический сервис, оптимизация.

**A. V. Dunaev<sup>1</sup>, V. E. Tarasenko<sup>2</sup>, A. A. Zheshko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>FSBSI "Federal Scientific Agroengineering Center VIM"

Moscow, Russian Federation

E-mail: Dunaev135@mail.ru

<sup>2</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: trs9@yandex.ru

<sup>3</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: azeshko@gmail.com

## **JUSTIFICATION OF THE NORMATIVE VALUES OF THE CONTROL PARAMETERS IN THE TECHNICAL SERVICE OF THE MTP AIC**

*Abstract.* The optimization of some indicators of technical operation of machines in the agroindustrial complex is considered. The history of this issue is given, a universal approach is described in such a justification from professor V. M. Mikhlin – optimization of the permissible values of parameters to minimize the total unit costs and costs for machine service, implemented in the TURBO-NEK program.

*Keywords:* tractor, technical condition parameter, technical service, costs, optimization.

### **Введение**

Агропромышленный комплекс (АПК) многих стран использует масштабное количество различных тракторов, автомобилей, самоходных комбайнов и сельскохозяйственных орудий (плуги, культиваторы, сеялки и др.), интенсивное использование и старение которых, естественно, обуславливает необходимость их технического обслуживания и разнообразных плановых и неплановых ремонтов. Масштабность ремонтно-обслуживающих работ потребовала глубокого научно-инженерного обоснования теории и практики организации и технологии их проведения. С 1956 г. большую работу в этом направлении провели Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (ГОСНИТИ)

и Всесоюзный государственный комитет по техническому обеспечению сельского хозяйства СССР (Госкомсельхозтехника).

Предварительным, но соответствующим своему времени итогом комплексного обоснования технической эксплуатации машинно-тракторного парка (МТП) АПК в СССР и Российской Федерации явилась «Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве» [1]. Она подкреплена комплексом стандартов на техническое обслуживание (ТО), ремонт, диагностирование машин и оборудования в АПК, документацией и рекомендациями на их проведение и совершенствование.

Часть нормативно-технической документации координировалась в Совете экономической помощи [2]. Неоднократно в вузах АПК большим тиражом издавалась учебная литература по техническому обслуживанию, диагностированию и ремонту машин в АПК. Однако в настоящее время вопросам технической эксплуатации МТП АПК не уделяется должного внимания.

С 2000-х гг. появились и нетрадиционные приемы технического обслуживания и ремонта машин [3], одним из первых в этом направлении в АПК работал профессор Челябинского государственного агроинженерного университета А. К. Ольховацкий.

Естественно, обоснование оптимальной системы ТО и ремонта машин проводилось, но по-другому, и в других отраслях, особенно в авиации, а также на железнодорожном, автомобильном и водном транспорте, в оборонных отраслях.

Цель и задачи исследования: потребовалось провести анализ теорий оптимизации значений управляющих техническим сервисом показателей машин.

Материалы и методы исследования: были использованы литературные источники по теме, начиная с 1960 г., и проведен их анализ.

### Основная часть

Оптимизация нормативов в технической эксплуатации МТП АПК начата путем оптимизации срока службы объектов контроля технико-экономическим методом, при котором их эксплуатацию заканчивают в то время, когда наступает минимум суммарных удельных затрат и издержек на техническую эксплуатацию машин и оборудования.

Графическое решение этой задачи впервые выполнено инженером В. О. Васильевым, которым была «получена графическая зависимость величин отчислений и расходов на возобновление имущества железнодорожных предприятий в размерности на 1 т веса паровозов».

Аналогично в 1939 г. кандидат экономических наук А. И. Буянов графически решал задачу определения оптимального срока службы комбайна «Коммунар» и плуга ТК-30П. А в 1953 г. Н. Г. Кабенин аналитически решал определение срока службы паровоза, выразив годовые затраты  $S$  на его эксплуатацию с помощью формулы

$$S = a + \frac{b(t+t^2)}{2t} + \frac{A}{t}, \quad (1)$$

где  $a$  – постоянная часть годовых расходов на ремонт паровоза, руб.;  $b$  – возрастающая часть годовых расходов на ремонт паровоза, руб/год;  $t$  – срок службы паровоза в годах;  $A$  – среднее значение исходной стоимости паровоза, руб.

Здесь получено выражение оптимального срока службы

$$t_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{2A}{b}}. \quad (2)$$

Академик А. И. Селиванов – один из основателей науки о ремонте машин в АПК [4], прогнозируемую динамику затрат потребителей, связанную с использованием машин и агрегатов, выразил в послевоенное время более простой функцией

$$Y = A + B_t + C_t^\delta, \quad (3)$$

где  $A = Q_m - O_1$  – первоначальная стоимость  $Q_m$  машины/агрегата, уменьшенная на стоимость  $O_1$  реализованных остатков при снятии машины/агрегата с эксплуатации;  $B$  – коэффициент затрат

потребителя на эксплуатацию машины, пропорциональных времени  $t$ ;  $C$  – коэффициент прогрессирующих затрат потребителя на эксплуатацию машины/агрегата;  $\delta$  – показатель степени роста прогрессирующих эксплуатационных затрат.

Отыскание оптимального срока службы агрегата приведено к нахождению минимума функции удельных затрат

$$U = \frac{A}{t} + B + Ct^{\delta-1}. \quad (4)$$

А. И. Селиванов получил более точное выражение для оптимизации срока службы машин и оборудования [4]:

$$t = \delta \sqrt{\frac{A}{(\delta-1)C}}. \quad (5)$$

В 1960-х гг. сотрудник Научно-исследовательского института автомобильного транспорта (г. Москва) Е. С. Кузнецов впервые предложил обосновывать все нормативы технической эксплуатации автотранспорта именно по критерию минимума суммарных удельных издержек и потерь в его технической эксплуатации. Это предложение было поддержано и в ГОСНИТИ.

Естественно, что управление любым производством осуществляется экономическими инструментами, а не на основе геометрических построений, предпосылки для чего наблюдаются в последнее время в ГОСНИТИ [5]. Следует отметить, что советский экономист В. В. Леонтьев за детализацию и развитие экономических инструментов управления экономикой (расчет экономической эффективности капитальных вложений, срока окупаемости, рентабельности, прибыльности и др.) в 1973 г. получил Нобелевскую премию.

В ГОСНИТИ технико-экономический метод оптимизации показателей технической эксплуатации машин с 1970-х гг. был развит профессором В. М. Михлиным [6]. Ученый довел его до универсального использования по номограммам и таблицам, в результате чего данный метод получил признание в Венгрии и Германии.

Основная задача управления надежностью техники заключается в обеспечении наиболее полного использования ее ресурса при приемлемом уровне надежности. Прогнозирование изменения функциональных и постепенно ухудшающихся структурных параметров как раз и позволяет предотвращать их и увеличивать реализацию нормативного ресурса и эффективность работы объектов контроля, уменьшения затрат на ТО и ремонт машин и оборудования. Особенно это проявляется при проведении вместе с диагностированием качественного ТО.

Все это по пунктам исследовано в работе профессора В. М. Михлина [6]: в первом разделе рассмотрены вопросы теории надежности и диагностирования машин; во втором разделе – показатели технического состояния и надежности машин, где углубленно разрешились проблемы прогнозирования и оптимизации: безотказности элементов машин, остаточного и полного их ресурса, допускаемых значений структурных и диагностических параметров машин, замыкающего звена размерной конструкторской цепи механизма, а также вероятности правильного диагностирования элементов машин, оптимизации периодичности контроля элементов машин и особенности разработки технических требований на ремонт деталей и их сопряжений; в третьем разделе предложены приемы решения некоторых проблем в организации управления состоянием машин по результатам их диагностирования.

Методы оптимизации согласно [6] были реализованы и в компьютерной программе ТУРБО-НЭЖ. И здесь целевая функция оптимизации, например, остаточного ресурса  $t_{\text{ост}}$  объекта по универсальному экономическому критерию – минимуму суммарных удельных затрат и потерь  $C$  на единицу наработки машины, выражена абстрактно:

$$C(t_{\text{ост}}) = \min \left\{ \frac{AQ(t_{\text{ост}})}{T_{\text{ср}}} + \frac{C[1-Q(t_{\text{ост}})]}{T_{\text{ср}}} \right\}, \quad (6)$$

где  $A$  и  $C$  – предполагаемые и ориентировочные показатели затрат на устранение последствий отказа элементов в эксплуатации и для предотвращения отказов соответственно;  $Q$  – неизвестная

величина вероятности отказа элемента (объекта исследования) в эксплуатации после проведения ремонтно-обслуживающих работ;  $t_{\text{ост}}$  – искомый остаточный ресурс;  $T_{\text{cp}}$  – неизвестный средний фактический ресурс объекта исследований.

Формула (6) имела и такой вид:

$$C(t_{\text{ост}}) = \min \left\{ \frac{Q(t_{\text{ост}})A}{t_{\phi}(t_{\text{ост}})} + \frac{[1 - Q(t_{\text{ост}})]C}{t_{\phi}(t_{\text{ост}})} \right\}, \quad (7)$$

где  $t_{\phi}$  – неизвестный фактический ресурс объекта исследований.

По подобным, но расширенным выражениям оптимизируются и допускаемые величины, например, диагностических параметров.

Следует учитывать и то, что контроль и воздействие на регулируемые при ТО параметры не дают оснований задавать по ним остаточный ресурс, так как регулируемые параметры не относятся к ресурсным.

Практикам ясно, что какая-либо оптимизация допускаемых значений по «постепенным», контролируемым отказам не повышает ни ресурс, ни надежность машин по главным, непрогнозируемым отказам. Отказ по постепенным параметрам возникает примерно при достижении ими предельных величин, что обусловлено только интенсивностью ухудшения постепенных параметров, зависящих от конструкции машины, условий и режимов ее эксплуатации, качества ТО. Допускаемые значения таких параметров нужны всего лишь для своевременного расчета примерного значения остаточного ресурса, подлежащего далее уточнению. Принятое в [6, с. 143] понимание оптимального значения допускаемого диагностического параметра как управляющего параметра таково, что оно обеспечивает максимальную эффективность эксплуатации и ремонта «по выбранному критерию».

Известно, что главные отказы деталей, узлов, агрегатов (поломки, разрушения, деформации, прогары, прорывы газов, жидкостей, заклинивание с прекращением работы узла, агрегата, машины) являются внезапными, непрогнозируемыми и неуправляемыми. Они возникают из-за развития скрытых, неконтролируемых, непрогнозируемых дефектов. Поэтому обоснование и оптимизация нормативов контроля для них пока не осуществима. А по постепенным диагностическим параметрам имеется и трехступенчатая система их нормативных величин [7].

Естественно, что износ деталей, узлов, агрегатов приводит к их прогнозируемым, условным отказам, которые можно предотвращать ремонтом агрегатов, а вместе с изнашиванием деталей происходит постепенное ухудшение функционирования узлов, агрегатов, машин. Однако при превышении допускаемых значений диагностических параметров никаких отказов деталей и узлов с нарушением работоспособности агрегатов не происходит. Ухудшение функционирования деталей, узлов, агрегатов с их изнашиванием квалифицируют «параметрическими отказами» (снижение мощности, повышение расхода топливо-смазочных материалов, электроэнергии, снижение качества работ и т. п.). Именно поэтому изначально профессор В. М. Михлин делал в своих обоснованиях малозаметную, никем не учтенную, но принципиально важную, оговорку, что все же после превышения даже предельных значений управляющих показателей технической эксплуатации МТП «объекты контроля дорабатывают до ТО или до планового ремонта». Значит, фактически прямых затрат на устранение последствий параметрических «отказов» в реальной эксплуатации нет.

Ориентировочно остаточный ресурс детали, сопряжения, узла, агрегата (а при  $t_{\text{ост}}$ , равном нулю, и оптимальный срок их службы) можно вычислять, исходя из геометрического соотношения на кривой изнашивания ( $t_{\text{теор}} / t_{\text{контр}} = u_{\text{п}} / u(t)$ ) так [6]:

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{контр}} \left[ \left( \frac{u_{\text{п}}}{u(t)} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right], \quad (8)$$

где  $t_{\text{теор}}$  – наработка при достижении предельного значения диагностического параметра  $u_{\text{п}}$ ;  $t_{\text{контр}}$  – наработка в момент контроля с измеренным при этом значением диагностического параметра  $u(t)$ .

Целевая функция, подобная (6), использована профессором В. М. Михлиным [6] и для оптимизации допускаемых при ТО диагностических параметров, но для этого необходима трудоемкая, длительная регистрация немалых по объему диагностических и технико-экономических данных, в том числе динамики ресурсопределяющих параметров деталей, узлов, агрегатов, контроля отказов и неисправностей, учета непрерывных и дискретных затрат на обслуживание и устранение отказов, издержек и потерь от простоев машин и оборудования. Поэтому такой подход не получил широкого распространения.

Представлен и более сложный подход к оптимизации управляющих технической эксплуатации показателей [6] с учетом непрерывных издержек на ТО после ремонтно-обслуживающих работ, когда в целевую функцию (6) введены их показатели. Так, например, показателем сложности подходов к оптимизации управления надежностью машин в [6] является целевая функция совместной оптимизации допускаемого значения диагностического параметра и оптимизации межконтрольной наработки:

$$G = \min \left\{ \frac{Q(D_o, t_M)A}{T_o(D_o, t_M)} + \frac{C[1 - Q(D_o, t_M)]}{T_o(D_o, t_M)} + \frac{K_{\Pi}(D_o, t_M)B}{T_o(D_o, t_M)} \right\}, \quad (9)$$

где  $K_{\Pi}$  – среднее число проверок элементов до замены или отказа за срок службы;  $B$  – издержки, обусловленные каждой проверкой.

Казалось бы, целевые функции (6) и (7) могли бы использоваться для обоснования допускаемых при капитальном ремонте показателей деталей. Однако следует учитывать, что при ремонте агрегатов должны обеспечиваться заданные в их конструкции зазоры и натяги сопряжений, что соблюдено в стандартах и другой научно-технической документации на ремонт, а дефектация деталей и комплектация сопряжений производятся не только по размерам, но и по физико-механическим показателям поверхностей и форм деталей. Кроме того, технологии и нормативы технической эксплуатации МТП АПК за пятидесятилетие ее практики в СССР и других странах обстоятельно апробированы и утверждены научно-технической документацией (ГОСТ, РТМ и т. п.).

### Выводы

1. Так как превышение допускаемых и предельных значений диагностических параметров по «параметрическим отказам» к фактическим отказам (с остановкой машин) не приводит, то прямое использование функции (6) неправомерно.

2. Следует учитывать, что, вопреки результатам исследований [8–10], оптимизация допускаемых значений диагностических параметров не изменяет время наступления ни внезапных, ни «параметрических» отказов при достижении ими предельных величин, не зависящих от допускаемых значений, не уменьшает вероятность их наступления, не увеличивает надежность машин. Эти «новации» просто усугубляют ошибки [6], а для ориентировочного определения допускаемых значений диагностических параметров достаточно использовать выработанные практикой критерии.

3. Для расчета ориентировочного значения остаточного ресурса объектов контроля и уточнения по нему срока и объема ремонтно-обслуживающих работ достаточно использовать формулу (8).

4. Износ и нарушение работоспособности деталей, узлов, агрегатов, их отказы обусловлены только интенсивностью изнашивания и развитием скрытых дефектов, зависящих от конструктивного и производственного совершенства объектов контроля, от условий их эксплуатации и качества ремонтно-обслуживающих работ. Поэтому, вопреки результатам исследований [8–10], оптимизация допускаемых величин диагностических параметров никак не уменьшает ни вероятность, ни число фактических и «параметрических» отказов. Все равно объекты контроля, чаще всего, дорабатывают до предельных состояний и исчерпания остаточного ресурса.

5. Ужесточение допускаемых величин диагностических параметров, вопреки расчетам теоретиков [8–10], лишь обуславливает более частое диагностирование.

6. Остро актуальным является обоснование не допускаемых, а предельных величин диагностических параметров для современных машин.

### Список использованных источников

1. Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве. – М. : ГОСНИТИ, 1985. – 144 с.
2. Международная система оборудования для технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники. Постоянная комиссия СЭВ по сотрудничеству в области сельского хозяйства. М. : ГОСНИТИ, 1984. – 136 с.
3. Дунаев, А. В. Нетрадиционная триботехника. Некоторые итоги развития в России / А. В. Дунаев. – [Б. м.] : Lambert Academic Publishing, 2018. – 217 с.
4. Селиванов, А. И. Основы теории старения машин / А. И. Селиванов. – М. : Машиностроение, 1964. – 404 с.
5. Рабинович, А. Ш. Техничко-экономические критерии и оптимизация ресурсов машин / А. Ш. Рабинович, А. А. Шаровский // Надежность и контроль качества. – 1977. – № 7. – С. 12–15.
6. Михлин, В. М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники / В. М. Михлин. – М. : Колос, 1984. – 336 с.
7. Дизели тепловозов. Техническое диагностирование и прогнозирование остаточного ресурса методом спектрального анализа масла : ГОСТ 20759-90. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1991. – 24 с.
8. Денисов, В. А. Обеспечение безотказной работы деталей машин с использованием новой системы переменных допусков / А. В. Денисов, А. А. Соломашкин // Инженерные технологии и системы. – 2020. – Т. 30, № 1. – С. 76–91.
9. Стратегии технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственных машин / А. С. Дорохов [и др.] // Технический сервис машин. – 2020. – № 3 (140). – С. 38–48.
10. Черноиванов, В. И. Способ определения остаточного ресурса деталей машин / В. И. Черноиванов, В. А. Денисов, А. А. Соломашкин // Технический сервис машин. – 2020. – № 1. – С. 50–57.

**А. В. Дунаев<sup>1</sup>, В. Е. Тарасенко<sup>2</sup>, А. А. Жешко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

г. Москва, Российская Федерация

E-mail: Dunaev135@mail.ru

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: trs9@yandex.ru

<sup>3</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: azeshko@gmail.com

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НОРМАТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ УПРАВЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ**

*Аннотация.* Рассмотрены особенности применения нормативных значений управляющих параметров.

*Ключевые слова:* трактор, параметр технического состояния, затраты на технический сервис, оптимизация.

**A. V. Dunaev<sup>1</sup>, V. E. Tarasenko<sup>2</sup>, A. A. Zheshko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>FSBSI "Federal Scientific Agroengineering Center VIM"

Moscow, Russian Federation

E-mail: Dunaev135@mail.ru

<sup>2</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: trs9@yandex.ru

<sup>3</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: azeshko@gmail.com

## **FEATURES OF THE APPLICATION OF STANDARD VALUES OF CONTROL PARAMETERS**

*Abstract.* The features of the application of standard values of control parameters are considered.

*Keywords:* tractor, technical condition parameter, technical service, costs, optimization.

### **Введение**

Исследования по оптимизации управляющих производством показателей технико-экономическими методами велись ранее в агропромышленном комплексе (АПК) [1, 2], на автотранспорте и в других отраслях (Р. Н. Колегаев, Р. М. Петухов). Так, в работе [2] показано, что оптимальный срок службы машин определяется их наработкой, при которой затраты на техническую эксплуатацию достигают стоимости новых машин. Это условие практически соответствует минимуму суммарных издержек и затрат на техническое обслуживание (ТО) и ремонт машин.

### **Основная часть**

В 2000–2002 гг. в авторемонтной мастерской № 1 автотранспортного СП ГОК «Эрдэнэт» на карьерных 110-тонных автосамосвалах БелАЗ-7512 был апробирован простой и вполне достойный метод, по которому оптимальный срок списания автосамосвалов определяется тем периодом их эксплуатации, при котором суммарные затраты на ремонт и устранение неисправностей машин (или хотя бы стоимость использованных запасных частей) становятся равными сто-

имости новой машины. Так, было выявлено, что для автосамосвалов БелАЗ-7512 стоимость перевозок ими руды с 0,25–0,30 долл. США/т·км в начале эксплуатации через 4–6 лет снижалась до 0,07–0,0604 долл. США/т·км с последующим резким ухудшением технического состояния машин, снижением производительности, повышенными простоями и затратами на ремонт, когда стоимость затрат на ремонт, по данным склада основных фондов АРМ-1, достигала или несколько превышала стоимость автосамосвалов – около 520 тыс. долл. США (рис. 1).

В исследованиях [3] рассмотрены подобные подходы к оптимизации некоторых параметров технической эксплуатации машинно-тракторного парка (МТП). Принято, что суммарные вероятные удельные эксплуатационные издержки  $C$  на техническую эксплуатацию должны быть меньше удельных издержек на ремонт в момент контроля:

$$\frac{C}{T} \geq \frac{AQ(t, t_M)}{T_{cp}} + \frac{C[1-Q(t, t_M)]}{T_{cp}}, \quad (1)$$

где  $A$  и  $C$  – предполагаемые, ориентировочные показатели затрат на устранение последствий отказа элементов в эксплуатации и для предотвращения отказов соответственно;  $Q$  – неизвестная величина вероятности отказа элемента (объекта исследования) в эксплуатации после проведения ремонтно-обслуживающих работ;  $T_{cp}$  – неизвестный средний фактический ресурс объекта исследований;  $t_M$  – межконтрольный период.

Такой подход резко упрощает некоторые приемы управления технической эксплуатацией машин и оборудования. Существуют также и другие технико-экономические критерии для оптимизации управления техническим сервисом машин, когда задают:

- допускаемые, предельные издержки на эксплуатацию машины и прекращают ее эксплуатацию, списывают или ремонтируют ее, предотвращая тем самым рост издержек на сервис машины;
- предельные суммарные или удельные издержки на техническое обслуживание и ремонт (ТОР);
- требуемую прибыль от эксплуатации машины, рентабельность ее использования.

Эти критерии применяют индивидуально для разных производственных условий, когда оптимальной может быть первая стратегия ТОР по потребности при отказах, вторая – по наработке независимо от состояния объекта контроля, третья – по потребности в соответствии с результатами диагностирования. Однако все эти критерии содержат критерий минимума суммарных

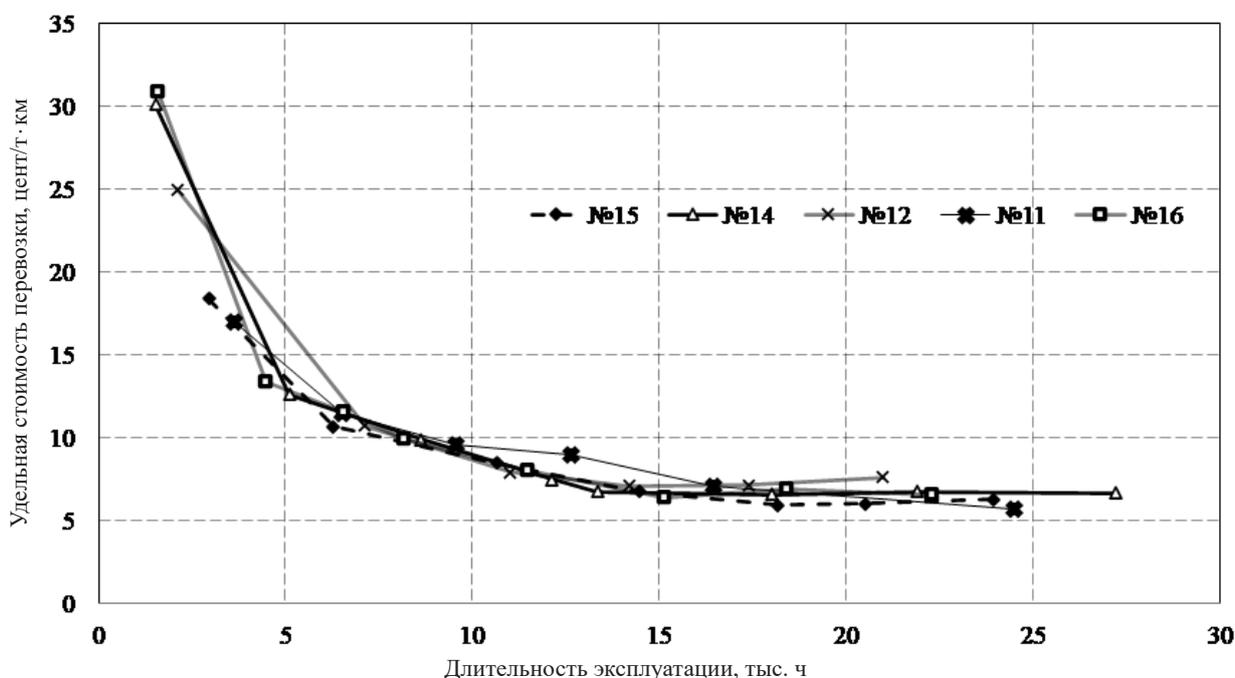


Рис. 1. Изменение удельной стоимости единицы работы автомобилей БелАЗ-7512 по времени эксплуатации этих машин для определения срока их списания: учтены первоначальная стоимость автомобилей и затраты на их ремонт; оптимальный срок службы машин неодинаков и оказался в пределах 18–24 тыс. ч (4–6 лет)

издержек и затрат на ТОР или же прямо либо косвенно сводятся к минимуму себестоимости единицы наработки (продукции) машины с учетом потерь и издержек на ее техническую эксплуатацию, которые и являются объектом оптимизации в ТОР.

Следует вспомнить, что многие допускаемые и предельные значения диагностических параметров сельскохозяйственных тракторов СССР обосновывались эмпирически в 1960–80-е гг. для техники тех времен. А для современной техники они требуют обновления. Однако предпосылок к такой работе почти нет: в Минсельхозе РФ управление техническим состоянием МТП предано забвению. В то же время распространение бортовых систем диагностики может частично решить эту проблему [4].

Для бесприборного диагностирования цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания (ЦПГ ДВС) и обоснования момента ее ремонта до сих пор корректно не обосновано предельное значение относительной (к расходу топлива) величины угара моторных масел. На наш взгляд, исторически сложившаяся оценка отношения расхода масла на угар к расходу топлива не совсем корректна. Повышение угара масла – только одно из следствий износа ЦПГ, что проявляется и в снижении производительности машины, и в повышении расхода топлива. А восстановление мощностных и топливно-экономических параметров требует текущего или капитального ремонта ДВС. Потребность в ремонте ЦПГ ДВС, как показано выше, правильнее определять из соотношения стоимости ремонта к потерям от пониженной производительности машины, от перерасхода топлива и масла за межремонтный период:

$$T_{\text{экспл}} = (C_{\text{топл}} + C_{\text{м}} + C_{\text{Ne}}) \leq (C_{\text{рем}}), \quad (2)$$

где  $C_{\text{топл}}$ ,  $C_{\text{м}}$  – дополнительные эксплуатационные затраты на сверхнормативный расход топлива и моторного масла соответственно за сезон эксплуатации  $T_{\text{экспл}}$  ко времени оценки состояния машины, руб.;  $C_{\text{Ne}}$  – эксплуатационные потери от снижения производительности машины за тот же период, руб.;  $C_{\text{рем}}$  – стоимость замены ЦПГ ДВС, руб.

И чем ощутимее все потери, тем при меньшем, определяемом в конкретных условиях значении угара масла целесообразно ставить мотор на ремонт. Конечно, конкретный срок службы масел до замены следует определять по комплексу фактических рабочих показателей масла и по состоянию ДВС. А при браковочном значении любого показателя масла оно подлежит безусловной смене.

Из изложенного следует, что для обоснования основных работ технического сервиса в АПК нужны апробированные многолетней практикой простые оперативные рекомендации. Например, бывшим аспирантом ГОСНИТИ профессором В. А. Ушановым [5] предложена система интегральной оценки изношенности машины и отдельных ее агрегатов, на основе которой оптимизируется содержание ремонтных работ в реальных условиях предприятий АПК. Приведена методика расчета величин этих оценок для назначения полнокомплектного ремонта машины или замены отдельных ее агрегатов при текущем ремонте новыми или капитально отремонтированными. К этому разработана диаграмма предельных изношенностей машин для оптимизации состава ремонтных работ с разными их содержанием и стоимостью. Рекомендации для назначения таких работ зависят от возможностей сервисных производств.

Оценка изношенности машины или агрегата [5] проводится по результатам ресурсного их диагностирования при ТО-3 или при отказе агрегатов по величине средневзвешенного показателя изношенности

$$R_{i\Sigma} = \sum \gamma_i T_{\text{ост}i} / T_{0i}, \quad (3)$$

где  $R_{i\Sigma}$  – степень изношенности, например, трактора, как сумма средневзвешенных нормированных остаточных ресурсов  $(T_{\text{ост}i} / T_{0i})$  его базовых агрегатов;  $\gamma_i$  – коэффициент весомости агрегата (элемента) в технико-экономическом балансе трактора, учитывающий экономику последствий ресурсного отказа агрегата; значения  $\gamma_i$  устанавливаются расчетным путем:

$$\gamma_i = S_i / \sum_{i=1}^n S_i. \quad (4)$$

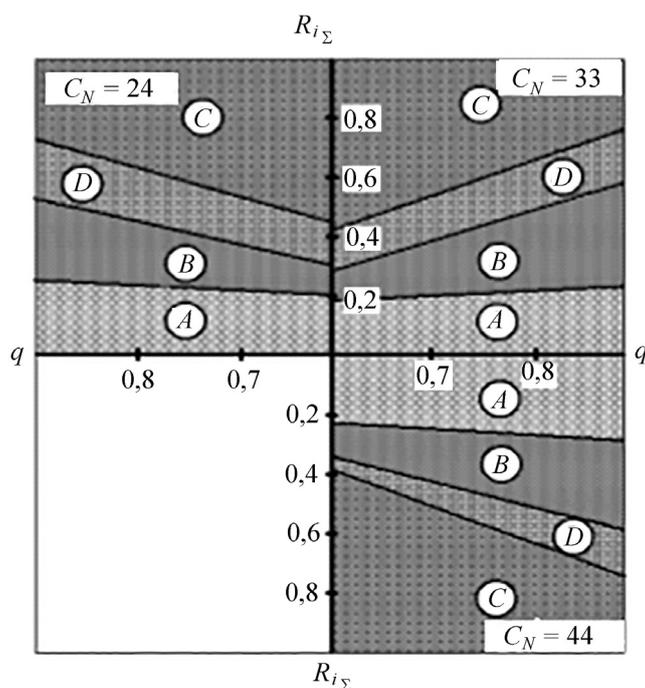


Рис. 2. Области (A–D) предельных значений изношенности тракторов с соответствующими рекомендациями по назначению ремонтных работ

Примерные значения коэффициентов  $\gamma_i$  при  $\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1$  приведены в [5]; здесь  $S_i$  – балансовая стоимость  $i$ -го агрегата трактора и затраты на его обслуживание за номинальный срок службы;  $\sum_{i=1}^n S_i$  – суммарная стоимость агрегатов и затраты на их обслуживание в доремонтный период;  $T_{ост\ i}$  – остаточный ресурс  $i$ -го агрегата (элемента) трактора;  $T_0$  – исходный ресурс нового агрегата (элемента) трактора;  $n$  – количество агрегатов (принимают 4–5, наиболее полно представляющих трактор как систему), учитываемых при оценке изношенности трактора.

После определения остаточных  $T_{ост\ i}$  и номинальных  $T_0$  ресурсов основных агрегатов трактора с учетом весовых коэффициентов  $\gamma_i$  каждого агрегата по выражению (3) рассчитывают средневзвешенный нормированный показатель изношенности трактора  $R_{i\Sigma}$ . А численные значения изношенности  $R_{i\Sigma}$ ,  $q$  и  $C_N$  являются входом в диаграмму предельных значений изношенности трактора (рис. 2). Здесь  $q$  – степень восстановления эксплуатационного ресурса агрегатов трактора при их капитальном ремонте в конкретных его условиях ( $q = 0,6 \dots 0,8 \dots 1,0$ );  $C_N$  – показатель риска потери продукции при простое трактора в полевых работах ( $C_N = 24$  – при низкой,  $C_N = 33$  – при средней и  $C_N = 44$  – при высокой урожайности).

Если расчетное значение  $R_{i\Sigma}$  находится в области A диаграммы, то наиболее эффективен полнокомплектный ремонт трактора. В остальных случаях целесообразны текущие ремонты. Так, если  $R_{i\Sigma}$  соответствует области B, то текущий ремонт целесообразно осуществлять капитально отремонтированными агрегатами; если области D, то текущий ремонт целесообразен как капитально отремонтированными, так и новыми агрегатами; если области C, то текущий ремонт трактора целесообразен только новыми агрегатами.

### Заключение

В публикациях распространяется феноменальное опасное заблуждение, что уточнение величин допускаемых значений диагностических параметров, контролируемых в доремонтном и послеремонтном периодах эксплуатации машин, повышает их надежность и уменьшает вероятность отказов. Только даже при превышении предельных значений диагностических параметров по износу узлов трения с «параметрическими отказами» нарушения работоспособности машин

(отказа) не наступает. Действительные же отказы из-за развития скрытых, неконтролируемых дефектов деталей, полностью нарушающие работоспособность машин, – внезапные, непрогнозируемые, неуправляемые, по ним невозможна никакая оптимизация диагностических параметров. Постепенное ухудшение работоспособности машин и время наступления действительных отказов обусловлены лишь скоростью развития дефектов деталей, что зависит от технического совершенства машин, от условий и режимов их эксплуатации, от качества их технического сервиса, которое можно повысить нетрадиционной триботехникой. Такова всемирная историческая практика, и противоречить ей можно лишь при абсолютном кабинетном отрыве от нее в [6–8].

Допускаемые и предельные значения износных диагностических параметров для «параметрических отказов» следует уточнять исходя из приближения суммы издержек и потерь от ухудшения работоспособности машин к стоимости их ремонтно-обслуживающего воздействия. Допускаемые же значения характеристик деталей, годных для ремонта, определены конструктивными требованиями к узлам, агрегатам и утверждены в установленном порядке в соответствующей научно-технической документации на техническую эксплуатацию МТП в СССР.

В целом все вышеизложенное показывает большие трудности и ограниченность кабинетного [3, 6–8] подхода к управлению надежностью машин и необходимость разработки современных рекомендаций по проведению ТОР с учетом новейших машин и все большего использования в них встроенных систем контроля и диагностики. Некоторые подвижки в разработке реальных приемов оптимизации работ ТОР показаны в современной редакции ГОСТ 20793.

Важнейшей задачей в рассмотренном аспекте является уточнение предельных значений диагностических и структурных параметров узлов трения. Необходимо разработать рекомендации по контролю развития внезапных отказов по качественным признакам и некоторым контролируемым показателям. Таким образом, нормативы показателей технической эксплуатации МТП АПК требуют уточнения, но не по непрактичным кабинетным теориям [6–8], а на основе контроля технико-экономических показателей эксплуатации и сервиса МТП по традиционной бухгалтерской отчетности предприятий. Это проще, достовернее и не обобщенно, а индивидуально для каждой машины.

#### Список использованных источников

1. Селиванов, А. И. Основы теории старения машин / А. И. Селиванов. – М. : Изд-во Машиностроение, 1964. – 404 с.
2. Дунаев, А. В. Исследование диагностических параметров, разработка методов и средств их контроля для совершенствования диагностирования и технического обслуживания МТП АПК / А. В. Дунаев, С. А. Соловьев. – М. : ГОСНИТИ, 2014. – 359 с.
3. Михлин, В. М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники / В. М. Михлин. – М. : Колос, 1984. – 336 с.
4. Диагностика и техническое обслуживание машин : учебник / А. Д. Ананьин [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский центр «Академия», 2015. – 416 с.
5. Ушанов, В. А. Практическое использование результатов оптимизации параметров системы ТОР для повышения эффективности эксплуатации машин / В. А. Ушанов // Труды Красноярского государственного аграрного университета. – Красноярск, 1995. – С. 5–6.
6. Денисов, В. А. Обеспечение безотказной работы деталей машин с использованием новой системы переменных допусков / В. А. Денисов, А. А. Соломашкин // Инженерные технологии и системы. – 2020. – Т. 30, № 1. – С. 76–91.
7. Стратегии технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственных машин / А. С. Дорохов [и др.] // Технический сервис машин. – 2020. – № 3 (140). – С. 38–48.
8. Черноиванов, В. И. Способ определения остаточного ресурса деталей машин / В. И. Черноиванов, В. А. Денисов, А. А. Соломашкин // Технический сервис машин. – 2020. – № 1 (138). – С. 50–57.

**А. В. Ленский, А. А. Жешко**

## **МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: alex\_lensky@mail.ru, azeshko@gmail.com*

*Аннотация.* В статье рассмотрены применяемые методы и технические средства для определения тягового сопротивления рабочих органов сельскохозяйственных машин для основной обработки почвы, особенности конструкций установок для проведения полевых и лабораторных исследований. Выполнен обзор программных средств для автоматизированного комплектования машинно-тракторных агрегатов (МТА), позволяющий проводить оперативный выбор рационального состава МТА применительно к конкретным природно-производственным условиям.

*Ключевые слова:* рабочие органы почвообрабатывающих машин, тяговое сопротивление, лабораторные и полевые испытания, тензометрия, основная обработка почвы.

**A. V. Lensky, A. A. Zheshko**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: alex\_lensky@mail.ru, azeshko@gmail.com*

## **METHODS FOR DETERMINING THE TRACTION RESISTANCE OF AGRICULTURAL MACHINES**

*Abstract.* The article considers the methods and technical means used to determine the traction resistance of the working bodies of agricultural machines for basic tillage, the design features of installations for field and laboratory research. The review of software tools for automated acquisition of machine and tractor units, which allows for the operational selection of the rational composition of machine and tractor units in relation to specific natural and industrial conditions, is carried out.

*Keywords:* working bodies of tillage machines, traction resistance, laboratory and field tests, strain gauge, basic tillage.

Для качественного комплектования машинно-тракторных агрегатов (МТА) необходимо владеть достоверной информацией о тяговом сопротивлении рабочих органов машин для основной обработки почвы, поскольку именно этот параметр является отправной точкой при выполнении расчетов по сопоставлению энергосредства и выбору рациональной скорости движения агрегата по полю [1]. На величину тягового сопротивления рабочих органов влияет значительное количество факторов, таких как тип почвы, ее влажность и гранулометрический состав, глубина обработки, скорость движения агрегата, засоренность участка камнями, вид предшествующей механической обработки и многие другие параметры. В этой связи, с целью прогнозирования тягового сопротивления почвообрабатывающих рабочих органов в случае их использования в конкретных почвенных условиях при влиянии определенных факторов, целесообразно рассмотреть методы моделирования процессов взаимодействия рабочих органов с почвой, а также существующие алгоритмы и программные средства для комплектования агрегатов и выявить их преимущества и недостатки.

**Обзор технических средств для определения тягового сопротивления рабочих органов сельскохозяйственных машин.** Основой аналитического метода комплектования МТА является наличие объективных данных о тяговом сопротивлении рабочих органов сельскохозяйственных машин.

Определение тягового сопротивления рабочих органов может проводиться в полевых, лабораторных и заводских условиях. Подобные испытания позволяют также обосновать усилия, действующие на детали и сборочные единицы машин, что дает возможность определить их надежность, получить необходимые данные для выполнения технологических расчетов, информацию о качестве изготовления или ремонта и информацию о коэффициенте полезного действия механизмов. Однако основная решаемая задача – выявление энергетических показателей для рационального комплектования сельскохозяйственной машины и энергетического средства.

Одним из наиболее точных методов определения тягового сопротивления являются испытания в полевых условиях.

**Полевые испытания для определения тягового сопротивления.** В настоящее время большинство производителей сельскохозяйственной техники стремятся оснастить разрабатываемые машины для основной обработки почвы различным сочетанием рабочих органов, что позволяет за один проход осуществить крошение, рыхление верхних слоев почвы, перемешивание вертикальных слоев, выравнивание поверхности и другие операции. Также широко используются комбинации почвообрабатывающих рабочих органов с посевными и посадочными агрегатами. Подобные тенденции объясняются, с одной стороны, возможностью снизить затраты на выполнение комплекса операций путем объединения их в одну, а с другой – позволяет уменьшить количество проходов техники по обрабатываемому участку.

В свою очередь применение сложных комбинаций рабочих органов предъявляет повышенные требования к техническим средствам, которые будут использоваться для изучения тягового сопротивления комбинаций рабочих органов. Для исследования тягового сопротивления рабочих органов комбинированного плуга применяется тензометрический измерительный комплекс [2], состоящий из тензометрической установки (рис. 1) и информационно-измерительной системы (рис. 2).

Данный комплекс позволяет определять тяговое сопротивление как отдельных рабочих органов, так и их сочетаний. Основными конструктивными элементами тензометрической установки являются рама 1 и подвижная рамка 2, между которыми закреплен тензометрический

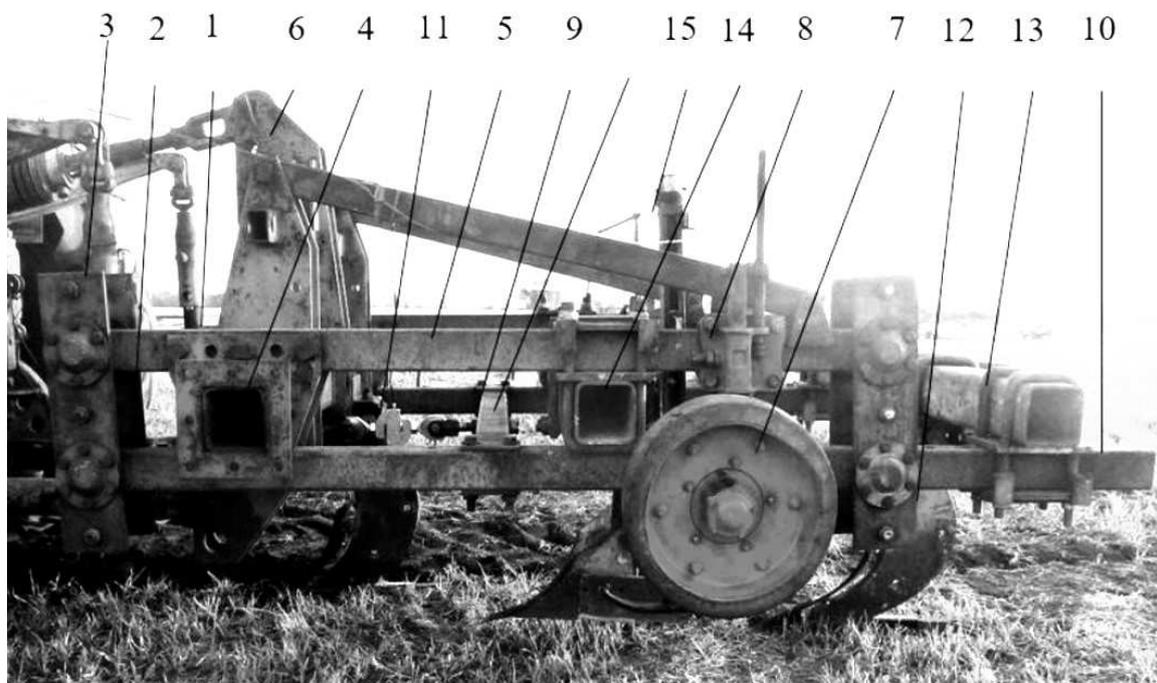


Рис. 1. Тензометрический измерительный комплекс [2]: 1 – рама; 2 – подвижная рамка; 3 – подшипниковый узел; 4 – поперечная балка; 5 – продольная балка; 6 – механизм крепления; 7 – колесо опорное; 8 – механизм регулирования глубины обработки; 9, 10 – поперечная и продольная дополнительные балки; 11 – тензометрический S-образный датчик сжатия-растяжения; 12 – рабочий орган; 13, 14 – подвижная поперечная балка; 15 – измерительный блок глубины обработки

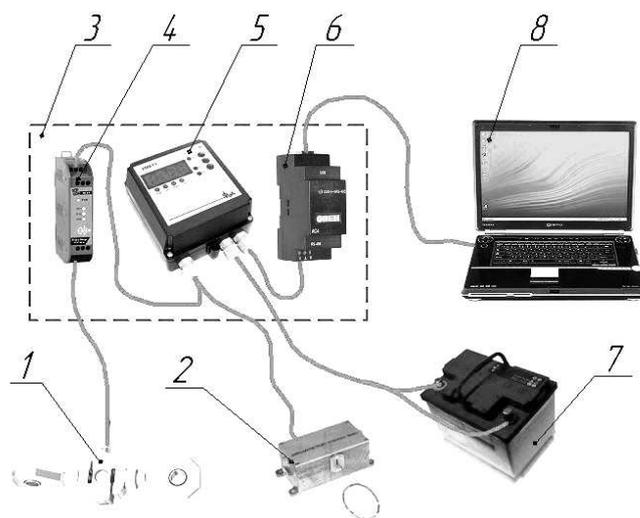


Рис. 2. Информационно-измерительная система [3]:  
 1 – тензорезистивный S-образный датчик сжатия-растяжения;  
 2 – датчик линейных перемещений; 3 – аналогово-цифровой преобразователь;  
 4 – нормализатор сигнала тензодатчика; 5 – измеритель сигнала;  
 6 – интерфейсный преобразователь; 7 – аккумуляторная батарея; 8 – компьютер

S-образный датчик, рассчитанный на усилие до 50 кН. Таким образом, ход подвижной рамки ограничен тензометрическим датчиком.

Аппаратная часть измерительной системы позволяет снять сигнал и передать его для обработки в портативный компьютер. Обработка сигнала осуществляется с помощью пакета GAUS 8, разработанного для объединения данных с датчиков и оперативной трансляции результатов изменений на персональный компьютер. Пакет GAUS 8 также позволяет накапливать и архивировать данные, представлять данные в табличной или графической форме и записывать информацию о времени, тяговом сопротивлении и глубине обработки.

Перед началом измерений проводится тарировка прибора. Тензометрический блок поднимается так, чтобы рабочие органы не были заглублены в почву. Нормализатор сигнала устанавливается на значение 0. Испытания проводят на длине 100 м при рабочей скорости 1,5–2,5 км/ч. Для обеспечения постоянной ширины захвата рабочего органа на тензометрическом датчике размещается рыхлитель, который служит для имитации прохода предыдущего рабочего органа.

Современное тензометрическое оборудование для измерения тягового сопротивления характеризуется сложностью применения в полевых условиях ввиду «дрейфа нуля» тензометрического усилителя. Для устранения негативных последствий используется усовершенствованная конструкция оборудования, состоящего из динамометрических саней и измерительного комплекса с портативным компьютером [3]. Тензометрические сани состоят из рамы и подвижной каретки и присоединяются к трактору посредством снлицы (рис. 3) [4]. На раме крепится исследуемый рабочий орган и располагается аппаратная часть измерительного устройства.

Измерительное устройство со снятым лентопротяжным механизмом, представляет собой винтовую пружину, работающую на сжатие (рис. 4). Деформация пружины фиксируется контроллером, и сигнал передается на компьютер для последующей обработки.

Программное обеспечение позволяет провести точную настройку для обработки получаемых сигналов. Для проведения полевых экспериментов предварительно изготавливаются и тарируются на стерне пружины с различной степенью жесткости. В результате получают график зависимости тягового сопротивления и соответствующего линейного перемещения контроллера.

Данные, получаемые в результате изменений, сохраняются в виде массива, который затем подвергается математической обработке в специальных статистических пакетах анализа.

В процессе проведения испытаний в полевых условиях необходимо фиксировать рабочую скорость перемещения агрегата по полю. Для этих целей используется GPS навигатор. Однако



Рис. 3. Сани для измерения тягового сопротивления [4]: 1 – саница; 2 – рама; 3 – измерительный комплекс; 4 – каретка; 5 – подвеска; 6 – регулятор глубины обработки; 7 – рабочий орган; 8 – компьютер; 9 – сидение для оператора

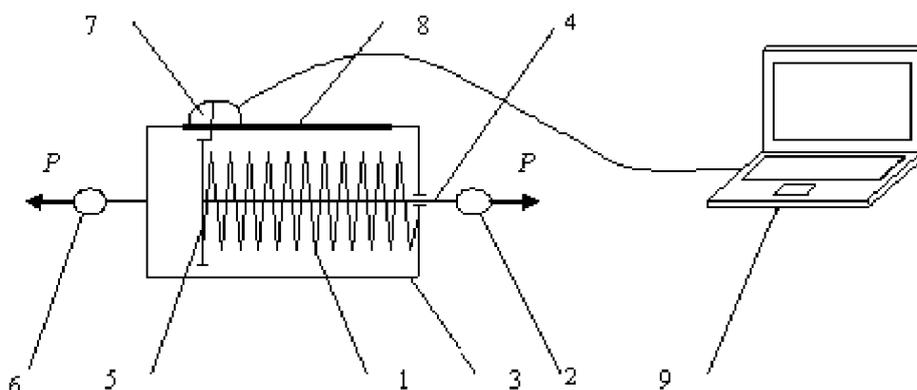


Рис. 4. Измерительный комплекс [4]: 1 – винтовая пружина; 2, 6 – серьги; 3 – корпус прибора; 4 – шток; 5 – подвижная опорная шайба; 7 – контроллер; 8 – дорожка; 9 – компьютер

добиться желаемой точности определения скорости возможно лишь в том случае, если длина гона составляет не менее 150 м [4].

К преимуществам данного технического решения можно отнести стабильность выхода на нулевой сигнал, надежность в работе и простоту регулировок. К недостаткам – значительное количество подготовительных операций: изготовление и тарировку пружин, а также обработку огромного массива собранных данных.

Таким образом, определение тягового сопротивления рабочих органов в полевых условиях осуществляется путем перемещения трактором по выбранной делянке оборудования, оснащенного тензометрическими устройствами, с последующей обработкой специальными программными средствами. Результаты измерений при этом максимально приближены к реальным производственным условиям, однако зависят от метеорологических условий и сопряжены с существенными затратами.

**Лабораторные испытания для определения тягового сопротивления рабочих органов.** Тензометрия рабочих органов в лабораторных условиях позволяет сократить время и не зависит от метеорологических условий при проведении исследований по определению тягового сопротивления почвообрабатывающих машин. Лабораторные установки позволяют проводить испы-

тания с фиксированной скоростью перемещения рабочего органа на стабильной глубине. Однако точность подобного метода уступает тензометрированию в полевых условиях.

Существуют различия в конструкции установок для лабораторных исследований.

Большинство из них позволяет проводить замеры только горизонтальных составляющих тяговых усилий в трех точках. Для этого используется специальная переходная навеска.

Также может использоваться навесное устройство с наклеенными на тяги тензометрическими датчиками. Однако обработка данных, снятых с использованием подобного устройства, является трудоемким процессом.

Установка для пространственного тензометрирования в лабораторных условиях представлена на рис. 5 [5]. Основными узлами являются тяговая тележка с трехточечным навесным устройством и тензометрическое оборудование – две рамки, соединенные тягами, шаровые шарниры, раскосы.

Применение подобных установок позволяет фиксировать как горизонтальные, так и вертикальные составляющие тягового усилия, что позволяет получать необходимые данные для математического моделирования в случае изучения динамики и устойчивости проектируемых рабочих органов.

Экспериментальная установка для тензометрирования дисковых рабочих органов в лабораторных условиях представлена на рис. 6 [6]. При проведении исследований тяговое сопротивление, создаваемое рабочим органом, приводит к деформации балки, к которой крепится стойка дискового рабочего органа. Путем тензометрирования определяются величина деформации и, как следствие, значение тягового сопротивления.

Измерения проводятся при передвижении установки по грунтовому каналу. Данные о результатах измерений передаются от датчиков на персональный компьютер, где отображаются результаты в режиме реального времени.

Другая установка для измерения тягового сопротивления различных рабочих органов и элементов почвообрабатывающих машин в лабораторных условиях представлена на рис. 7 [7]. Глубина обработки при испытаниях может варьироваться от 0 до 300 мм; угол атаки можно изменять в диапазоне  $\pm 25^\circ$ .

Каретка перемещается электродвигателем мощностью 5,5 кВт. При этом скорость перемещения составляет от 1,80 до 5,58 км/ч.

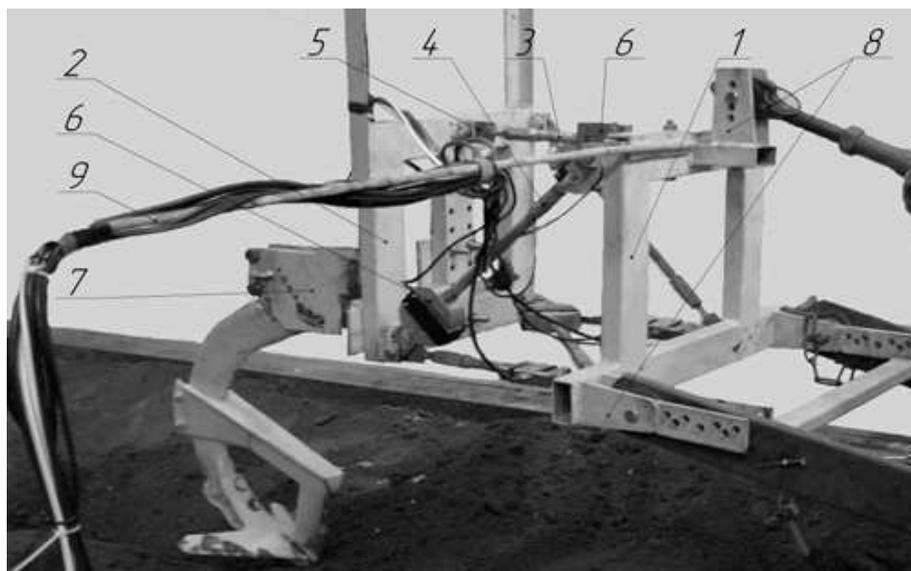


Рис. 5. Установка для пространственного тензометрирования в лабораторных условиях [5]:  
1, 2 – рамки; 3 – параллельные тяги; 4 – раскосы; 5 – шаровые шарниры; 6 – тензометрические звенья;  
7 – механизм регулирования угла установки рабочего органа; 8 – навеска; 9 – кабель

Исследование тягового сопротивления корпуса плуга в работе [7] позволило сделать вывод о том, что величина тягового сопротивления зависит как от глубины обработки, так и от поступательной скорости движения. Кроме того, установка может применяться для проведения исследований по изучению зависимости буксования колес и влияния параметров вертикальной нагрузки.

Таким образом, лабораторные исследования, по сравнению с полевыми опытами, позволяют получить данные о тяговом сопротивлении рабочих органов вне зависимости от метеорологических условий и с наименьшими затратами труда и денежных средств, однако с некоторым отклонением от данных, полученных в реальных полевых условиях.

**Алгоритмы и программные средства для комплектования машинно-тракторных агрегатов.** Существующие методики комплектования МТА, основанные на выборе рациональных энергетических средств, требуют обработки накопленных данных о тяговом сопротивлении и другой информации, а также затрат времени на выполнение расчета. С целью автоматизации вычислений и быстрой обработки данных многие исследователи пошли по пути разработки отдельных приложений, а также приложений для расчета в электронных таблицах (рис. 8), которые позволяют существенно упростить выбор рациональных агрегатов для обычного пользователя.

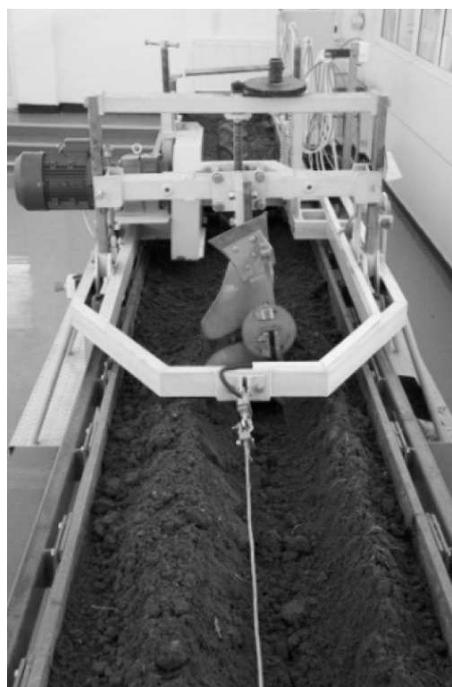
Применение электронных таблиц для комплектования МТА, согласно мнению авторов [8], позволяет эффективно подбирать машину к трактору или наоборот, а также полученные результаты



Рис. 6. Экспериментальная установка для тензометрирования дисковых рабочих органов в лабораторных условиях [6]



*а*



*б*

Рис. 7. Установка для измерения тягового сопротивления рабочих органов (*а* – опорного колеса) и элементов (*б* – корпуса плуга) почвообрабатывающих машин [7]

A5 MAJOR TILLAGE TOOLS															
A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	Given Implements										
38	39	40	41	42	Sizing Implements										
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74
75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106
107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122
123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138
139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154
155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186
187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202
203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218
219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234
235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250
251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266
267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282
283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298
299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314
315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330
331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346
347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362
363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378
379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394
395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410
411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426
427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442
443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458
459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474
475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490
491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506
507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522
523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538
539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554
555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570
571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586
587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602
603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618
619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634
635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650
651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666
667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682
683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698
699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714
715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730
731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746
747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762
763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778
779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794
795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810
811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826
827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842
843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858
859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874
875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890
891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906
907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922
923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938
939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954
955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970
971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986
987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002
1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018
1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034
1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050
1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066
1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082
1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098
1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114
1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130
1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146
1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162
1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178
1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194
1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210
1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226
1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242
1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258
1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	12

можно использовать для прогнозирования производительности и расхода топлива при выполнении сельскохозяйственных операций.

Компьютерная программа TractorMatch (рис. 9) [9] разработана для платформы Windows и позволяет достаточно качественно комплектовать МТА. Тяговое сопротивление машин и орудий определяется по уравнениям, предложенным инженерами ASABE. Программа подключается к обширным базам данных тракторов и сельскохозяйственных машин и, по мнению авторов, может успешно использоваться на практике и в учебных целях.

Также алгоритмы комплектования трактора и сельскохозяйственной машины для различных почв и условий эксплуатации являются элементами комплексной системы принятия решений [10]. Согласно алгоритму работы, предварительно вычисляется мощность трактора, которая необходима для выполнения конкретных сельскохозяйственных операций в зависимости от почвенных условий и других факторов. Далее осуществляется выбор типа движителя трактора и особенности приводных осей. Исходными данными для вычислений являются мощность трактора, тип почвы, ширина захвата машины, тяговое сопротивление, эффективность комплектования, рабочая скорость движения и др. После выполнения вычислений программа выдает оптимальную мощность трактора для данной операции, максимальную ширину захвата машины и другие показатели.

Иранские ученые разработали десктопное приложение (рис. 10) [11] для комплектования МТА, которое актуально ввиду широкого распространения в Иране тракторов мощностью от 5,5 до 60,0 кВт и большого количества машин и орудий для почвообработки к ним. Программа подключается к базам данных испытательных станций, в которых информация накапливается с 1990 г.; также имеется внутренняя база тракторов и сельскохозяйственных машин.

Существует возможность указания не только общих характеристик тракторов и машин, но также условий их использования, сроков выполнения операций и других параметров.

Использование программы позволяет не только эффективно комплектовать агрегаты, но также определять резервы экономии энергии для различных условий эксплуатации.

Приложение Tracimp (рис. 11) [12] позволяет для выбранных энергосредства и сельскохозяйственной машины определить тяговое сопротивление и подобрать рабочую скорость движения для конкретных производственных условий. Также программа позволяет вычислить основные технико-экономические показатели операции, выполняемой скомплектованным агрегатом. Основными принципами, которые заложены в программу Tracimp для рационального комплектования, являются: учет конструктивных и технологических особенностей агрегируемой машины,

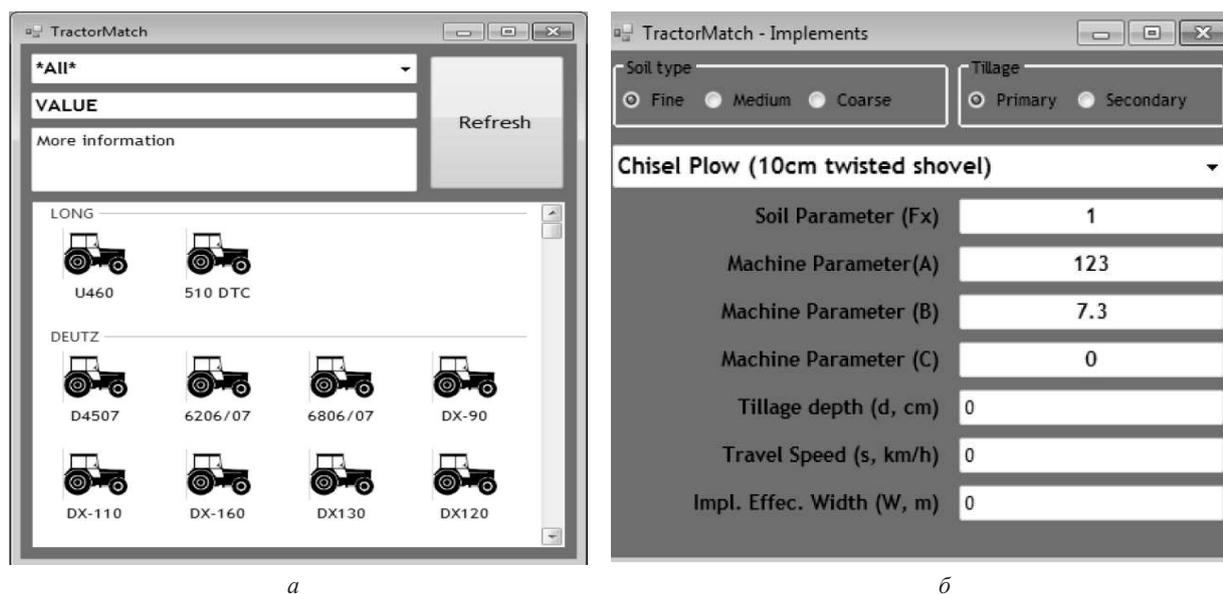


Рис. 9. Приложение для проверки правильности комплектования МТА.  
База данных: а – тракторов; б – сельскохозяйственных машин

## Selection of Tractor Size

### View Process

Maximum Power Require		Engine (hp)	PTO (hp)	Draw bar (hp)	Tractor type
Power Needed For tillage	1	23.52	19.6	15.68	2WD
Power Needed For tillage	2	37.26	31.05	24.84	2WD
Power Needed For tillage	3	50.65	42.21	33.76	2WD
Power Needed For tillage		0	0	0	0

### Chosen Tractor

Tillage_1	Tillage_2	Tillage_3	Tillage
<b>Tractor Type</b> <input type="text" value="2WD"/>	<b>Tractor Type</b> <input type="text" value="2WD"/>	<b>Tractor Type</b> <input type="text" value="2WD"/>	<b>Tractor Type</b> <input type="text"/>
<b>Tractor Name</b> <input type="text" value="ITM 942"/>	<b>Tractor Name</b> <input type="text" value="Darvana 604"/>	<b>Tractor Name</b> <input type="text" value="Universal1"/>	<b>Tractor Name</b> <input type="text"/>
<b>PTO Power (HP)</b> <input type="text" value="20"/>	<b>PTO Power (HP)</b> <input type="text" value="33"/>	<b>PTO Power (HP)</b> <input type="text" value="45"/>	<b>PTO Power (HP)</b> <input type="text"/>
<b>Old of Tractor (yr)</b> <input type="text" value="4"/>	<b>Old of Tractor (yr)</b> <input type="text" value="4"/>	<b>Old of Tractor (yr)</b> <input type="text" value="18"/>	<b>Old of Tractor (yr)</b> <input type="text"/>
<b>Economic Age (hr)</b> <input type="text" value="15000"/>	<b>Economic Age (hr)</b> <input type="text" value="12000"/>	<b>Economic Age (hr)</b> <input type="text" value="15000"/>	<b>Economic Age (hr)</b> <input type="text"/>

Рис. 10. Программа для комплектования машинно-тракторных агрегатов [11]

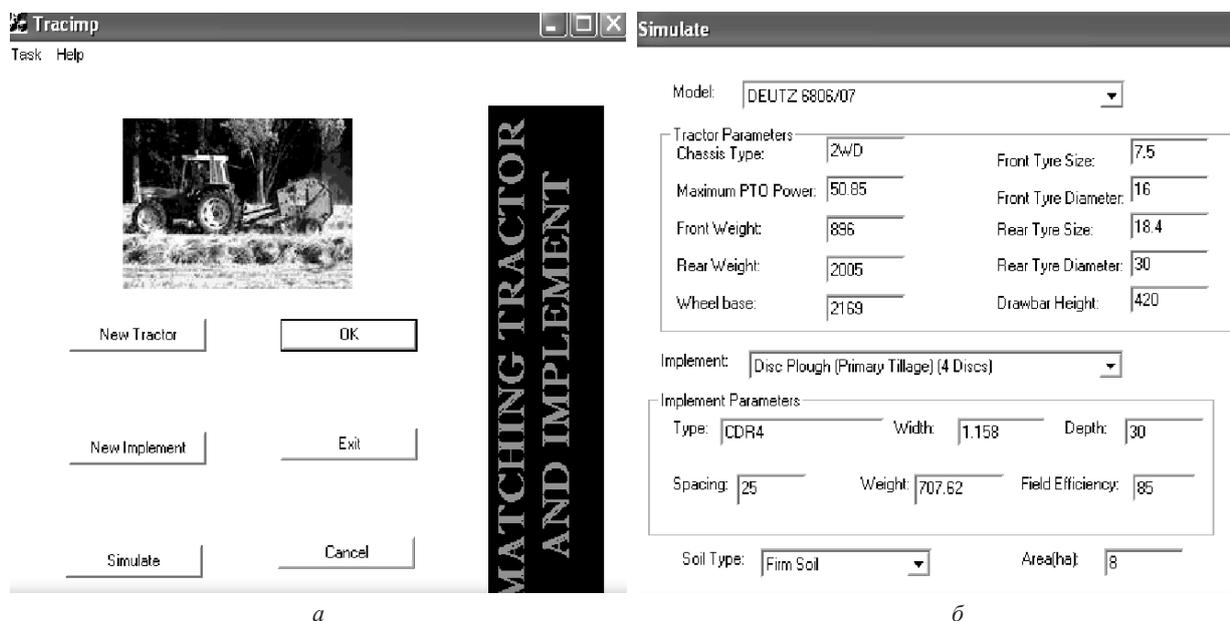


Рис. 11. Программа для комплектования машинно-тракторных агрегатов Tracimp [12]:  
*a* – окно ввода исходных данных; *б* – окно ввода параметров агрегата

таких как ширина захвата, рабочая скорость, состояние почвы; а также параметры трактора: балансировка, распределение веса по осям, тип тягового устройства и условия эксплуатации. В модель заложены стандарты ASAE D497.5 и модель Brixius.

Существенным недостатком программы Tracimp является ее привязка к платформе Windows и невозможность интеграции с картографическими сервисами для уточнения контуров полей. Данную программу рекомендуют для использования в образовательных целях и на практике.

Таким образом, применяемые в настоящее время программные продукты являются десктопными приложениями, что существенно ограничивает возможность их применения на практике. Также отсутствует возможность интеграции с картографическими сервисами и серверами данных о метеонаблюдениях и погоде для уточнения результатов расчета по комплектованию МТА. В этой связи разработка онлайн-приложения и приложения для мобильных устройств для комплектования МТА с интеграцией с серверами погоды и картографическими сервисами является актуальной задачей.

## Выводы

Проведенный аналитический обзор методов определения тягового сопротивления сельскохозяйственных машин и программных средств для комплектования МТА позволил сделать следующие выводы.

1. Лабораторные исследования по сравнению с полевыми опытами позволяют получить данные о тяговом сопротивлении рабочих органов вне зависимости от метеорологических условий и с наименьшими затратами труда и денежных средств, однако с некоторым отклонением от данных, полученных в реальных полевых условиях;

2. Применяемые в настоящее время программные продукты являются десктопными приложениями, что существенно ограничивает возможность их применения на практике. Также отсутствует возможность интеграции с картографическими сервисами для уточнения результатов расчета по комплектованию МТА.

## Список использованных источников

1. Ленский, А. В. Формирование эффективной системы машин для механизации растениеводства / А. В. Ленский. – Минск : НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2018. – 377 с.
2. Universal equipment for determining traction resistance of working bodies and their combinations designed for soil treatment / Maxim P. Erzamaev [et al.] / BIO Web of Conferences 17, 00010. – 2020.

3. Ерзамаев, М. П. Повышение эффективности вспашки разработкой и применением способа ярусной обработки почвы и комбинированного плуга : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / М. П. Ерзамаев ; ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА». – Пенза, 2012. – 18 с.
4. Смирнов, М. П. Способ и устройство для измерения тягового сопротивления почвообрабатывающих рабочих органов / М. П. Смирнов, П. А. Смирнов, Е. П. Алексеев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – Барнаул, 2012. – № 1 (87). – С. 96–100.
5. Шабанов, М. Л. Изучение силовых параметров рабочих органов почвообрабатывающих машин с использованием тензометрических установок / М. Л. Шабанов, М. Н. Лысач, А. А. Шкильный // Молодой ученый : ежемес. науч. журн. – 2014. – № 6 (65). – С. 271–274.
6. Results of experiments to determine the traction resistance of a disk working body / R. Sakhapov [et al.] // Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad : International Scientific and Practical Conference (DAIC 2020), Yekaterinburg, October, 15–16, 2020. – Yekaterinburg, 2020. – Vol. 222. – doi:10.1051/e3sconf/202022203006
7. Impact of Agricultural Traffic and Tillage Technologies on the Properties of Soil / I. Tenu [et al.] // Resource Management for Sustainable Agriculture / University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine. – Iasi, Romania, 2012. – doi:10.5772/47746
8. Grisso, Robert. Spreadsheet for Matching Tractors and Implements / Robert Grisso, John Perumpral, Frank Zoz / An ASABE Meeting Presentation. – Paper Number: 061085.
9. John, O. Awulu efficient matching of tillage implements with tractors using a computer program / O. John // International Journal of Agriculture Innovations and Research. – ISSN (Online): 2319-1473. – 2001. – Vol. 4, iss. 6.
10. Omer, A. Abdalla Decision support system for matching tractor power and implement size in irrigated farming of Sudan / A. Omer // International Educational Applied Scientific Research Journal. – ISSN (Online): 2456-5040. – 2016. – Vol. 1, iss. 2.
11. Development of Decision Support Software for Matching Tractor Implement System Used on Iranian Farms / R. Loghmanpourzarini [et al.] // American Journal of Engineering Research. – ISSN 2320-0936. – 2013. – Vol. 2, iss. 7. – P. 86–98.
12. Ishola, T. A. An object-oriented program for matching tractors and implements / T. A. Ishola, A. O. Ogunlela, M. S. Abubakar // International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS. – 2010. – Vol. 10, no. 2. – P. 1–10.

**А. В. Белевич<sup>1</sup>, Д. И. Кабанов<sup>1</sup>, С. А. Антошук<sup>1</sup>, Э. Н. Сабзиев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: bats@ncpmm.bas-net.by

<sup>2</sup>Институт систем управления НАН Азербайджана

г. Баку, Азербайджанская Республика

E-mail: info@cyber.az

## **СОЗДАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ: ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

*Аннотация.* По мере старения населения в мире увеличивается отток людей из сельской местности. В то же время управление сельским хозяйством становится все более организованным, хозяйства укрупняются. Чтобы поддерживать эффективное и стабильное управление сельскохозяйственным предприятием, необходимо повышать производительность и одновременно увеличивать прибыль. Для этого сельскохозяйственная техника должна стать более эффективной, в первую очередь с точки зрения затрат труда.

С целью продвижения и дальнейшего развития точного земледелия ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси» совместно с ОАО «МТЗ» разработан макет трактора, который обеспечивает автоматическую работу без участия человека, что позволит добиться более высокой эффективности и точности, а также сократить затраты труда.

В статье кратко описаны ситуация и перспективы в области создания беспилотных тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин в мире и Республике Беларусь.

*Ключевые слова:* беспилотный трактор, беспилотная система для сельского хозяйства.

**A. V. Bialevich<sup>1</sup>, D. I. Kabanau<sup>1</sup>, S. A. Antashuk<sup>1</sup>, E. N. Sabziev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>SSI "Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: bats@ncpmm.bas-net.by

<sup>2</sup>Institute of Control Systems of the NAS of Azerbaijan

Baku, Republic of Azerbaijan

E-mail: info@cyber.az

## **CREATION OF UNMANNED TRACTORS: TRENDS AND PROSPECTS**

*Abstract.* With aging population, farmers abandoning their farmlands have been increased in the world. On the other hand, agricultural management is becoming increasingly organized and incorporated. In order to sustain efficient and stable farm management, it is necessary to improve productivity and profitability, which requires agricultural machinery to become more efficient and labor-saving.

With the promotion of ICT-based smart agriculture, next-generation agriculture, The Joint Institute of Mechanical Engineering and MTZ have developed an tractor that enables unmanned automatic operation, in order to accomplish higher efficiency and precision and reduce more workers and labors.

The article briefly describes the situation and prospects in the field of the creation of unmanned farm work systems and tractors in the world and in Belarus.

*Keywords:* unmanned tractor, unmanned system for agriculture.

### **Введение**

Агропромышленный комплекс – одна из ведущих экспортно ориентированных отраслей республики. По мнению отечественных ученых аграриев, дальнейшее увеличение объемов продукции растениеводства и животноводства связано с внедрением интегрированных систем точного земледелия. Как отмечается в «Национальной стратегии устойчивого социально-экономи-

ческого развития Республики Беларусь на период до 2030 года» [1], а также в материалах II Съезда ученых Республики Беларусь [2], основной акцент в сельскохозяйственном производстве на ближайшую пятилетку будет сделан именно на данные технологии.

В настоящее время хозяйства республики преимущественно ориентируются на традиционные технологии возделывания и уборки культур, предусматривающие использование усредненных показателей и норм по внесению удобрений и высеву семян, которые учитываются при планировании работ, прогнозировании урожайности и, соответственно, расчете прибыли. Такой подход ведет к перерасходу посевного материала, удобрений, пестицидов, топлива, трудовых затрат и, как следствие, к недополучению прибыли, а зачастую – потерям, которые могут достигать порядка 40 ц/га. К примеру, внесение удобрений средней дозой по всему полю приводит к перерасходу сырья на участках с потенциально более высоким плодородием и одновременно – к недостатку питательных веществ с более низким. В отдельных хозяйствах страны уже внедрены некоторые элементы технологии точного земледелия: проводится агрохимическое обследование полей с использованием автоматизированных систем отбора проб, применяется система картирования урожайности, а также автоматического вождения сельскохозяйственной техники и т. д.

Одним из первых элементов точного земледелия, внедренных в хозяйствах республики, является параллельное вождение агрегатов по полю. Установлено, что даже опытный и добросовестный механизатор из-за отсутствия точного ориентира при работе с широкозахватными машинами (например, для внесения удобрений, где ширина захвата может достигать 30 м и более) не выдерживает стыковых проходов, совершая двойную обработку площади или оставляя огрехи на ширину нескольких метров [3]. Перекрытия, по некоторым оценкам, могут достигать 15 % и более, и это без учета потерь урожая. Автоматические системы параллельного вождения позволяют решить проблему перекрытий и необработанных площадей.

### Основная часть

В настоящее время существуют следующие элементы параллельного вождения агрегатов по полю:

- курсоуказатель – включает в себя дисплей и динамик, принцип работы основан на приеме сигнала со спутника, расчета курса и сигнализации механизатору в случае отклонения от него; механизатор по-прежнему управляет агрегатом;

- подруливающие устройства – позволяют в автоматическом режиме поддерживать заданный курс в соответствии с заданием; механизатор перехватывает управление при объезде препятствий и разворотах в конце гона;

- автопилот – управляет агрегатом, производя работы в соответствии с поставленным заданием, включая развороты и объезд препятствий; механизатор по-прежнему находится в кабине, но осуществляет только контроль.

Очевидно, что следующим этапом развития таких систем являются роботизированные беспилотные агрегаты, не требующие присутствия человека, либо контроль может осуществляться удаленно над несколькими агрегатами. В настоящее время мировыми лидерами созданы прототипы беспилотных тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин, ведутся работы по отработке новой технологии.

Одним из первых действующих образцов беспилотного трактора является прототип Autonomous Concept Vehicle Case IH Magnum компании CNH Industrial NV. Основные функциональные возможности:

- система автопилота принимает во внимание габариты трактора и агрегатированной машины;
- учитывает рельеф местности и погодные условия;
- благодаря лидару, камерам и сенсорам распознает препятствия, в том числе движущиеся;
- управлять техникой можно удаленно через компьютер или планшет.

Трактор лишен кабины, таким образом концепцией даже не предусмотрена возможность работы в нем оператора.

Компанией New Holland представлен беспилотный трактор в классической компоновке (с кабиной). Человек может, например, перегнать такой трактор по дороге, довести его до заданной

стартовой позиции и забрать после работы. Работать при этом трактор может самостоятельно. Машина была представлена в августе 2016 г.

Свои автономные прототипы имеют также японские компании Kubota и Yanmar Agri.

В августе 2021 г. стало известно, что одна из крупнейших компаний-производителей тракторов, сельскохозяйственной, лесной и коммунальной техники John Deere приобрела стартап Bear Flag Robotics, который занимается разработкой систем автоматизации тракторов на базе решения, использующего цифровые камеры, радары и лидары, а также софт в облаке. Автопилот компании способен управлять процессом обработки поля без участия человека.

Беспилотный роботизированный трактор АгроБот выпущен компанией Avroa Robotics в России. Согласно заявлению компании, решение представляет собой комплексную беспилотную систему управления, состоящую из «комплекта автоматизации» трактора, диспетчерского центра и ряда вспомогательных систем. Решение может применяться для автоматизации работ в сельскохозяйственной или коммунальной сфере. «Комплект автоматизации» может устанавливаться вместо кабины на новую или существующую основу трактора, что позволяет модернизировать (роботизировать) существующий парк техники.

Таким образом, можно видеть, что процесс создания автономных агрегатов для работ в полевых условиях идет очень быстрыми темпами. Учитывая скорость, с которой беспилотные системы распространяются в сфере автотранспорта, можно сделать вывод, что робот-трактор – это перспектива ближайших нескольких лет.

В соответствии с мировыми трендами в Республике Беларусь также ведутся работы по созданию робота-трактора, в частности специалистами ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси». Первой попыткой института в области создания мобильных робототехнических комплексов стала разработка роботизированной платформы на базе трактора Беларус-132Н (рис. 1) для нужд Министерства по чрезвычайным ситуациям. Работа была осуществлена совместно с ООО «Интеллектуальные процессоры» в 2015 г. Был разработан опытный образец, однако дальнейшего развития работа не получила в связи со спецификой использования машин в условиях чрезвычайных ситуаций.

В 2021 г. ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси» совместно с ОАО «МТЗ» разработан макетный образец робототехнического комплекса на базе трактора Беларус-3522 (рис. 2). Созданная ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»

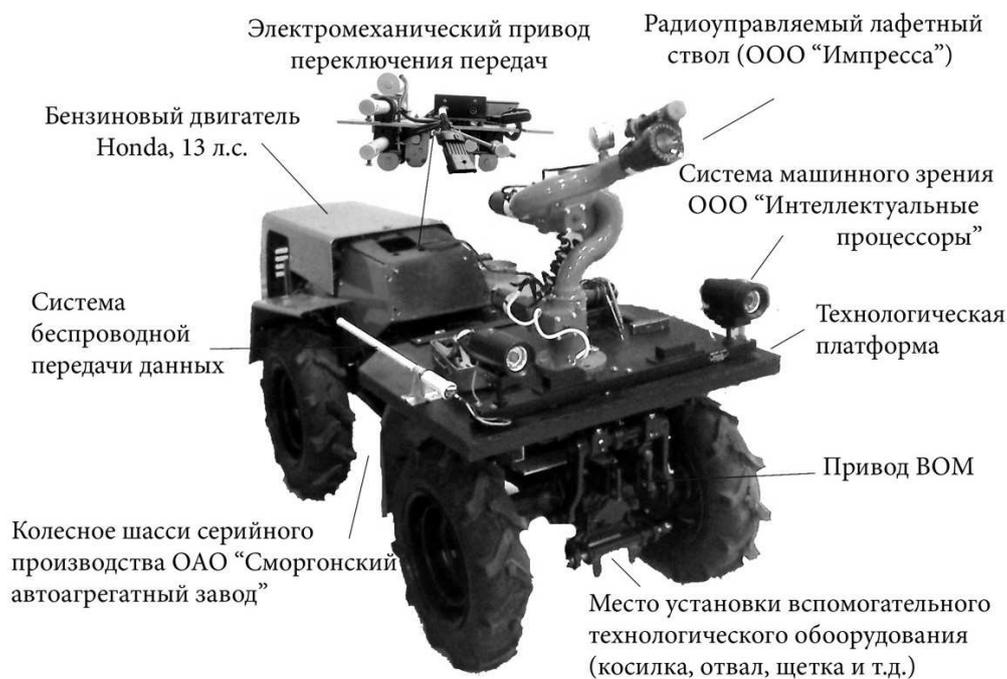


Рис. 1. Роботизированная платформа на базе трактора Беларус-132Н



Рис. 2. Макетный образец робототехнического комплекса на базе трактора Беларус-3522

система управления макетным образцом робототехнического комплекса обеспечивает режимы дистанционного управления оператором по средствам радио и GSM каналов беспроводной передачи данных, а также выполнение комплекса заданных сельскохозяйственных операций в автономном режиме движения на основании предварительно установленного технологического задания. К настоящему времени экспериментально апробирована работа робототехнического комплекса с оборотным плугом, что является одной из наиболее сложных сельскохозяйственных операций с точки зрения требований к точности управления и объема задействованных агрегатов базового шасси. В процессе автономной работы комплекса используются сигналы GPS навигации с комплексом корректирующих поправок, передаваемых по средствам GSM канала связи, а также оптические и радарные системы обеспечения безопасности на базе стереокамер, расположенных в передней и задней частях комплекса, ультразвуковых радарных датчиков и лазерного лидара, обеспечивающего сканирование окружающего пространства и формирование трехмерной виртуальной среды с функциями распознавания различного класса препятствий.

Система управления макетного образца комплекса выполнена на базе многоуровневой архитектуры (рис. 3), что обеспечивает гибкость модификации системы, а также позволило использовать многолетние наработки центра в области распределенных систем управления, создав данный образец в рекордные сроки. В общем виде структура системы включает три основных уровня управления:

- система управления шасси, обеспечивающая отработку заданий системы верхнего уровня по повороту управляемых колес и режимам работы силовой установки;
- система навигации и позиционирования;
- система дистанционного управления и принятия решений в режиме автономного хода, выполняющая координацию работы всех систем на борту роботизированной платформы, включая системы безопасности и технического зрения.

В системе машинного зрения и анализа окружающего трактор пространства используется лидар OUSTER OS1-32, сканирующий пространство вокруг трактора на 360°. По направлению движения спереди и сзади установлены стереокамеры Stereolabs ZED 2, обеспечивающие детекцию и отслеживание объектов на малых и средних расстояниях. Также трактор оснащен системами радаров BOSCH Off-highway radar system, предотвращающими столкновение трактора с другими объектами. Также машина оснащена системой камер кругового обзора BOSCH, позволяющая оператору удаленно оценивать обстановку непосредственно вокруг машины.

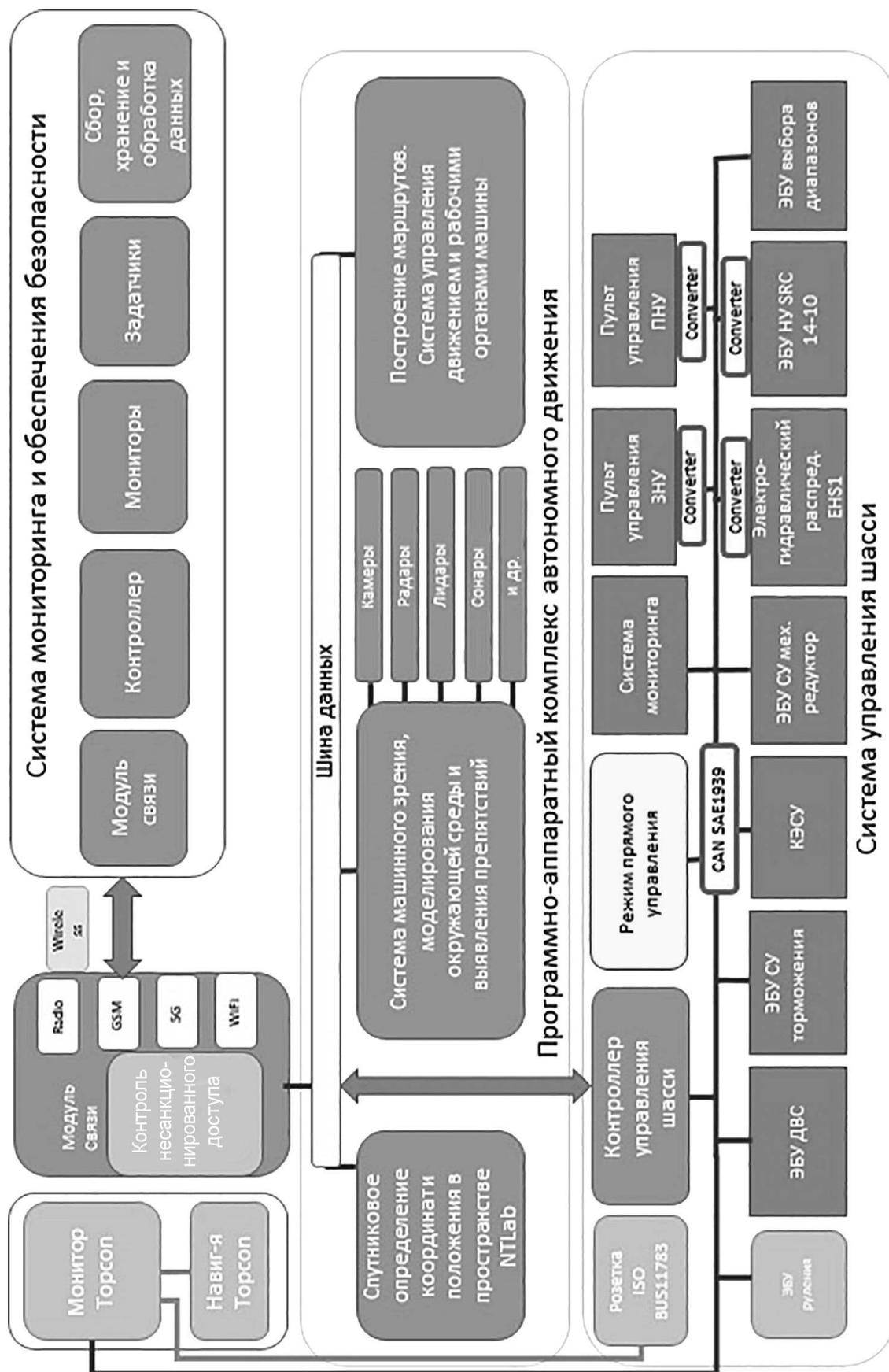


Рис. 3. Структурная схема системы автономного движения и беспилотного управления трактора Беларус-3525

Все системы машинного зрения подключены к высокопроизводительному бортовому компьютеру Jatson AGX Xavier, информация с которого передается на пульт оператора посредством высокоскоростного канала передачи данных 5G.

Для организации работы беспилотного трактора инфраструктурным оператором beCloud создан фрагмент сети 5G. Высокоскоростную передачу данных обеспечивает базовая станция, оснащенная оборудованием, поддерживающим технологию 5G, и функционирующая в диапазоне 3,5 ГГц. Для передачи сигнала от станции к транспортному средству на тракторе установлен комплект специальных устройств.

### **Заключение**

Выполненные работы свидетельствуют о высоком уровне разработок, выполняемых ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси». Кроме того, данный совместный проект демонстрирует возможности технологии 5G для нужд сельского хозяйства республики.

Внедрение в сельском хозяйстве беспилотного транспорта позволит увеличить производительность работ, а также экономию финансовых (за счет снижения потерь урожая от огрехов и перекрытий) и трудовых ресурсов, что особенно актуально в условиях нарастающего дефицита кадров в сельской местности.

### **Список использованных источников**

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: // [https://www.economy.gov.by/ru/dejst\\_prognoz\\_dok-ru/](https://www.economy.gov.by/ru/dejst_prognoz_dok-ru/). – Дата доступа: 01.09.2021.
2. Стратегия «Наука и технологии: 2018–2040» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.gknt.gov.by/news/aktualno/strategiya\\_nauka\\_i\\_tekhnologii\\_2018\\_2040/](https://www.gknt.gov.by/news/aktualno/strategiya_nauka_i_tekhnologii_2018_2040/). – Дата доступа: 01.09.2021.
3. Лях, С. И. О точном вождении агрегатов при внесении удобрений и пестицидов / С. И. Лях, С. А. Антошук // Белорусское сельское хозяйство : ежемес. науч.-практ. журн. / Мин-во сельск. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь. – Минск, 2008. – № 12. – С. 14–16.

**А. В. Захаров, Л. Г. Сапун, И. О. Захарова, В. Г. Костенич**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: tractor\_av@mail.ru*

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ТРАКТОРА КЛАССА 5 ПРИ РАБОТЕ В СОСТАВЕ ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТА**

*Аннотация.* В статье предложена расчетная схема и методика оценки эффективности тормозной системы трактора класса 5 при работе в составе транспортного агрегата. Приведены результаты расчетов для нескольких агрегатов отечественного и зарубежного производства.

*Ключевые слова:* трактор, транспортный агрегат, замедление, остановочный путь, передний мост, рабочие тормоза.

**A. V. Zakharov, L. G. Sapun, I. O. Zakharova, V. G. Kostenich**

*EI "Belarusian State Agrarian Technical University"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: tractor\_av@mail.ru*

### **IMPROVEMENT OF BRAKING SYSTEM EFFICIENCY OF CLASS 5 TRACTOR WHEN OPERATING AS PART OF TRANSPORT UNIT**

*Abstract.* The article proposes a calculation scheme and a methodology for assessing the effectiveness of the braking system of a class 5 tractor when operating as part of a transport unit. The results of calculations for several units of domestic and foreign production are given.

*Keywords:* tractor, transport unit, deceleration, stopping path, front axle, service brakes.

#### **Введение**

С развитием модельного ряда тракторов «Беларус» тягового класса от 1,4 до 5,0 и мощности двигателя от 45 до 260 кВт эксплуатационная масса трактора достигла 12–14 т. Масса агрегата на базе колесного трактора класса 5 с разбрасывателями и транспортными прицепами доходит до 40 т. Транспортные скорости движения таких агрегатов по дорогам достигают 40 км/ч и более, что предъявляет высокие требования к тормозным системам.

Большинство производителей тракторов, кроме задних тормозных механизмов, применяют тормозные механизмы для торможения дополнительно и передним ведущим мостом (ПВМ). Используются следующие схемы установки тормозных механизмов для торможения передним мостом:

- в приводе ПВМ, непосредственно в коробке передач;
- на входном валу ПВМ трактора;
- рядом с дифференциалом ПВМ;
- в колесных редукторах ПВМ.

#### **Основная часть**

Оценка эффективности тормозной системы трактора проводится согласно СТБ 2216-2011 и директивы (ЕС) 2015/68 по максимальному замедлению и тормозному пути. Составим расчетную схему для нахождения тормозных моментов, замедления и тормозного пути тракторного агрегата при торможении задней осью трактора и осями прицепа, а также обеими осями трактора и осями прицепа.

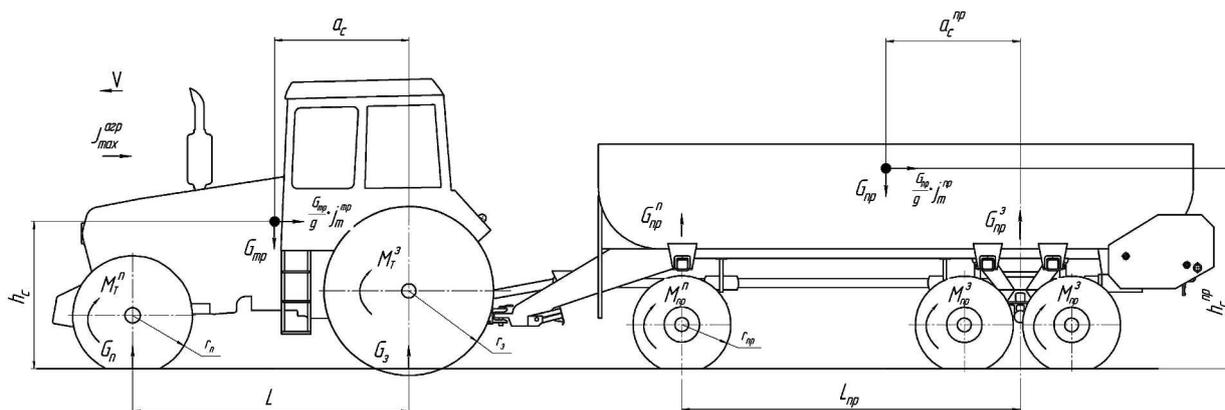


Рис. 1. Расчетная схема тракторного транспортного агрегата

Исходные данные транспортного агрегата для внесения минеральных удобрений Беларус-3522 + МТУ-24:

- тракторный агрегат движется по ровной поверхности;
- вес трактора Беларус-3522  $G_{\text{тр}} = 120,0$  кН;
- продольная база трактора  $L = 3,0$  м,
- координаты центра тяжести:  $a_c = 1,2$  м и  $h_c = 0,9$  м;
- вес машины МТУ-24: порожней –  $G_{\text{п}} = 58$  кН, с грузом –  $G_{\text{п}} = 218$  кН;
- продольная база  $L_{\text{п}} = 3,2$  м;
- координаты центра тяжести:  $a_c^{\text{п}} = 1,5$  м и  $h_c^{\text{п}} = 1,1$  м;
- радиусы колес:
  - трактора: передних –  $r_{\text{п}} = 0,65$  м, задних –  $r_3 = 0,95$  м;
  - прицепной машины  $r_{\text{п}} = 0,4$  м;
- передаточное число конечных передач: ПВМ –  $U_{\text{п}} = 6,54$ , ЗВМ –  $U_3 = 10,45$ ;
- коэффициент сцепления колес с дорогой  $\varphi = 0,7$ ;
- коэффициент условного увеличения массы (учитывает моменты инерции вращающихся масс и силы инерции агрегата)  $\delta_{\text{вр}} = 1,6$ ;
- число одновременно работающих тормозов  $m$ ;
- сцепка жесткая, беззазорная.

Расчетная схема тракторного транспортного агрегата представлена на рис. 1.

Согласно СТБ 2216-2011 длина тормозного пути должна удовлетворять условию

$$\frac{V_0^2}{2J_{\text{max}}^{\text{арп}}} + V_0 t_{\text{т}} \leq 0,18V_0 + \frac{V_0^2}{90}, \quad (1)$$

где  $V_0$  – скорость в момент торможения, м/с;  $J_{\text{max}}^{\text{арп}}$  – максимальное замедление трактора, м/с<sup>2</sup>;  $t_{\text{т}}$  – время срабатывания тормозов, для гидравлического привода 0,3 с.

Согласно директиве (ЕС) 2015/68 предельно допустимая величина тормозного пути определяется по формуле

$$S_{\text{т}} = 0,15V + V^2 / 116, \quad (2)$$

где  $V$  – скорость в момент торможения, км/ч.

Определим замедление и тормозной путь для случая, когда трактор тормозит только задней осью и осями прицепа.

Замедление тракторного агрегата

$$J_{\text{max}}^{\text{арп}} = \frac{g(M_{\text{т}}^3 U_3 \cdot 2 + M_{\text{п}}^3 \cdot 4 + M_{\text{п}}^{\text{п}} \cdot 2)}{\delta_{\text{вр}}(G_{\text{п}} r_{\text{п}} + G_3 r_3 + G_{\text{п}}^{\text{п}} r_{\text{п}} + G_{\text{п}}^3 r_{\text{п}})}. \quad (3)$$

Нагрузка на оси при торможении:

- трактора

$$G_{\Pi} = \frac{G_{\text{тр}}}{L} (a_c + \phi h_c), \quad (4)$$

$$G_3 = \frac{G_{\text{тр}}}{L} (L - a_c - \phi h_c); \quad (5)$$

– прицепа

$$G_{\text{пр}}^{\Pi} = \frac{G_{\text{пр}}}{L_{\text{пр}}} (a_c^{\text{пр}} + \phi h_c^{\text{пр}}), \quad (6)$$

$$G_{\text{пр}}^3 = \frac{G_{\text{пр}}}{L_{\text{пр}}} (L_{\text{пр}} - a_c^{\text{пр}} - \phi h_c^{\text{пр}}). \quad (7)$$

Тормозные моменты, создаваемые:

– задним мостом трактора

$$M_{\text{т}}^3 = \frac{\varphi r_3 G_{\text{тр}}}{m U_3 L} (L - a_c - \phi h_c); \quad (8)$$

– передним мостом трактора

$$M_{\text{т}}^{\Pi} = \frac{\varphi r_{\Pi} G_{\text{тр}}}{m U_{\Pi} L} (a_c + \phi h_c); \quad (9)$$

– задней осью прицепа

$$M_{\text{пр}}^3 = \frac{\varphi r_{\text{пр}} G_{\text{пр}}}{m L_{\text{пр}}} (L_{\text{пр}} - a_c^{\text{пр}} - \phi h_c^{\text{пр}}); \quad (10)$$

– передней осью прицепа

$$M_{\text{пр}}^{\Pi} = \frac{\varphi r_{\text{пр}} G_{\text{пр}}}{m L_{\text{пр}}} (a_c^{\text{пр}} + \phi h_c^{\text{пр}}). \quad (11)$$

Подставим параметры транспортного агрегата Беларусь 3522 + МТУ-24:

$$G_{\Pi} = \frac{120}{3,0} (1,2 + 0,7 \cdot 0,9) = 100,8 \text{ кН};$$

$$G_3 = \frac{120}{3,0} (2,96 - 1,13 - 0,7 \cdot 0,9) = 41,2 \text{ кН};$$

$$G_{\text{пр}}^{\Pi} = \frac{218}{3,2} (1,5 + 0,7 \cdot 1,1) = 183,9 \text{ кН};$$

$$G_{\text{пр}}^3 = \frac{218}{3,2} (3,2 - 1,5 - 0,7 \cdot 1,1) = 63,4 \text{ кН}.$$

Тормозные моменты:

$$M_{\text{т}}^3 = \frac{0,7 \cdot 0,95 \cdot 120,0 \cdot 10^3}{2 \cdot 10,45 \cdot 3,0} (3,0 - 1,2 - 0,7 \cdot 0,9) = 1313,2 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{\text{т}}^{\Pi} = \frac{0,7 \cdot 0,65 \cdot 120,0 \cdot 10^3}{2 \cdot 6,54 \cdot 3,0} (1,2 + 0,7 \cdot 0,9) = 2323,1 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{\text{пр}}^3 = \frac{0,7 \cdot 0,4 \cdot 218,0 \cdot 10^3}{4 \cdot 3,2} (3,2 - 1,5 - 0,7 \cdot 1,1) = 4434,8 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{\text{пр}}^{\text{п}} = \frac{0,7 \cdot 0,4 \cdot 218,0 \cdot 10^3}{2 \cdot 3,2} (1,5 + 0,7 \cdot 1,1) = 21694,4 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$J_{\text{max}}^{\text{агр}} = \frac{9,81(1313,2 \cdot 10,45 \cdot 2 + 4434,8 \cdot 4 + 21694,4 \cdot 2)}{1,6(100,8 \cdot 0,65 + 41,2 \cdot 0,95 + 183,9 \cdot 0,4 + 63,4 \cdot 0,4) \cdot 10^3} = 2,64 \text{ м/с}^2.$$

Тогда при максимальной скорости тракторного агрегата 40 км/ч:  
– согласно СТБ 2216-2011

$$\frac{11,1^2}{2 \cdot 2,64} + 11,1 \cdot 0,3 \leq 0,18 \cdot 40 + \frac{40^2}{90},$$

$$26,6 \text{ м} > 25 \text{ м}$$

условие не выполняется;

– согласно директиве (ЕС) 2015/68

$$S_{\text{T}} = 0,15 \cdot 40 + 40^2 / 116 = 19,79 \text{ м},$$

$$26,6 \text{ м} > 19,79 \text{ м}$$

условие также не выполняется.

Определим замедление и тормозной путь для случая, когда трактор и прицеп тормозят обеими осями.

Замедление тракторного агрегата

$$J_{\text{max}}^{\text{агр}} = \frac{g(M_{\text{T}}^3 U_{\text{з}} \cdot 2 + M_{\text{T}}^{\text{п}} U_{\text{п}} \cdot 2 + M_{\text{пр}}^3 \cdot 4 + M_{\text{пр}}^{\text{п}} \cdot 2)}{\delta_{\text{вр}}(G_{\text{п}} r_{\text{п}} + G_{\text{з}} r_{\text{з}} + G_{\text{пр}}^{\text{п}} r_{\text{пр}} + G_{\text{пр}}^3 r_{\text{пр}})},$$

$$J_{\text{max}}^{\text{агр}} = \frac{9,81 \cdot (1313,2 \cdot 10,45 \cdot 2 + 2313,1 \cdot 6,54 \cdot 2 + 4434,8 \cdot 4 + 21694,4 \cdot 2)}{1,6 \cdot (100,8 \cdot 0,65 + 41,2 \cdot 0,95 + 183,9 \cdot 0,4 + 63,4 \cdot 0,4) \cdot 10^3} = 3,81 \text{ м/с}^2,$$

$$\frac{11,1^2}{2 \cdot 3,81} + 11,1 \cdot 0,3 \leq 0,18 \cdot 40 + \frac{40^2}{90},$$

$$19,48 \text{ м} < 25 \text{ м} \text{ и } 19,48 \text{ м} < 19,79 \text{ м}.$$

Условие выполняется по обоим стандартам. В результате применение тормозов в переднем мосту обосновано.

Выполним расчет эффективности тормозов для различных транспортных агрегатов при скоростях движения 30, 20 и 10 км/ч. Результаты показаны на графиках (рис. 2, 3).

По результатам расчетов видно, что требования СТБ 2216-2011 и директивы (ЕС) 2015/68 по максимальному замедлению и тормозному пути трактора не выполняются без применения тормозов в переднем мосту. При полном затормаживании задних колес (тормозит юзом) на скорости 40 км/ч максимальное замедление транспортного агрегата на примере Беларус-3522 + МТУ-24 на сухом асфальте не превышает 2,64 м/с<sup>2</sup>, тормозной путь 26,6 м по требованиям – 25 и 19 м соответственно.

Поэтому нами предложено доработать конструкцию переднего моста и установить мокрые дисковые тормоза в колесные редукторы ПВМ. Привод тормозов гидростатический, работающий параллельно приводу тормозов заднего моста. Такое их расположение разгружает валы полуосевых шестерен дифференциала и карданные шарниры, установленные в ПВМ.

На рис. 4 изображена конструктивно-расчетная схема предлагаемого дискового тормоза, устанавливаемого в конечные передачи ПВМ трактора Беларус-3522.

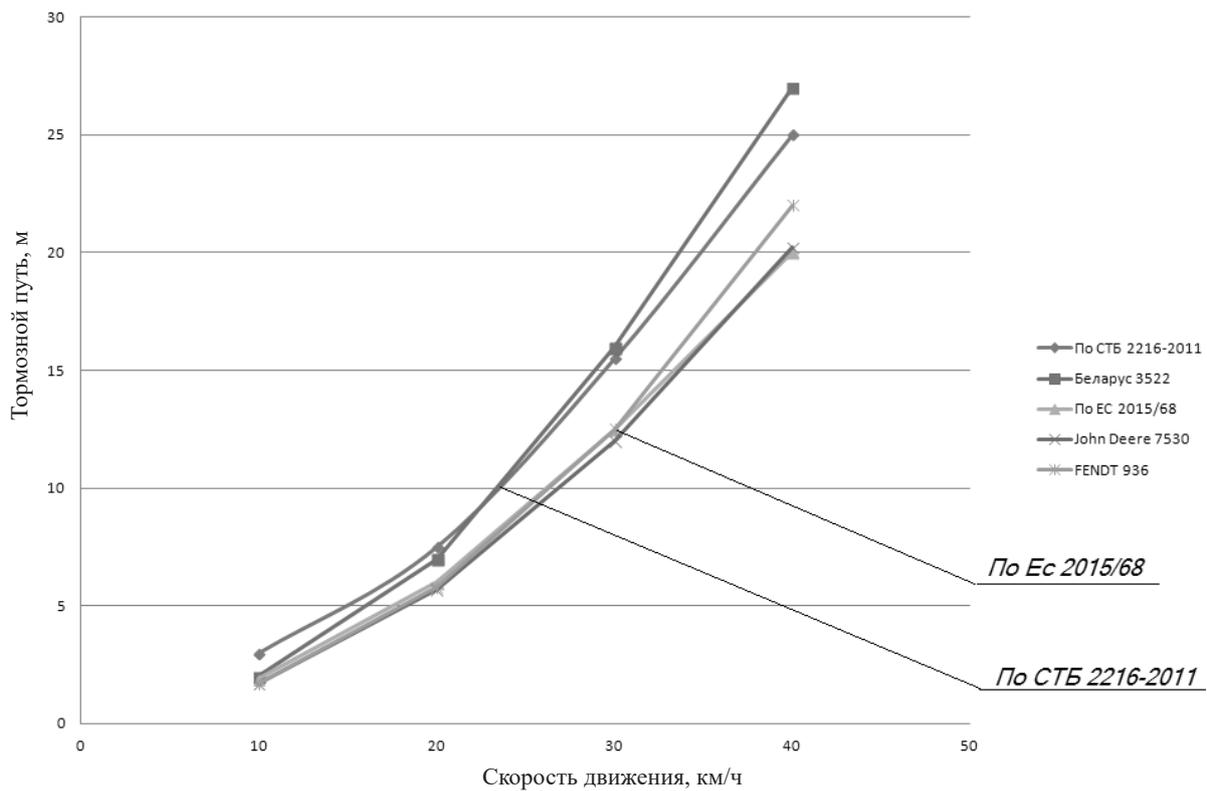


Рис. 2. Тормозной путь тракторного агрегата без применения тормозов в переднем мосту трактора

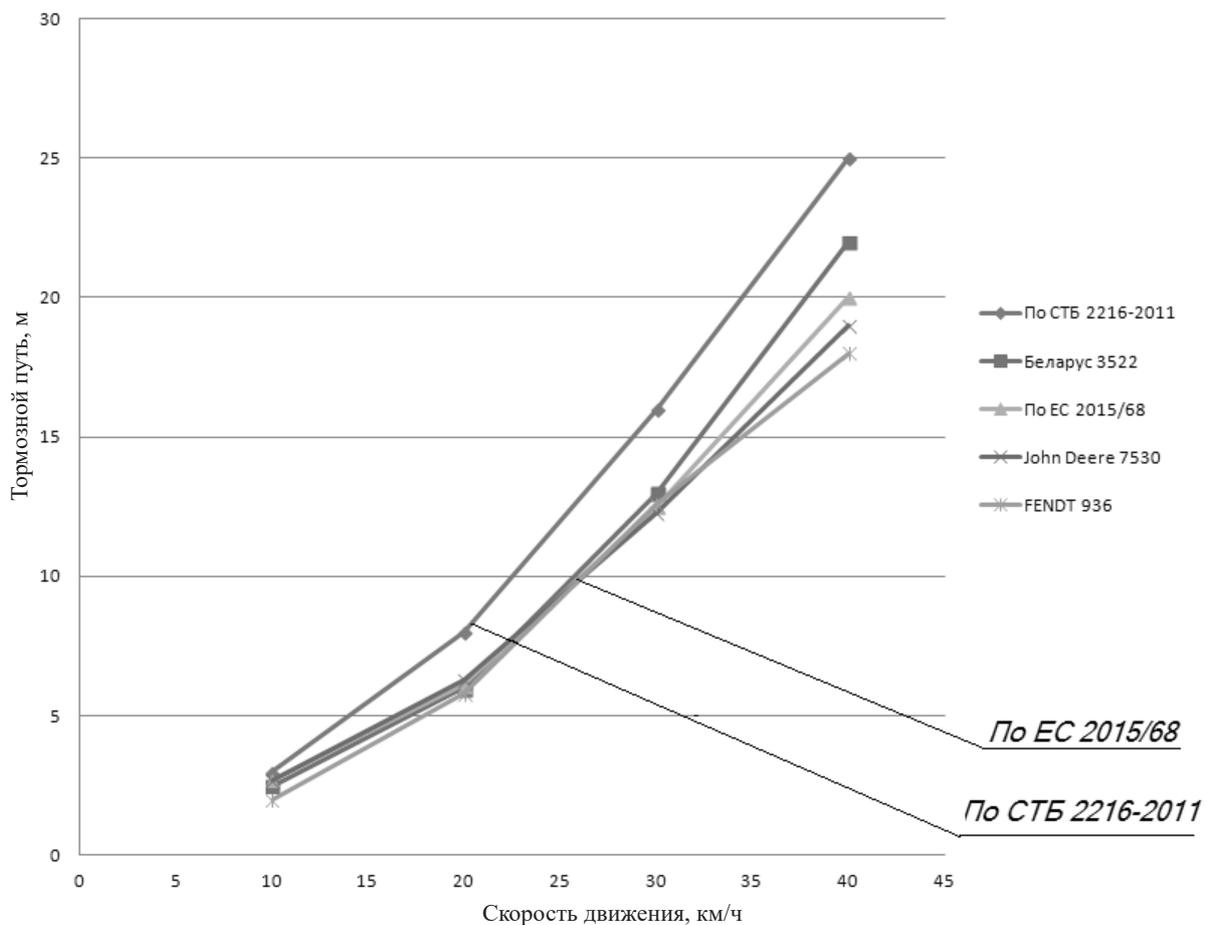


Рис. 3. Тормозной путь тракторного агрегата с применением тормозов в переднем мосту трактора

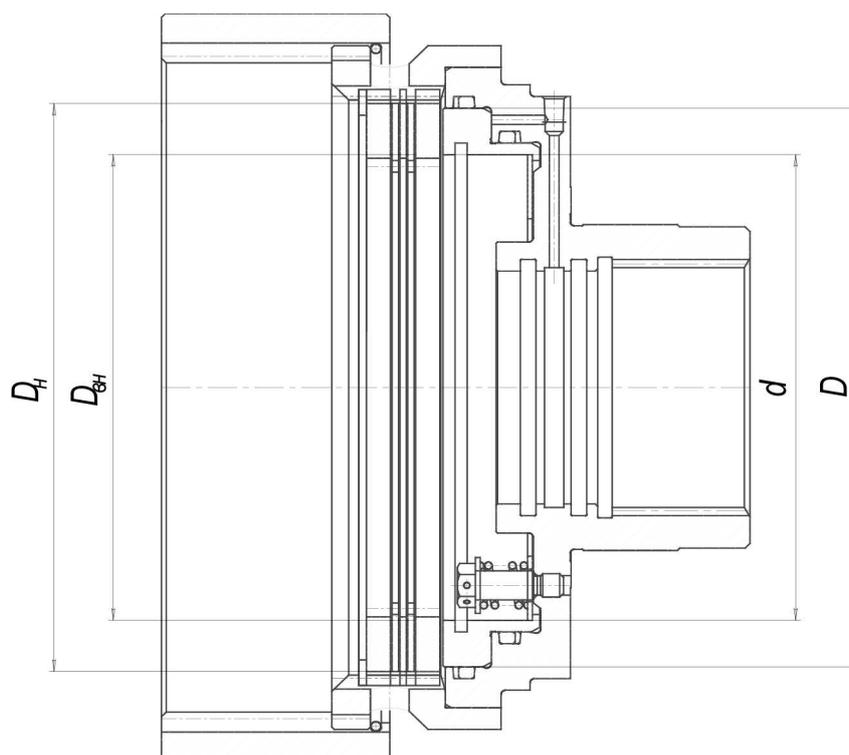


Рис. 4. Конструктивно-расчетная схема дискового тормоза

В результате расчетов параметров рабочих дисковых тормозов мокрого типа с кольцевым цилиндром получены данные:

- наружный  $D$  и внутренний  $d$  диаметры кольцевого поршня – 280 и 230 мм соответственно;
- наружный  $D_{\text{н}}$  и внутренний  $D_{\text{вн}}$  диаметры накладок тормозных дисков – 290 и 226 мм соответственно;
- количество пар трения – по четыре с каждой стороны моста при коэффициенте трения 0,1 и максимальном давлении прижатия 1,8 МПа, материал накладок тормозных дисков – металло-керамика.

### Заключение

Установка дополнительных дисковых тормозов мокрого типа в колесные редукторы ПВМ позволит повысить ресурс тормозных механизмов заднего моста и интенсивность торможения трактора Беларус-3522 в составе прицепного разбрасывателя МТУ-24 (замедление составит не менее  $3,8 \text{ м/с}^2$ , а тормозной путь – около 19 м при скорости 40 км/ч на сухом асфальте; требования европейской директивы (ЕС) 2015/68 и СТБ 2216-2011 выполняются). Эти преимущества дадут сокращение времени на маневрирования во время поворотов и разворотов машинно-тракторного агрегата, что повысит производительность и коэффициент использования рабочего времени смены.

### Список использованных источников

1. Шарипов, В. М. Конструирование и расчет тракторов / В. М. Шарипов. – М. : Машиностроение, 2004. – 592 с.
2. Трактор «Беларус 3222/3522» и его модификации. Руководство по эксплуатации / ПО «Минский тракторный завод». – Минск, 2014. – 394 с.
3. Прицепы и полуприцепы тракторные. Общие технические требования : СТБ 2216-2011 ; введен впервые, 01.01.2012. – Минск : БелГИСС, 2012. – 12 с.
4. Регламент (ЕС) 2015/68 Европейского парламента и Совета в отношении требований к торможению транспортных средств для допуска сельскохозяйственных и лесных транспортных средств ; введен 15.02.2015 взамен (EU) 2011/16.

**В. В. Кузьмич, В. И. Карпунин, В. О. Шункевич, С. Ю. Микульчик**

*УО «Белорусский национальный технический университет»*

*г. Минск, Беларусь*

*E-mail: kuzmichvv@tut.by*

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПЛЕНОК ДЛЯ НУЖД СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

*Аннотация.* Рассмотрено экструзионное оборудование, принцип его работы, технологический процесс получения биоразлагаемых полимерных пленок с учетом показателя текучести расплава.

Полученные экспериментальные данные позволяют заключить, что количественное содержание в композиции крахмала – не более 20–25 %. При наполнении крахмалом свыше 25 % происходит образование агломератов частиц наполнителя, что приводит к существенным изменениям технологических свойств композиционных материалов, а также ухудшает возможность их переработки на существующем оборудовании.

По результатам исследований представлены рекомендации для получения биоразлагаемых пленок.

*Ключевые слова:* экструдер, экструзия, биоразлагаемая пленка, термопластичный материал, агломерат частиц, термодеструкция, модифицированный крахмал.

**V. V. Kuzmich, V. I. Karpunin, V. O. Shunkevich, S. Yu. Mikulchik**

*EI "Belarusian National Technical University"*

*Minsk, Belarus*

*E-mail: kuzmichvv@tut.by*

## **TECHNOLOGICAL PROCESS OF OBTAINING BIODEGRADABLE FILMS FOR THE NEEDS OF AGRICULTURE**

*Abstract.* The extrusion equipment, its operating principle, the technological process of obtaining biodegradable polymer films with account of the melt flow index are considered.

The experimental data obtained allow us to conclude that the quantitative content of starch in the composition is no more than 20–25 %. When filling with starch over 25 %, agglomerates of filler particles are formed, which leads to significant changes in the technological properties of composite materials, and also worsens the possibility of their processing on existing equipment.

Based on the results of the research, recommendations for obtaining biodegradable films are presented.

*Keywords:* extruder, extrusion, biodegradable film, thermoplastic material, particle agglomerate, thermal degradation, modified starch.

### **Основная часть**

В процессе экструзии происходит непрерывное превращение термопластичного материала в виде гранул в пленку. Последовательность стадий процесса экструзии была следующей: 1) пластикация сырья в виде гранул или порошка; 2) дозирование пластицированного расплава через фильеру, которая придает ему требуемую форму, например рукава; 3) охлаждение и фиксирование требуемой формы; 4) намотка в рулоны.

Экспериментальный экструдер состоял из: корпуса с нагревательными элементами и головкой; рабочего органа – шнека, размещенного в корпусе; узла загрузки перерабатываемого материала в бункере; силового привода; для системы управления и поддержания температурного режима, других контрольно-измерительных и регулирующих устройств (рис. 1).

Стадии 1 и 2 происходят в экструдере, стадии 3 и 4 являются вспомогательными. Экспериментальный экструдер содержит главный рабочий орган – шнек, который вращается внутри нагретого цилиндра. Полимерные гранулы поступают через загрузочную воронку, установленную



Рис. 1. Экспериментальный экструдер

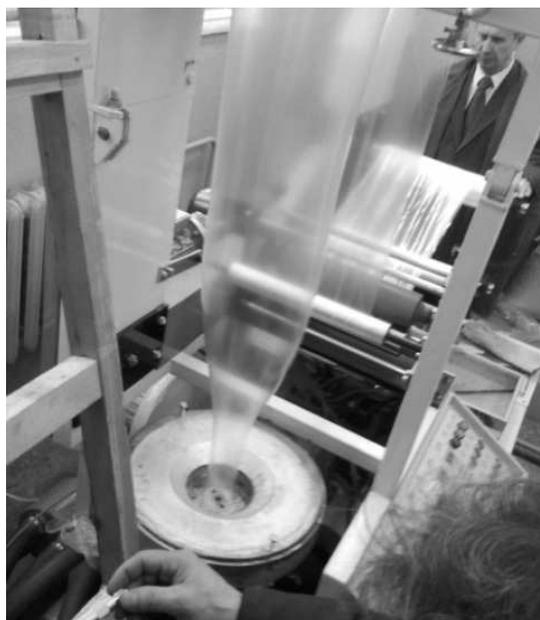


Рис. 2. Получение рукавной пленки

на одном конце цилиндра, и перемещаются с помощью шнека вперед, вдоль цилиндра к головке. При движении вперед гранулы расплавляются за счет контакта горячими стенками цилиндра и за счет тепла, выделяющегося от трения.

При экструзии с раздувом рукава расплавленный полимер поступает в головку, где он обтекает мундштук и выходит через кольцевое отверстие головки в форме трубы (рис. 2).

При процессах экструзии раздув пленки становится более экономичным при увеличении скорости процесса, увеличение потока воздуха приводит к более быстрому охлаждению рукава и снижению линии кристаллизации, но и этот прием ограничен в своем применении, так как слишком высокая скорость потока воздуха вызывает деформацию рукава [1].

Поскольку подавляющее большинство пленок изготавливают из полиэтилена низкой плотности, необходимо рассмотреть влияние различных параметров полимера, таких как показатель текучести расплава и молекулярная масса, на свойства пленок. Ударная вязкость, например, повышается с повышением молекулярной массы (т. е. с понижением температуры плавления) и с уменьшением плотности. Для изготовления тонких технических пленок должны быть использованы полимеры с более высоким показателем текучести расплава из-за сложности вытяжки тонких пленок из вязких расплавов. Показатели текучести расплава от 1,0 до 2,5 типичны в этих случаях, поэтому и ударная вязкость меньше, чем у пленок для мешков. При этом улучшается прозрачность. Когда требуется баланс свойств, например умеренной прозрачности и умеренной ударной вязкости, то используют несколько более высокие плотности ( $0,920-0,925 \text{ г/см}^3$ ) и показатель текучести расплава в пределах 0,75–2,50. Когда требуется высокая прозрачность, применяют марки с высокими плотностью и показателями текучести расплава, так как их увеличение приводит к повышению визуальной прозрачности, уменьшению матовости, повышению блеска. Высокопрозрачные пленки имеют относительно низкую ударную вязкость из-за высокого показателя текучести расплава, и их нельзя употреблять для упаковки тяжелых предметов [2].

Технологический процесс экструзии складывается из последовательного перемещения материала вращающимся шнеком в его зонах (рис. 3), а затем продвижения расплава в каналах формирующей головки.

К технологическим параметрам относятся температура переработки полимера, давление расплава, температура зон головки и температурные режимы охлаждения сформованного экструдата.

При слишком высокой вязкости расплава получать изделия методом экструзии трудно из-за большого сопротивления течению расплава, возникновения неустойчивого режима движения

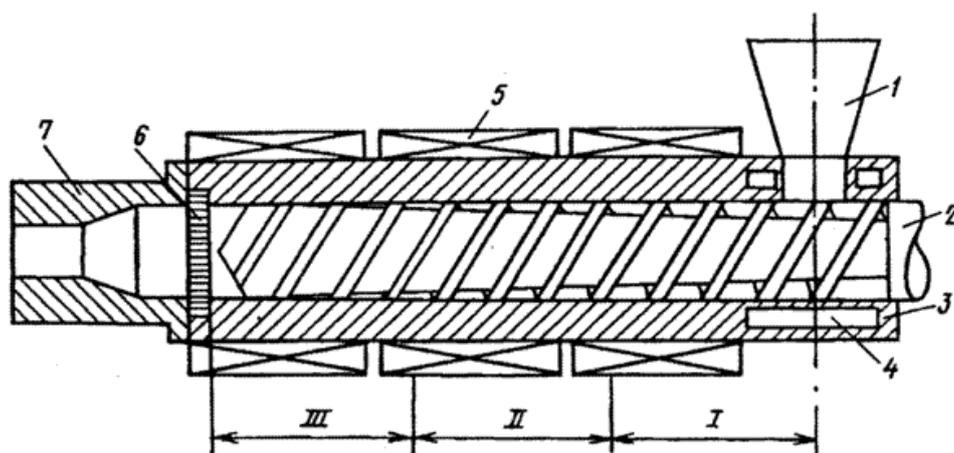


Рис. 3. Схема шнекового экструдера (1 – бункер; 2 – шнек; 3 – цилиндр; 4 – полость для циркуляции воды; 5 – нагреватель; 6 – решетка с сетками; 7 – формирующая головка), перемещающего материал в зонах питания (I), пластикации (II) и дозирования расплава (III)

потока. Все это приводит к образованию дефектов изделий. Повышение температуры переработки может привести к термодеструкции расплава, а увеличение давления, мощности привода при более низких температурах – к механодеструкции, т. е. для экструзии расплавов должны применяться полимеры с довольно узким интервалом колебания вязкости.

В результате исследований были разработаны и получены на экспериментальной установке различные композиции биоразлагаемых полимерных пленок с добавками растительного происхождения. В работе был использован полиэтилен ПЭВД промышленного производства, крахмал модифицированный ТУ-9187-144-00008064-97, глицерин (ГОСТ 6259-75).

Компоненты композиций для получения биоразлагающихся пленок изменялись в следующих диапазонах: ПЭВД – 40,0–95,0 %; картофельный крахмал – 1,0–45,0; мочевины – 0,5–10,0; глицерин – 0,5–15,0; вода – 1,0–30,0 %.

Получение биоразлагаемых пленок проводилось в один этап. При этом крахмал и полимер образовывали структуру, в которой они частично проникали друг в друга на молекулярном уровне. Были исследованы варианты получения полимерных пленок при температурных режимах 140–180 °С в зонах экструдера из полиэтилена высокого давления с добавками.

### Выводы

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что при выборе конкретных полимерных структур, которые могли быть использованы для получения биоразлагаемых пленок, необходимо исходить из следующих рекомендаций.

1. Полимер должен быть гидрофилен и деструктурировать под действием внешних факторов, подвергаться гидролизу. Продукты гидролиза должны быть подобны природным соединениям, которые могут использоваться микроорганизмами в качестве источника углерода и азота.

2. Элементный состав полимера должен быть сбалансирован, т. е. соотношение элементов в полимере должно соответствовать их содержанию в клетках микроорганизмов, в частности, соотношение углерода и азота должно быть 1 : 10.

3. Количественное содержание в композиции крахмала должна быть не более 20–25 %. При наполнении крахмалом свыше 25 % происходит образование агломератов частиц наполнителя, приводящее к существенным изменениям технологических свойств композиционных материалов, что ухудшает возможность их переработки на существующем оборудовании.

### Список использованных источников

1. Раувендааль, К. Экструзия полимеров / К. Раувендааль ; пер. с англ. – СПб. : Профессия, 2008. – 768 с.
2. Полимерные плёнки : пер. с англ. / под ред. Е. Заикова. – СПб. : Профессия, 2006. – 352 с.

**Н. В. Зык, В. О. Шункевич, В. В. Зык**

*УО «Белорусский национальный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: oup@bntu.by*

**ПЕРЕРАБОТКА ФОСФОГИПСА С ПОЛУЧЕНИЕМ  
КОНЦЕНТРАТА РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
НА ПРИМЕРЕ ОАО «ГОМЕЛЬСКИЙ ХИМИЧЕСКИЙ ЗАВОД»**

*Аннотация.* Основными объектами исследования были фториды, фосфаты и гидроксиды лантана, церия, неодима и фосфогипс.

Цель работы – разработать методы целенаправленного синтеза соединений лантаноидного ряда редкоземельных элементов (РЗЭ) с заданным химическим составом при кислотной обработке фосфогипса на основе полученных данных по растворимости, экстракции и термодинамических характеристик индивидуальных соединений РЗЭ.

Проведено исследование равновесий растворимости  $\text{LnF}_3$  и  $\text{LnPO}_4$  в фосфорной кислоте при 70 °С и  $\text{LnF}_3$ ,  $\text{LnPO}_4$ ,  $\text{Ln}(\text{OH})_3$  в воде при 25 °С и 50 °С, определены константы и установлены закономерности равновесия растворения исследуемых соединений в ряду лантаноидов.

Установлены химический состав и характер включения соединений РЗЭ в состав фосфогипса.

Рассчитана система термодинамических характеристик процессов синтеза фторидов, фосфатов, гидроксидов лантана, церия, неодима из нитратов, стандартные значения энтальпии образования, энергии Гиббса и абсолютной энтропии индивидуальных соединений РЗЭ.

Исследованы процессы экстракции РЗЭ из азотнокислых растворов фосфорорганическими соединениями: трибутилфосфатом, диизооктилметилфосфонатом, изоамилдибутилфосфиноксидом.

Предложена принципиальная схема процесса извлечения редкоземельных элементов из фосфогипса ОАО «Гомельский химический завод» с получением группового концентрата РЗЭ с содержанием не менее 96 мас.% основного вещества.

*Ключевые слова:* редкоземельные элементы, фосфогипс, растворимость, состав, характер включения, термодинамические характеристики, экстракция.

**N. V. Zyk, V. O. Shunkevich, V. V. Zyk**

*EI "Belarusian National Technical University"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: oup@bntu.by*

**PROCESSING OF PHOSPHOGYPSUM TO OBTAIN A CONCENTRATE  
OF RARE EARTH ELEMENTS ON THE EXAMPLE OF OJSC "GOMEL CHEMICAL PLANT"**

*Abstract.* The main objects of the investigation were lanthanum, cerium and neodymium fluorides, phosphates and hydroxides, as well as phosphogypsum.

The purpose of this work was to develop methods for purposeful synthesis of lanthanide compounds with predetermined chemical composition during phosphogypsum acid treatment on the basis of data obtained on solubility, extraction and thermodynamic characteristics of individual rare earth elements (REE) compounds.

Solubility equilibriums for  $\text{LnF}_3$  and  $\text{LnPO}_4$  in phosphoric acid at 70 °С, as well as for  $\text{LnF}_3$ ,  $\text{LnPO}_4$  and  $\text{Ln}(\text{OH})_3$  in water at 25 °С and 50 °С have been studied. Solubility constants of these compounds have been determined; principles of dissolution equilibrium for the above lanthanide compounds have been established.

Chemical composition of these compounds and nature of their inclusion into phosphogypsum has been determined.

The complex of thermodynamic characteristics for processes of preparation of lanthanum, cerium, neodymium fluorides, phosphates and hydroxides from their nitrates, standard enthalpies of formation, Gibbs energies and absolute entropies for individual compounds have been calculated.

Processes for REE compounds extraction from solutions obtained through phosphogypsum treatment by nitric acid, using organophosphorus compounds, such as tributyl phosphate, di-*iso*-octyl methylphosphonate, *iso*-amylidibutylphosphine oxide, have been investigated.

The schematic process diagram for obtaining group REE concentrate containing no less than 96 ww.% of the main compound, from phosphogypsum have been produced at OJSC "Gomel Chemical Plant".

*Keywords:* rare earth elements, phosphogypsum, solubility, composition, nature of inclusion, thermodynamic characteristics, extraction.

## Введение

Интерес к изучению соединений редкоземельных элементов (РЗЭ) характерен для современного этапа развития химии, что связано с широким практическим применением соединений лантана, церия и неодима в различных отраслях народного хозяйства.

Для производства редкоземельных элементов новой сырьевой базой могут стать природные фосфаты, в частности, апатитовый концентрат Хибинского месторождения, значительная часть которого перерабатывается сернокислотным способом с получением фосфорной кислоты. При этом в среднем 70 мас.% редкоземельных элементов, содержащихся в апатитовом концентрате, переходят в фосфогипс. Учитывая масштабы переработки апатитового концентрата и отсутствие сырьевых источников РЗЭ в Республике Беларусь, фосфогипс можно рассматривать как один из сырьевых источников получения редкоземельных элементов.

## Основная часть

В связи с расширением производства фосфорных удобрений в большинстве развитых стран возникла проблема утилизации фосфогипса, возможной областью применения которого является переработка его на гипсовое вяжущее и изделия из него. Однако основные технологические трудности методов утилизации фосфогипса во многом определяются содержанием в нем примесей соединений фтора и фосфора.

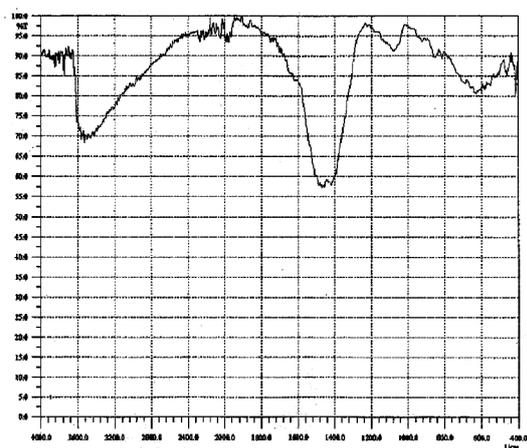
Имеющихся в литературе сведений о процессах синтеза соединений редкоземельных элементов при кислотной обработке фосфогипса недостаточно для разработки технологии извлечения РЗЭ и получения очищенного фосфогипса, пригодного для производства вяжущих материалов. Многие фундаментальные характеристики этого класса соединений: термодинамические, константы растворимости, экстракционного извлечения и другие, требуют проведения расширенных исследований.

Цель работы – разработать методы целенаправленного синтеза соединений лантаноидного ряда РЗЭ с заданным химическим составом при кислотной обработке фосфогипса на основе полученных данных по растворимости, экстракции и термодинамических характеристик индивидуальных соединений редкоземельных элементов.

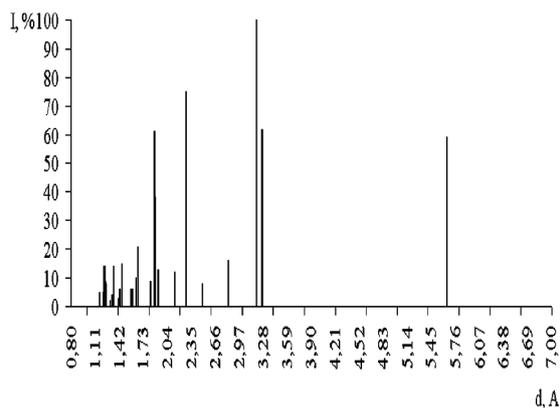
Основные объекты исследования – фосфогипс и фториды, фосфаты и гидроксиды лантана, церия, неодима, синтезированные методом осаждения из растворов нитратов лантаноидов и имеющие реактивную квалификацию не ниже «ЧДА» (содержание основного вещества – не менее 99,59 мас.%). Примеси посторонних металлов в синтезированных соединениях, определенные методом лазерной масс-спектропии, составляли  $5 \cdot 10^{-2}$  мас.%. Полученные соединения идентифицировали методами ИК-спектроскопического, рентгенофазового и комплексного термогравиметрического анализов, оптическим микроскопическим методом (см. рисунок).

Определение химического состава растворов и твердых фаз в исследуемых системах соединения РЗЭ – раствор сложного солевого состава проводили комплексно, по известным и усовершенствованным методикам, с использованием химических методов анализа (определение содержания редкоземельных элементов, нитратов, сульфатов, ионов железа, кальция, аммония), потенциометрического метода (определение общего фтора и кислотности растворов pH), микроспектрометрического метода (определение содержания РЗЭ и кристаллографические определения).

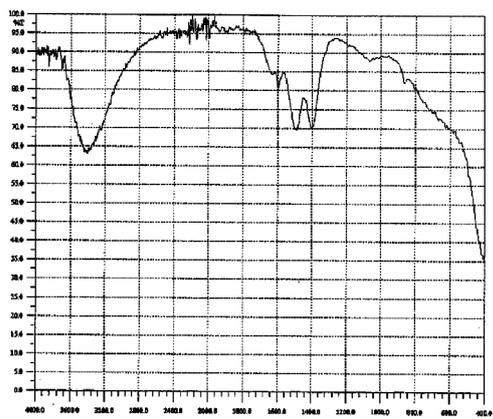
Для установления состава и распределения соединений РЗЭ в фосфогипсе, необходимого для разработки метода их синтеза из фосфогипса с использованием указанных методов анализа



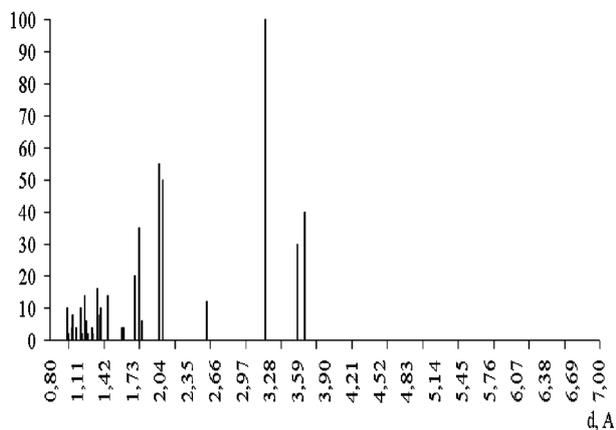
*a*



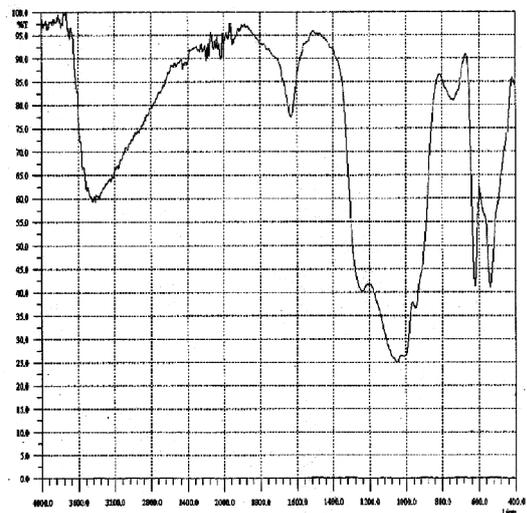
*б*



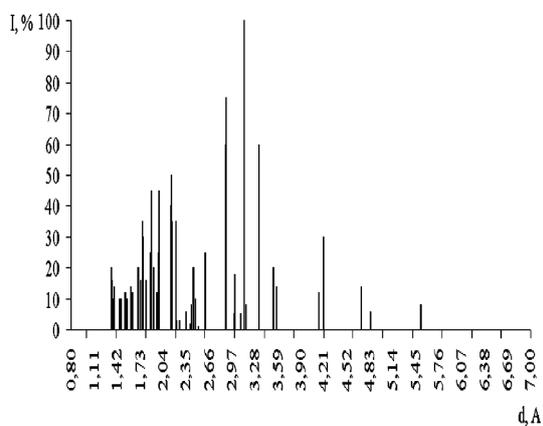
*в*



*з*



*д*



*е*

ИК-спектры (*a* –  $\text{La(OH)}_3$ , *в* –  $\text{LaF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , *д* –  $\text{LaPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) и рентгенограммы (*б* –  $\text{La(OH)}_3$ , *з* –  $\text{LaF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , *е* –  $\text{LaPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) синтезированных соединений РЗЭ

определен химический состав растворов и твердых фаз равновесных систем фториды лантаноидов – фосфорная кислота и фосфаты лантаноидов – фосфорная кислота в диапазоне 34–50 мас.%, содержащая 3 мас.% серной кислоты, при 70 °С. Выбор исследуемых модельных систем определялся химическим составом систем фосфорнокислый раствор – фосфогипс, образующихся при производстве экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК).

Так как в фосфогипсе преимущественно содержатся легкие РЗЭ, то объектами исследования были соединения лантана, церия и неодима. Полученные данные по составу фаз исследуемых систем обосновали низкую (менее 0,9 г/л) растворимость фторидов и фосфатов РЗЭ реактивной квалификации «ЧДА» в указанных растворах фосфорной и серной кислот во всем изученном диапазоне концентраций фосфорной кислоты и закономерное уменьшение растворимости фторидов и фосфатов РЗЭ по мере понижения концентрации кислоты и в ряду Nd – Ce – La.

Результаты исследования процессов осаждения фосфатов и фторидов РЗЭ в данных системах свидетельствуют об их совместном осаждении во всем изученном интервале концентраций  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Установлено, что по мере увеличения содержания РЗЭ происходит образование осадка фторидов лантаноидов и после достижения произведения растворимости фосфатов лантаноидов начинается их совместное осаждение с преимущественным осаждением фосфатов лантаноидов. Для моделирования условий промышленного производства ЭФК было исследовано осаждение соединений РЗЭ в системе, исключающей наличие малорастворимой твердой фазы, при неизменной концентрации в ней основных компонентов ( $\text{Ln}^{3+}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ). Установлено, что содержание указанных компонентов в жидкой фазе реальных систем, образующихся в условиях разложения апатитового концентрата серной кислотой, практически не отличается от модельного. Комплексный термогравиметрический анализ синтезированных соединений РЗЭ обосновал наличие в осадке гидратированных фосфатов и фторидов лантаноидов, содержащих 0,5–2,0 моль молекул воды.

С целью установления характера включения лантаноидов в состав фосфогипса проведен рентгенофазовый анализ модельных систем фосфат лантана – дигидрат сульфата кальция, фторид лантана – дигидрат сульфата кальция. Линии рентгенограмм полученных образцов не претерпевают никаких смещений, что свидетельствует об отсутствии любых замещений ионов  $\text{Ca}^{2+}$  на  $\text{La}^{3+}$  в структуре дигидрата сульфата кальция. Следовательно, в процессе производства ЭФК в дигидратном режиме РЗЭ не входят непосредственно в структуру дигидрата сульфата кальция в виде изоморфной примеси. Исследования фосфогипса методом растровой электронной микроскопии показали, что основная часть соединений РЗЭ содержится на торцевых гранях. С целью обнаружения соединений РЗЭ в поверхностном слое фосфогипса он был обработан азотной кислотой. В процессе обработки фосфогипса наблюдалось послойное растворение кристаллов  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , которое приводило к открытию «замурованных» примесей, в том числе и соединений РЗЭ, при этом фосфаты РЗЭ переходили в раствор. При количественном анализе по профилям вдоль и поперек различных граней шлифов кристаллов  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (в том числе после обработки фосфогипса азотной кислотой) установлено, что соединения РЗЭ в фосфогипсе распределены неоднородно: максимальное их количество наблюдается в поверхностном слое кристалла сульфата кальция.

Установлено закономерное повышение содержания соединений РЗЭ по мере увеличения размера кристалла фосфогипса. Таким образом, в результате проведенных исследований обоснован способ извлечения лантаноидов из фосфогипса в раствор путем его обработки азотной кислотой.

Для обоснования метода синтеза соединений РЗЭ при кислотной обработке фосфогипса проведены термодимические исследования лантаноидов. Растворимость фосфатов, гидроксидов и фторидов лантаноидов в воде определяли методом измерения электропроводности в соответствующих равновесных растворах при температурах ( $T$ ) 25 °С и 50 °С. Полученная система согласующихся данных выгодно отличается от литературных точностью эксперимента и отражает закономерное уменьшение растворимости исследуемых соединений в рядах  $\text{La} < \text{Ce} < \text{Nd}$  и  $\text{Ln}(\text{OH})_3 < \text{LnF}_3 < \text{LnPO}_4$ .

Тепловые эффекты процессов синтеза соединений РЗЭ из нитратов определяли методом калориметрии в калориметре с изотермической оболочкой по стандартной методике при стандартных условиях ( $p = 1$  атм. и  $T = 298,0 \pm 0,5$  К). Экспериментальные кривые калориметрических опытов при синтезе исследуемых соединений имеют четко обозначенный интервал  $\Delta t$  соли в узком диапазоне времени, что позволило получить надежные значения стандартных изменений энтальпии образования из простых веществ и энтропии индивидуальных соединений РЗЭ. Обработкой первичных данных по изучению растворимости соединений РЗЭ в воде и термодимии,

используя известные значения термодинамических характеристик соединений, по закону Гесса были определены значения стандартных энтальпий образования  $\Delta_f H^\circ$  (298 К) гидроксидов, кристаллогидратов фосфатов и фторидов лантана, церия и неодима из простых веществ, большая часть которых неизвестна. Используя уравнение изотермы реакции растворения исследуемого соединения РЗЭ в воде ( $\Delta_{\text{раств.}} G^\circ$  (298 К) =  $-R \cdot 298 \ln K_a$ ) и литературные данные по величинам стандартных энергий Гиббса образования соответствующих катионов  $\text{Ln}^{3+}$ , анионов  $\text{OH}^-$ ,  $\text{F}^-$  и  $\text{PO}_4^{3-}$ , по закону Гесса были определены значения стандартных энергий Гиббса образования соответствующих соединений РЗЭ (см. таблицу). Базовой реакцией для определения величин  $\Delta_f G^\circ$  (298 К), была реакция растворения исследуемых соединений РЗЭ в воде. Используя полученные величины  $\Delta_f H^\circ$  (298 К) и  $\Delta_f G^\circ$  (298 К), были оценены значения изменения энтропии  $\Delta S_{298}^\circ$  (образ.) индивидуальных соединений РЗЭ.

Экспериментальные значения тепловых эффектов реакций (1)–(5)  $\Delta H_{298}^\circ$

Соединение	Уравнение реакции	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	Соединение	Уравнение реакции	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль
$\text{La}(\text{OH})_3$	1	$35,0 \pm 0,4$	$\text{NdPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	4	$28,5 \pm 0,3$
$\text{Ce}(\text{OH})_3$	1	$34,6 \pm 0,4$	$\text{LaPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	5	$95,5 \pm 0,3$
$\text{Nd}(\text{OH})_3$	1	$34,2 \pm 0,4$	$\text{CePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	5	$95,5 \pm 0,3$
$\text{LaF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	2	$44,6 \pm 0,2$	$\text{NdPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	5	$95,2 \pm 0,4$
$\text{CeF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	2	$41,2 \pm 0,2$	$\text{LaPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3	$136,4 \pm 0,6$
$\text{NdF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	2	$37,1 \pm 0,2$	$\text{CePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3	$127,0 \pm 0,7$
$\text{LaPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	4	$40,8 \pm 0,3$	$\text{NdPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3	$123,7 \pm 0,7$
$\text{CePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	4	$31,5 \pm 0,3$	$\text{NdPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3	$123,7 \pm 0,7$

Экспериментально установленные и оцененные термодинамические характеристики исследуемых соединений РЗЭ использовали для расчета величин  $\Delta H^\circ$  (298 К),  $\Delta S^\circ$  (298 К),  $\Delta G^\circ$  (298 К) процессов синтеза гидроксидов, фторидов, фосфатов лантаноидов из нитратов лантаноидов и гидроксидов, фторидов, фосфатов щелочных, щелочноземельных металлов и аммония. Установлено, что все рассматриваемые процессы синтеза экзотермичны и их осуществимость термодинамически вероятна ( $\Delta G^\circ$  (298 К)  $\ll 0$ ) в рассматриваемых условиях. Таким образом, исследуемые соединения РЗЭ могут быть синтезированы всеми рассмотренными способами. Наиболее экзотермичным является процесс синтеза соединений РЗЭ из их нитратов и гидроксида аммония, который использовали для синтеза концентрата соединений РЗЭ.

С целью определения химического состава концентрата РЗЭ, полученного при нейтрализации растворов азотнокислотной обработки фосфогипса, экспериментально установлено соотношение равновесных концентраций фторидов и фосфатов РЗЭ, при которых начинается их совместное осаждение. Лантаноиды осаждали нейтрализацией из модельного раствора, содержащего фосфат и фторид-ионы, а также из растворов азотнокислотной обработки фосфогипса. Установлено, что основное количество лантана выпадает в виде гидроксида, при этом экспериментально определенное соотношение концентраций фосфата и фторида лантана в осадке близко к расчетному.

Для извлечения соединений РЗЭ из азотнокислотного раствора исследован процесс экстракционного извлечения соединений РЗЭ из азотнокислотных растворов обработки фосфогипса. В качестве экстрагентов использовали нейтральные фосфорорганические экстрагенты (изоамилдibuтилфосфиноксид, бутиловый эфир фосфорной кислоты – трибутилфосфат и диизооктилметилфосфонат), обладающие значительной емкостью и селективностью при извлечении лантаноидов из растворов сложного солевого состава. Сольватное число в органической фазе при экстракции лантана из азотной кислоты при концентрациях до 15 мас.% было определено по методу разбавления органической фазы инертным разбавителем (керосином).

### Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что:

– зависимость коэффициента распределения лантана от концентрации экстрагента в логарифмических координатах является прямолинейной, отвечает уравнению  $3x + b$  и коэффициенты

распределения редкоземельных элементов изменяются пропорционально примерно третьей степени концентрации экстрагентов в неводной фазе ( $S$ ), поэтому экстрагируемое соединение имеет состав  $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 3S$ ;

– коэффициент распределения лантаноидов в присутствии ионов  $\text{F}^- > \text{PO}_4^{3-} > \text{SO}_4^{2-}$  в растворах, получаемых при обработке фосфогипса или концентрата РЗЭ азотной кислотой, снижается из-за образования устойчивых неэкстрагируемых фосфатных, фторидных и сульфатных комплексов РЗЭ. В настоящей работе обоснованы параметры экстракционного извлечения редкоземельных элементов и закономерный ряд экстракционной способности ТБФ < ДиОМФ < ФОР.

При апробации предложенной схемы в УП «Минский НИИ радиоматериалов» в лабораторных условиях получен концентрат, содержащий не менее 96 мас.% оксидов РЗЭ. Предложенная схема процесса извлечения РЗЭ из фосфогипса может быть реализована на предприятиях по производству ЭФК дигидратным методом из апатитового концентрата, в частности, на ОАО «Гомельский химический завод».

#### Список использованных источников

1. Комплексная азотнокислотная переработка фосфатного сырья / А. Л. Гольдинов [и др.] ; ред. А. Л. Гольдинов, Б. А. Копылев. – Л. : Химия, 1982. – 207 с.
2. Ферсман, А. Е. Апатит, его месторождения, геохимия, запасы и экономика / А. Е. Ферсман // Хибинские апатиты. – Л. : ОГИЗ, 1991. – Т. 3.
3. Характер включения РЗЭ цериевой подгруппы в структуре кристаллогидратов сульфата кальция / Н. Н. Бушуев [и др.] // Журн. прикл. химии. – 1988. – Т. 61, № 10. – С. 2153–2158.
4. Мелихов, И. В. Захват примеси при росте кристаллов из раствора / И. В. Мелихов // Рост кристаллов. – М., 1998. – Т. IX. – С. 302.

**А. Е. Немцев, В. В. Вахрушев, И. В. Деменок**

*ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий  
Российской академии наук  
г. Новосибирск, Российская Федерация*

## **ОБНОВЛЕНИЕ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА АПК СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА**

*Аннотация.* В статье рассматривается вопрос о технической оснащенности агропромышленного комплекса Сибирского Федерального округа сельскохозяйственной техникой и ее обновлении в рамках разработанного проекта межрегиональной программы «Развитие зернового рынка Сибири на период до 2025 года».

*Ключевые слова:* агропромышленный комплекс, субъекты Сибирского Федерального округа, машинно-тракторный парк, техническая оснащенность, энергообеспеченность.

**A. E. Nemtsev, V. V. Vakhrushev, I. V. Demenok**

*FSBIS Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology  
Russian Academy of Sciences  
Novosibirsk, Russian Federation*

## **RENEWAL OF MACHINE AND TRACTOR FLEET AIC OF THE SIBERIAN FEDERAL DISTRICT**

*Annotation.* The article discusses the issue of technical equipment of the agro-industrial complex of the Siberian Federal District with agricultural machinery and its updating within the framework of the developed project of the interregional program "Development of the grain market of Siberia for the period up to 2025".

*Keywords:* agro-industrial complex, subjects of the Siberian Federal district, machine and tractor fleet, technical equipment, energy supply.

### **Основная часть**

Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2021–2025 годы направлена на развитие агропромышленного комплекса (АПК), обеспечивающее его высокую эффективность. Эта программа предусматривает инновационное развитие отрасли, ускоренный переход к использованию новых высокопроизводительных и ресурсосберегающих технологий, что напрямую зависит от наличия и надежности поставляемой сельскохозяйственной техники.

Без техники реализация каких-либо инновационных проектов в сельском хозяйстве Сибирского федерального округа (СФО) проблематична, она является основой производства и наиболее важной частью технического потенциала.

В табл. 1 содержатся данные по фактическому наличию (на 2019 г.) и необходимому количеству (на 2025 г.) тракторов и зерноуборочных комбайнов в регионах СФО. Необходимое количество с учетом посевной площади и нагрузки на единицу техники. В табл. 2 приведена возрастная структура тракторов и зерноуборочных комбайнов в регионах СФО, % [1].

В табл. 3 указаны энергообеспеченность сельскохозяйственной организации и средняя нагрузка на 1 ед. техники в регионах СФО. Коэффициент обновления машин (для новых машин в парке на конец года, %) в 1975–1990 гг. находился на уровне 13–25 %, в 2000–2016 гг. снизился до 8–12 % [1, 2].

Наиболее резкое снижение темпов обновления машинно-тракторного парка произошло в 1995–2000 гг., таким образом, темпы обновления парка машин не превышали 1–2 % в год, что в 10 раз ниже потребности при наличии оптимального количества машин [3].

Вследствие этого возросла нагрузка на тракторы и зерноуборочные комбайны по сравнению с нормативной, которая составляет 70 га на трактор и 130 га на зерноуборочный комбайн.

**Т а б л и ц а 1. Фактическое и необходимое количество тракторов и зерноуборочных комбайнов в регионах СФО, шт.**

Регион	Тракторы		Зерноуборочные комбайны	
	Имеются в наличии, 2019 г.	Необходимое количество, 2025 г.	Имеются в наличии, 2019 г.	Необходимое количество, 2025 г.
Республика Алтай	1 538	1 550	59	75
Республика Тыва	544	560	55	65
Республика Хакасия	1 275	1 550	264	270
Алтайский край	19 297	17 700	7 719	8 040
Красноярский край	7 748	8 000	2 820	2 700
Иркутская область	3 828	4 410	998	1 100
Кемеровская область	4 093	3 820	1 374	1 330
Новосибирская область	9 772	9 945	3 455	3 600
Омская область	10 780	11 800	4 530	4 850
Томская область	1 146	1 625	463	410
<i>Итого</i>	60 021	60 960	21 737	22 440

**Т а б л и ц а 2. Возрастная структура парка сельскохозяйственной техники в регионах Сибирского федерального округа, %**

Регион	Тракторы			Зерноуборочные комбайны		
	до 3 лет	от 3 до 10 лет	более 10 лет	до 3 лет	от 3 до 10 лет	более 10 лет
Российская Федерация	12,49	27,68	59,83	18,82	36,11	45,07
Сибирский ФО	9,08	23,42	67,50	13,96	35,76	50,28
Республика Алтай	10,14	53,32	36,54	6,78	30,51	62,71
Республика Тыва	5,72	29,52	64,76	10,91	3,64	85,45
Республика Хакасия	13,40	48,05	38,55	9,09	32,20	58,71
Алтайский край	6,44	21,61	71,95	10,57	35,70	53,72
Красноярский край	13,06	24,98	61,96	17,83	35,83	46,35
Иркутская область	14,52	30,50	54,97	14,26	22,58	63,16
Кемеровская область	6,28	18,49	75,23	14,30	39,08	46,62
Новосибирская область	6,96	20,21	72,82	10,90	30,22	58,88
Омская область	10,58	19,26	70,16	18,52	42,82	38,66
Томская область	17,97	34,68	47,34	26,13	34,13	39,74

**Т а б л и ц а 3. Энергообеспеченность сельскохозяйственных организаций л. с./100 га и нагрузка на 1 ед. техники в регионах Сибирского федерального округа**

Регион	Энергообеспеченность, л. с./100 га	Нагрузка, га	
		на трактор	на зерноуборочный комбайн
Российская Федерация	149,0	273,1	507,6
Сибирский ФО	143,2	356,0	485,4
Республика Алтай	163,8	88,6	120,8
Республика Тыва	157,5	75,6	259,5
Республика Хакасия	100,5	439,5	299,4
Алтайский край	148,7	341,7	559,1
Красноярский край	122,5	373,8	382,7
Иркутская область	143,5	417,3	440,4
Кемеровская область	145,9	330,7	473,0
Новосибирская область	129,8	369,1	454,0
Омская область	156,0	370,5	488,7
Томская область	132,0	513,5	403,1

В табл. 4 приведено нормативное среднегодовое обновление техники из расчета 10 % от наличия и ее износа в регионах (см. табл. 2), необходимый объем финансирования на эти цели.

Т а б л и ц а 4. Нормативное среднегодовое обновление техники (10 % от наличия)

Субъект Российской Федерации	Тракторы		Зерноуборочные комбайны		Сельскохозяйственные машины и оборудование	Вся техника
	Машин по нормативу, ед.	Сумма, млн руб.	Машин по нормативу, ед.	Сумма, млн руб.	Сумма, млн руб.	
Сибирский ФО	3 976	19 756,8	1 125	9 887,9	39 513,6	69 682,9
Республика Алтай	56	274,4	4	35,6	548,8	573,7
Республика Тыва	36	176,4	5	44,5	352,8	573,5
Республика Хакасия	54	264,6	16	142,4	529,2	936,2
Алтайский край	1 324	6 487,6	420	3 738,0	12 975,2	23 200,8
Красноярский край	480	2 352,0	130	1 157,0	4 704,0	8 2130,0
Иркутская область	221	1 082,9	67	596,3	2 165,8	3 845,0
Кемеровская область	300	1 470,0	64	569,6	2940	4 979,6
Новосибирская область	717	3 513,3	207	1 842,3	7 026,6	12 382,2
Омская область	782	3 831,8	180	1 602,0	7 663,6	13 097,4
Томская область	62	303,8	32	684,8	607,6	1 596,2

### Выводы

Получены следующие результаты расчетов, проведенных для выполнения разработанного проекта межрегиональной программы «Развитие зернового рынка Сибири на период до 2025 года».

1. Определено необходимое количество тракторов, зерноуборочных комбайнов и другой сельскохозяйственной техники для производства зерна.

2. В настоящее время энергообеспеченность сельскохозяйственных организаций СФО недостаточна: вместо 300–350 л. с./100 га по нормативу она составляет 149 л. с./100 га.

3. Значителен в СФО износ мобильной техники: по тракторам он составляет 67,5 %, по зерноуборочным комбайнам – 50,28, по кормоуборочным комбайнам – 45,07 %.

4. С учетом нормативного амортизационного срока и износа определено среднегодовое обновление техники (10 % от наличия), которое по тракторам составило 19 756,8 млн руб., по сельхозмашинам и оборудованию – 39 543,6 млн руб. Общая среднегодовая сумма, требующаяся на обновление техники, – 69 682,9 млн руб.

### Список использованных источников

1. Технологический портал Минсельхоза России. Федеральная государственная информационная система учета и регистрации тракторов, самоходных машин и прицепов к ним [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://usmt.mcx.ru/opendata>. – Дата доступа: 01.09.2021.

2. Техническое переоснащение комбайнового парка АПК Новосибирской области. Фундаментальные основы и практический опыт при проведении сервиса и рециклинга техники / А. Е. Немцев [и др.] // Материалы Евразийского конгресса / Труды ГОСНИТИ. – М., 2017. – Т. 127. – С. 76–80.

3. Рыкова, И. Н. Сравнительный анализ технической и технологической оснащенности отраслей сельского хозяйства в Российской Федерации / И. Н. Рыкова, С. В. Шкодинский, А. А. Юрьева // Экономика. Налоги. Право. – 2019. – Т. 12, № 4. – С. 39–49. – doi:10.26794/1999 849X.2019.12.4.39-49

**Н. Н. Назаров, И. В. Некрасова**

*ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агrobiотехнологий  
Российской академии наук  
г. Новосибирск, Российская Федерация  
E-mail: sibime-nazarov@yandex.ru*

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВНЕСЕНИЯ В ПОЧВУ ЖИДКИХ ФОРМ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

*Аннотация.* Рассмотрены вопросы развития направлений технического обеспечения внесения в почву жидких форм минеральных удобрений при реализации существующих способов их использования. Установлено, что при создании и совершенствовании технологических машин для реализации этого процесса приоритетной целью является повышение качества распределения – 55 %, повышение эффективности внесения – 27 и 18 % от анализируемого числа патентов, возрастает значимость снижения энергоёмкости процесса.

*Ключевые слова:* жидкие минеральные удобрения, внесение, способы, техническое обеспечение.

**N. N. Nazarov, I. V. Nekrasova**

## **THE MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF TECHNICAL SUPPORT FOR THE INTRODUCTION OF LIQUID FORMS OF MINERAL FERTILIZERS INTO THE SOIL**

*FSBIS Siberian Federal Scientific Centre of Agrobiotechnologies  
of the Russian Academy of Sciences  
Novosibirsk, Russian Federation  
E-mail: sibime-nazarov@yandex.ru*

*Abstract.* The issues of development of directions of technical support for the introduction of liquid forms of mineral fertilizers into the soil in the implementation of existing methods of their use are considered. It is established that when creating and improving technological machines for the implementation of this process, the priority goal is to improve the quality of distribution – 55 %, increase the efficiency of application – 27 and 18 % of the analyzed number of patents, the importance of reducing the energy intensity of the process increases.

*Keywords:* liquid mineral fertilizers, application, methods, technical support.

На текущем этапе функционирования сельское хозяйство использует в основном агротехнологии с невысокими выходными параметрами и экстенсивные по вложению и отдаче знаний, капитала и материальных ресурсов. Степень интенсификации машинных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, как правило, связывают с объемами использования средств химизации, в первую очередь с применением минеральных удобрений. В настоящее время удобрения вносятся в ограниченных объемах, в основном в виде урезанных стартовых доз. Это вызвано резким сокращением поставок в технологии возделывания зерновых культур минеральных, в первую очередь азотных, удобрений. В России в настоящее время на 1 га пашни вносится около 26 кг д. в. этих удобрений, практически не обеспечивая даже стартовой дозы для вегетирующих растений, а в Сибирском федеральном округе – не более. Поэтому величина урожая зависит в основном от складывающихся погодных условий и естественного плодородия почв. Все это не позволяет обеспечить хозяйствам устойчивую прибыль, они остаются низкорентабельными или убыточными по экономической результативности.

Вместе с тем в последние годы хозяйства Новосибирской области активно осваивают в растениеводстве интенсивные и нормальные технологии на основе увеличения объемов использования средств химизации. Отмечается возросший интерес сельскохозяйственных производителей

Новосибирской области к почвенному внесению жидких удобрений. Так, по данным Минсельхоза НСО использование КАС и ЖКУ увеличилось в 13 раз: с 1 088,7 т в 2018 г. до 13 339,0 т в 2020 г.

Отмечается отсутствие по ряду позиций техники и оборудования конкурентоспособного отечественного предложения, что не позволяет эффективно реализовать преимущества технологии точного земледелия и вынуждает наиболее «продвинутых» сельхозтоваропроизводителей приобретать импортные системы и сельскохозяйственную технику. Но даже в этом случае в основном выбираются доступные по цене комплектации с минимальными функциями ресурсосбережения и автоматизации технологического процесса. Как пример – цена девятиметровой сеялки Амазоне DMC с компьютерным управлением для дифференцированного внесения посевного материала на 3 млн руб. выше, чем без него.

Поэтому требуется разработка и выпуск отечественного технического обеспечения рассматриваемого технологического процесса.

Известно, что в настоящее время внесение в почву различных препаратов (растворов удобрений, микроэлементов, почвенных гербицидов и т. д.) реализуется в таких способах, как:

- основное (допосевное, предпосевное);
- внесение основной массы удобрений в почву к севу или посадки;
- строчное (припосевное);
- внесение удобрений во время сева или посадки;
- внесение удобрений в период вегетации растений;
- внекорневая подкормка – подпитка растений растворами удобрений опрыскиванием их надземных частей [1].

С учетом подобной классификации установлено, что внутрипочвенное внесение жидких минеральных удобрений (ЖМУ) является преобладающим (более 90 % патентов). При этом практически в 50 % целью разработки способов является повышение эффективности внесения ЖМУ, на втором месте – повышение качества распределения ЖМУ – 44 %, и лишь в 6 % изобретений целью является снижение энергоемкости процесса.

При создании и совершенствовании технологических машин для внесения в почву ЖМУ приоритетной целью является повышение качества распределения ЖМУ – 55 %, а повышение эффективности внесения ЖМУ занимает вторую строчку с 27 %, при этом значительно, до 18 % от анализируемого числа патентов, возрастает значимость снижения энергоемкости процесса. Важно отметить, что аналогичное значение данного показателя наблюдается при патентовании устройств (рабочих органов) и устройств для внесения и дозирования ЖМУ – 17 и 16 % соответственно. Однако наиболее высокое значение показателя – 81 %, имеет цель создания дозирующих устройств ЖМУ (рис. 1).

По способам подачи ЖМУ на обрабатываемую поверхность также имеются значительные расхождения (рис. 2). Практически треть используемых ЖМУ вносится в почву струей под давлением. Значительная доля ЖМУ используется в виде капельно-воздушной смеси, которая пода-

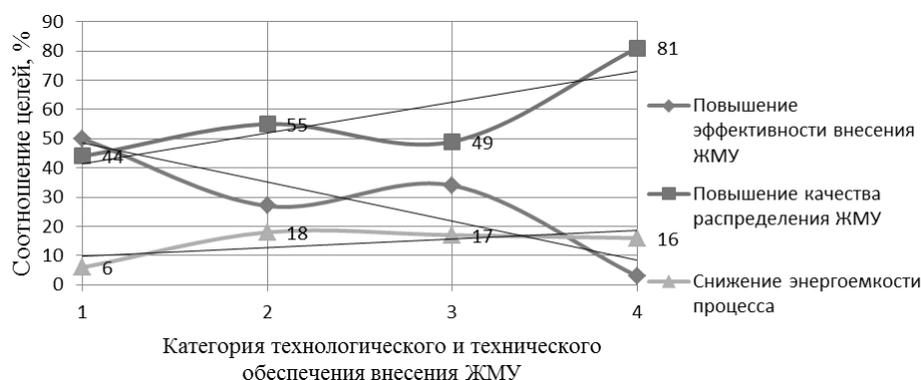


Рис. 1. Цели разработки категорий технологического и технического обеспечения внесения в почву ЖМУ и их соотношение: 1 – способ внесения ЖМУ; 2 – создание технологических машин; 3 – рабочие органы для внесения ЖМУ; 4 – устройства для дозирования

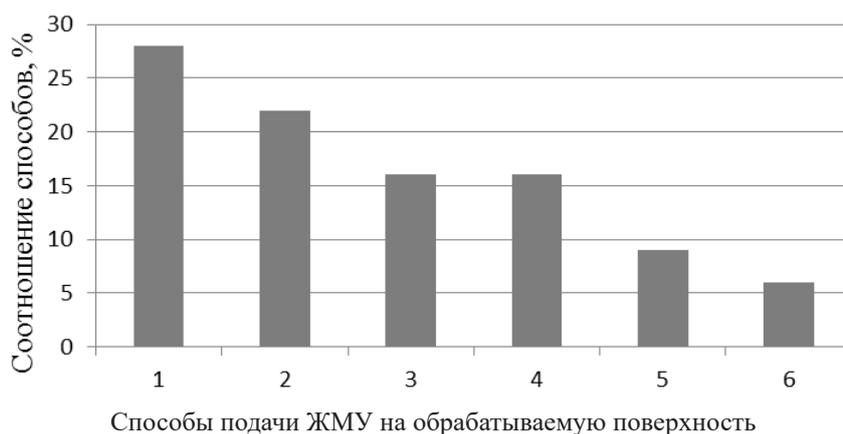


Рис. 2. Способы подачи ЖМУ на обрабатываемую поверхность: 1 – подача в почву в виде струи под давлением; 2 – подача капельно-воздушной смеси в почву под давлением; 3 – многослойное внесение ЖМУ, в том числе с выхлопными газами; 4 – внесение в виде подкормки вегетирующих растений; 5 – поверхностное внесение с последующей заделкой; 6 – внесение ЖМУ в потоке с семенами

ются на обрабатываемые участки почвы, при использовании технологических процессов вспашки или культивации. Значительную долю в распределении ЖМУ занимает их послойное распределение в почве (около 16 %), а также поверхностное распределение с последующей их заделкой в почву (16–17 %). Незначительную долю (не более 7 %) занимает использование ЖМУ при посеве зерновых в потоке с семенами.

Обозначенные способы подачи ЖМУ на обрабатываемую поверхность имеют свои преимущества и недостатки. При сплошной обработке почвы и использовании для этих целей культиваторов или плугов отмечается низкая производительность агрегатов, поэтому применение этих технологических машин возможно, например, при посеве зерновых (культиваторные сеялки) с одновременным внесением в почву ЖМУ. При раздельном от посева внесении ЖМУ целесообразно использование комбинированных агрегатов – прицепная цистерна + культиватор, обеспечивающих повышенную производительность технологического процесса.

Отмечена тенденция внесения жидких препаратов, используемых для подкормки вегетирующих растений точно под ранее сформированный ряд этих растений. При этом, как правило, машина содержит резервуар для рабочей жидкости, насос, компрессор, трубопроводную запорную, регулировочную и распределяющую арматуру, штангу с рабочими органами, приборы и оборудование управления. Технические решения позволяют дифференцированно вносить в почву ЖМУ с заданной дозой и качеством на каждом элементарном участке поля с повышением эффективности обработки сельскохозяйственных культур, повышением производительности машины и расширением ее технологических возможностей [2–6].

Наиболее широкое применение в настоящее время находят напорные схемы дозирования жидкостей. Ведущая роль при этом отводится насосам различного типа, которые и являются источниками напора, и могут выступать в качестве дозирующих устройств: центробежные, шланговые, плунжерные, диафрагменные, поршневые, шестеренчатые. Перечисленные типы насосов имеют как преимущества, так и недостатки, поэтому их использование возможно только для конкретного технологического процесса с учетом задач, требующих разрешения. При этом следует отметить, что для реализации некоторых технологических процессов не требуется высокого давления рабочей жидкости, а достаточно 0,20–0,04 МПа.

Установлена тенденция развития комбинированных агрегатов, совмещающих предпосевную обработку почвы, внесение удобрений и посев, оснащение машин бункерами большой емкости и набором сменных сошников для разных условий работы, применения приборов и устройств, обеспечивающих функциональный контроль и управление основными системами машин для внесения жидких форм минеральных удобрений, при этом реализуются устройства для их бесступенчатого регулирования.

### Список использованных источников

1. Растениепитатель (подкормщик, аппликатор) «ЛИКВИЛАЙРУС» (Инъекционное колесо), мультинжектор ООО «АГРИСТО» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://agristo.ru/Catalog/TechMain\\_Podkorm\\_Injector.html](https://agristo.ru/Catalog/TechMain_Podkorm_Injector.html). – Дата доступа: 31.06.2021.
2. Разбрасыватель удобрений жидких – Машины для внесения удобрений. Классификация машин, способы внесения удобрений – ТеплоЭнергоРемонт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://90zavod.ru/raznoe/razbrasyvatel-udobrenij-zhidkix-mashiny-dlya-vneseniya-udobrenij-klassifikaciya-mashin-sposoby-vneseniya-udobrenij.html>. – Дата доступа: 28.04.2021.
3. Технологии и комплексы машин для внесения в почву твердых, пылевидных и жидких минеральных удобрений – Комплексная механизация основного внесения минеральных удобрений с разработкой схемы и расчетом рабочих органов разбрасывателя кузовного типа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studwood.ru/1810781>. – Дата доступа: 25.04.2021.
4. Яндекс. Картинки: поиск изображений в интернете, поиск по изображению [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yandex.ru/images/search?text=машины>. – Дата доступа: 06.05.2021.
5. Оборудование для внесения КАС и ЖКУ для культиваторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agroserver.ru/b/oborudovanie-dlya-vneseniya-kas-i-zhku-dlya-kultivatorov-1172365.htm>. – Дата доступа: 31.06.2021.
6. Системы внесения жидких удобрений для посевных комплексов [Электронный ресурс]. – <https://featagro.ru/catalog/posevnyie-kompleksyi/sistemyi-vneseniya-jidkih-udobreniy-FeatAgro-dlya-kombinirovannyih-posevnyih-kompleksov-s-vyisevom-v-diskovyiy-soshnik>. – Дата доступа: 31.06.2021.

**А. В. Бобрышов<sup>1</sup>, Б. П. Фокин<sup>1</sup>, Г. И. Гедроить<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»  
г. Ставрополь, Российская Федерация  
E-mail: Alex\_st\_52@mail.ru

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: ggedroit@tut.by

## **ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПОЛИВА ФРОНТАЛЬНЫМИ ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ В ПРОЦЕССЕ ОРОШЕНИЯ ПОЛЕЙ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены вопросы определения оптимальных схем полива разных типов почв в увязке с процессами водопотребления посевов, представлен разработанный математический аппарат и основные результаты расчетов.

*Ключевые слова:* дождевальная машина, схема полива, поливные нормы, водопотребление, гидропривод, потери воды.

**A. V. Bobryshov<sup>1</sup>, B. P. Fokin<sup>1</sup>, G. I. Gedroit<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>FSBEI HE "Stavropol State Agrarian University"  
Stavropol, Russian Federation  
E-mail: Alex\_st\_52@mail.ru

<sup>2</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: ggedroit@tut.by

## **SELECTION OF IRRIGATION TECHNOLOGICAL SCHEMES BY FRONT-MOUNTED SPRINKLERS IN THE PROCESS OF IRRIGATION OF FIELDS**

*Abstract.* The article considers the issues of determining the optimal irrigation schemes for different types of soils in connection with the processes of water consumption of crops, presents the developed mathematical apparatus and the main results of calculations.

*Keywords:* sprinkler machine, irrigation scheme, irrigation norms, water consumption, hydraulic drive, water loss.

### **Введение**

В сельскохозяйственном производстве уже несколько десятков лет применяются многоопорные дождевальные машины (ДМ) фронтального действия. В начале это были ДМ типа «Кубань», а теперь и зарубежные машины производства разных фирм [1]: Valmont Irrigation (США); Wade Rain (США); T-L Irrigation Company (Канада); RKD (Испания); Bauer (Австрия) и др. Однако реализовывать высокие технологические возможности таких машин без соответствующего научного обеспечения весьма затруднительно и прежде всего это относится к организации их перемещения при поливе.

Под схемой полива будем понимать один из основных элементов технологического процесса – перемещение машин в пределах орошаемых полей. Оптимальной схемой принимается та, которая удовлетворяет таким условиям, как: простота реализации, т. е. наименьшее число переключений режимов работы в процессе полива и наименьшее количество проходов для выдачи заданной поливной нормы; избежание пересыхания почвы на границах (концах) полей (нижний предел содержания влаги – 70 % наименьшей влагоемкости); недопущение стока на конкретной почве и обеспечение высокого уровня технико-эксплуатационных показателей машин [2, 3].

Цель работы – разработать и провести оптимизацию схем полива полей ДМ.

## Основная часть

С целью выбора оптимальной схемы прежде всего поставлена задача определения изменения содержания влаги в почве при поливе ДМ «Кубань». При решении задачи принимается постоянной интенсивность водопотребления культуры ( $E$ , мм/сут) за время полива ( $t$ , сут) и предполагается отсутствие осадков в этот период [4]. Для упрощения расчетов принимается выдача заданной поливной нормы ( $M$ , м<sup>3</sup>/га) за один или два прохода в прямом и обратном направлении соответственно. В последнем случае условие выдачи поливной нормы можно записать так:

$$M = m_1(x) + m_2(x), \quad (1)$$

где  $m_1(x)$  – поливная норма в точке  $x$  в прямом проходе, м<sup>3</sup>/га;  $m_2(x)$  – поливная норма в точке  $x$  в обратном проходе, м<sup>3</sup>/га;  $x$  – ось координат, направленная вдоль оросительного канала, точка  $x = 0$  соответствует началу поля.

При движении в прямом ходе начальные влагозапасы расчетного поля почвы ( $W_0$ , м<sup>3</sup>/га) непосредственно перед машиной будут уменьшаться на величину  $10Et$ , м<sup>3</sup>/га (здесь  $t$  – время с начала полива, сут). Выражая время через известные соотношения [4]:

$$t = \frac{1}{1440K_{\text{сут}}} \int_0^x \frac{dx}{V(x)} \text{ и } m_1(x) = \frac{600Q}{\beta BV(x)},$$

получим

$$t = \delta \int_0^x m_1(x) dx, \text{ причем } \delta = \frac{\beta B}{864 \cdot 10^3 K_{\text{сут}} Q}, \quad (2)$$

где  $K_{\text{сут}}$  – отношение времени полива за сутки ко времени суток;  $V(x)$  – скорость движения машины, м/с;  $Q$  – расход машины, м<sup>3</sup>;  $\beta$  – коэффициент потерь, равный 1,1–1,3;  $B$  – ширина захвата машины, м.

Теперь изменение влагозапасов в почве непосредственно перед машиной в прямом ходе можно представить функцией

$$f_1(x) = W_0 - 10E\delta \int_0^x m_1(x) dx. \quad (3)$$

Сразу же после машины в момент времени  $t$ , соответствующий нахождению ее в точке  $x$ , влагозапасы будут равны

$$W_1 = f_1(x) + m_1(x).$$

Далее, если аналогично при движении в обратном проходе содержание влаги в почве перед машиной представить функцией  $f_2(x)$ , то позади нее влагозапасы определятся из выражения

$$W_2 = f_2(x) + m_2(x).$$

Связь между функциями  $f_1(x)$  и  $f_2(x)$  можно получить, исходя из следующих соображений. В точку  $x$  повторно машина попадает через промежуток времени  $\Delta t$ , складывающийся из времени достижения конца поля в прямом проходе и времени обратного движения. С учетом уравнений (1) и (2)

$$\Delta t = \delta \int_x^L [m_1(x) + m_2(x)] dx = \delta(L-x)M,$$

где  $L$  – общая длина поля, м.

Теперь очевидно, что

$$f_2(x) = f_1(x) + m_1(x) - 10E\delta(L-x)M. \quad (4)$$

Условие, позволяющее поливать предельно большие площади без пересыхания почвы, можно записать в виде

$$f_2(x) = f_1(L) = W_{win}, \quad (5)$$

где  $W_{win}$  – минимально допустимые влагозапасы расчетного слоя почвы, м<sup>3</sup>/га. Это условие, к тому же, позволяет начинать полив при наименьших начальных влагозапасах без иссушения в дальнейшем сверх допустимого активного слоя почвы [5].

Дифференцируя выражение (4) и учитывая (5), получим линейное дифференциальное уравнение первого порядка относительно  $m_1(x)$ , решая которое с использованием соотношения (1), найдем

$$m_1(x) = M \left[ 1 - e^{10E\delta(x-L)} \right], \quad (6)$$

$$m_2(x) = M e^{10E\delta(x-L)}, \quad (7)$$

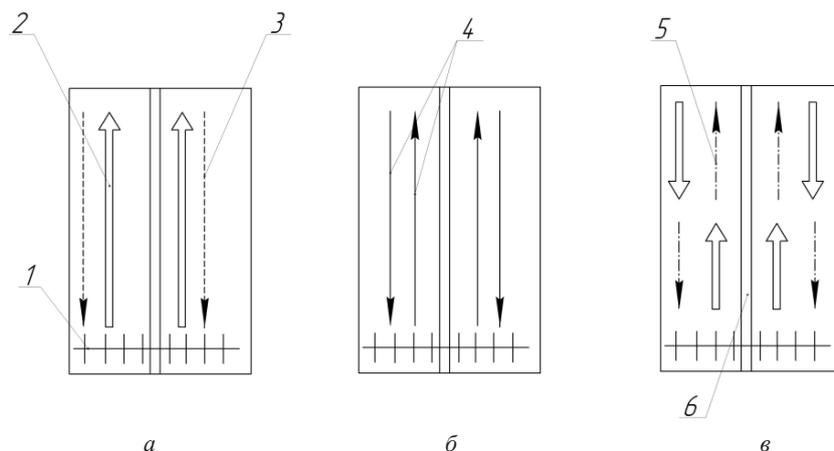
где  $e$  – основание натуральных логарифмов.

Выражения (6) и (7) получены в непрерывных функциях и не учитывают дискретных уравнений задания режимов движения ДМ «Кубань». Поэтому для практических целей решение задачи трансформировалось в разбиение всей длины поля на равные части, на каждой из которых  $m_1(x)$  и  $m_2(x)$  принималось постоянным. С помощью аналогичных рассуждений можно сказать, что в этом случае оптимальные значения поливных норм в первом проходе определяются из уравнения

$$M_i = M \left[ 1 - \frac{1}{\left( 1 + 10E\delta \frac{L}{n} \right)^{n+1-i}} \right], \quad (8)$$

где  $M_i$  – поливная норма в первом проходе на  $i$ -м участке, м<sup>3</sup>/га;  $n$  – общее число участков разбиения;  $i$  – номер участка от начала поля ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

Для расчетов необходимо знать водно-физические свойства конкретных почв, режим орошения и интенсивность водопотребления сельскохозяйственных культур, число рабочих смен в сутках, эксплуатационную и техническую характеристику ДМ, площади орошаемых полей. Для основных почвенно-климатических зон Ставропольского края расчетами установлено, что наиболее рациональными оказались следующие схемы выдачи поливной нормы: 1) за один проход (см. рисунок, а); 2) за два прохода половинчатыми поливными нормами (см. рисунок, б); 3) за два прохода с переключением режима движения ДМ в середине поля (см. рисунок, в); 4) за два прохода с переключением режима движения на  $\frac{1}{3}$  и на  $\frac{2}{3}$  длины поля (схема аналогична рисунку, в, но переключается ДМ 2 раза). Более сложные схемы никаких технологических преимуществ не дают.



Схемы перемещения ДМ «Кубань» (с выдачей поливной нормы: а – за один проход; б – за два прохода половинчатыми поливными нормами; в – за два прохода с переключением режима движения ДМ в середине поля) при поливе: 1 – исходная позиция ДМ; 2 – полив наибольшей допустимой поливной нормой; 3 – движение ДМ без полива; 4 – полив половинчатыми поливными нормами; 5 – полив сниженными нормами; 6 – канал

В качестве примера в нижеприведенной таблице указаны рекомендуемые схемы полива при интенсивности водопотребления культур 6 и 9 мм/сут и расходе ДМ 180 л/с. С возрастанием номера схемы усложняется ее реализация, но зато увеличивается площадь, которую может обслуживать ДМ. Во всех случаях полив необходимо начинать при снижении содержания влаги в активной зоне почвы до 75–80 % НВ.

**Оптимальные схемы полива ДМ с шириной захвата 800 м при норме 500 м<sup>3</sup>/га и трехсменной работе для основных типов почв Ставропольского края**

Площадь, га	Водопотребление, мм/сут	Черноземы		Каштановые почвы	
		Номер схемы	Поливные нормы в 1-м проходе	Номер схемы	Поливные нормы в 1-м проходе
80	6	1	500	1	500
		2	250	2	250
	9	1	500	–	–
		2	250	2	250
120	6	2	250	2	250
	9	2	250	3	300, 200
160	6	2	250	3	300, 200
	9	3	300, 200	4	300, 250, 150

Исходное положение ДМ принимается в начале поля, а поливные нормы схем 3 и 4 даны по участкам разбиения длины поля от начала к концу. Причем, как показали полевые исследования, для черноземных почв досточковые нормы равны 480 м<sup>3</sup>/га, а для темно-каштановых почв – 360 м<sup>3</sup>/га, т. е. для этих почвогрунтов результаты расчетов удовлетворяют условиям безнапорного впитывания. Если же досточковые нормы не превышают 100–150 м<sup>3</sup>/га, то полив в этих условиях столь малыми нормами на проход, особенно в жаркие месяцы, неэффективен и необходимо предусматривать агротехнические мероприятия по повышению впитывающей способности почвы.

### Заключение

Используя предложенный способ, можно для конкретных условий методом перебора определить предельные размеры полей, которые могут орошаться, например, ДМ «Кубань», без снижения содержания влаги в почве ниже допустимого предела за время полива (т. е. сезонную нагрузку на машину). Оценка вариантов производится по величине функций  $f_1(L)$ . Например, для Ставропольского края при максимальной интенсивности водопотребления основных сельскохозяйственных культур в критический период вегетации 9–10 мм/сут предельная площадь при двухсменной работе и размещении под машиной одной культуры в зоне неустойчивого увлажнения равна 100 га, а в засушливых зонах – 80 га (при  $f_1(L) = 70$  % НВ). При трехсменной работе пределы увеличиваются до 160 и 140 га соответственно.

В настоящее время на практике, как правило, применяются простые схемы полива – 1 и 2, что оправдано только для небольших полей – до 80–100 га. На больших площадях, особенно в июле – августе, необходимо применять схемы 3 и 4. Это позволит избежать пересыхания границ (концов) полей и повысить отдачу орошаемого гектара.

### Список использованных источников

1. Jonson, G. Analysis of center pivot irrigation systems operating in a humid area environment / G. Jonson // Transaction of the ASAE. – 1987. – Vol. 30, № 6. – P. 1720–1725.
2. Фокин, Б. П. Современные проблемы применения многоопорных дождевальных машин / Б. П. Фокин, А. К. Носов. – Пятигорск : Севкавказгипроводхоз, 2011. – 76 с.
3. Фокин, Б. П. Влияние обработок почвы на впитывание оросительной воды / Б. П. Фокин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2011. – № 5. – С. 24–27.
4. Фокин, Б. П. Метод расчета размещения пролетов дождевальных машин / Б. П. Фокин, А. В. Бобрышов, В. А. Лиханос // Сельский механизатор. – 2015. – № 1. – С. 6.
5. Фокин, Б. П. Орошение надежный фактор интенсивности сельскохозяйственного производства / Б. П. Фокин, А. В. Бобрышов, В. А. Лиханос // Научно-технический прогресс в АПК: проблемы и перспективы : сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., в рамках XVIII Междунар. агропром. выставки «Агроуниверсал-2016», Ставрополь, 30 марта – 1 апр. 2016 г. / ред. А. Т. Лебедев. – Ставрополь, 2016. – С. 198–202.

**А. А. Кудревич<sup>1</sup>, Е. И. Михайловский<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: info@belagromech.by

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: N22-22@yandex.ru

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА В АПК**

*Аннотация.* В статье анализируются современное состояние и направления развития технического сервиса машинно-тракторного парка агропромышленного комплекса.

Обосновываются основополагающие факторы концепции развития технического сервиса: ремонтно-технологическое оборудование, качество, документация и квалифицированные кадры.

*Ключевые слова:* агропромышленный комплекс, технический сервис, ремонт машин, система информационно-консультативного обеспечения.

**A. A. Kudrevich<sup>1</sup>, E. I. Mikhailovsky<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: info@belagromech.by

<sup>2</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: N22-22@yandex.ru

## **CURRENT STATE AND DIRECTIONS OF TECHNICAL SERVICE DEVELOPMENT IN AIC**

*Abstract.* The article analyzes the current state and directions of development of technical service of the machine and tractor fleet of the agro-industrial complex.

The fundamental factors of the concept of technical service development are substantiated: repair and technological equipment, quality, documentation and qualified personnel.

*Keywords:* agroindustrial complex, technical service, machine maintenance, system of information-consultative securing.

### **Введение**

Современное состояние машинно-тракторного парка в сельском хозяйстве является одним из главных факторов, сдерживающих технологическую модернизацию агропромышленного комплекса (АПК), что связано в значительной мере с разрушением ранее существовавшей системы обеспечения и ремонта сельскохозяйственной техники, которое не могло не сказаться на показателях ее работы.

### **Основная часть**

Анализ показывает, что для повышения эффективности использования техники в первую очередь требуются коренная реорганизация системы технического сервиса и быстрее внедрение фирменного метода ее обслуживания. Однако в условиях сокращения выпуска отечественной техники этот процесс затянулся.

Поступающая на рынок отечественная техника, как правило, имеет недостаточно высокие технико-экономические показатели и недостаточную надежность. Это не позволяет эффективно реализовать преимущества современных агротехнологий и побуждает сельскохозяйственные предприятия довольно часто приобретать более производительную и надежную зарубежную технику.

Вместе с тем, реально оценивая состояние дел, следует отметить, что в ближайшие годы в сельском хозяйстве будет преимущественно использоваться техника, которая сейчас находится в эксплуатации, и именно она должна обеспечить эффективную работу всего АПК страны. Это обстоятельство и необходимо учитывать при рассмотрении перспектив развития технического сервиса.

Зарубежный опыт показывает, что сельскохозяйственные предприятия не могут эффективно вести производство без развитой структуры услуг технического сервиса, которые более качественно и своевременно выполняются специализированными ремонтными предприятиями и службами.

Анализ отечественной системы технического сервиса показывает, что основные объемы ремонтно-технических работ по-прежнему выполняются инженерно-техническими службами сельхозпредприятий и сводятся в основном к замене деталей и некоторых несложных узлов, что приводит к повышенным издержкам производства [1].

Практика функционирования ремонтно-технической базы обеспечения работоспособности существующего парка техники позволяет сделать выводы о необходимости дальнейшего ее совершенствования с учетом меняющихся форм собственности.

Ремонт становится все более сложным, соответственно, у специалистов технического сервиса возникает необходимость иметь регулярный доступ к обширной информации, выполнять высококачественный ремонт в срок, иметь необходимое контрольно-диагностическое оборудование.

По нашему мнению, стратегия эффективной системы технического сервиса машин АПК в современных условиях должна включать (объединять) в себя разобщенные ремонтно-эксплуатационные подразделения хозяйств, специализированные межхозяйственные ремонтные предприятия, фирменное сервисное обслуживание заводов-изготовителей и бизнес-сервис. Данная система отличается по своим признакам от действовавшей ранее системы тем, что в основу стратегии положен принцип получения прибыли всеми участниками системы с приоритетом интересов сельскохозяйственных предприятий.

Важнейшая составляющая стратегии развития технического сервиса – организация и повышение качества ремонта узлов и агрегатов как основы повышения надежности отремонтированной машины. При этом основу повышения качества должны составлять новые технологии ремонта, оснащение ремонтных предприятий современным оборудованием, оснасткой, нормативно-технической документацией и квалифицированными кадрами.

Эти принципы становятся основополагающими факторами концепции развития ремонта сельскохозяйственной техники.

Не менее важной составляющей качества ремонта техники и его экономической составляющей является восстановление деталей. При ремонте техники затраты на запасные части достигают, как правило, 50–70 % от стоимости ремонта. Себестоимость восстановления изношенных ремонтнопригодных деталей не превышает 30–50 % от цены новых. Тогда цена капитально отремонтированных машин, в которых используют восстановленные детали, будет на 30–40 % ниже цены на новые машины при сопоставимом ресурсе работы.

Существенные результаты в возрастании эффективности сельскохозяйственной техники обеспечивает их модернизация. Она позволяет при сравнительно небольших затратах значительно повысить технический уровень сельскохозяйственных машин, цена которых составляет 60–80 % от цены на новые машины, при гарантированном их ресурсе 90–100 %.

Повышение технического потенциала хозяйств и эффективности использования имеющейся техники, продление сроков службы машин можно обеспечить за счет развития вторичного рынка подержанной техники, срок службы которой составляет 15 лет и более.

Зарубежный опыт показывает, что новую технику в основном приобретают экономически сильные фермерские хозяйства, которые через 3–5 лет могут продать ее через дилерскую систему менее обеспеченным хозяйствам. Внедрение подобной системы у нас позволит обеспечить техникой экономически более слабые и средние хозяйства с минимальными затратами средств.

Кардинального повышения эффективности использования техники в сельском хозяйстве можно добиться путем формирования единой дилерской системы производственно-технического сервиса на всех уровнях, непосредственно приближенной к сельскохозяйственным предприятиям, обеспечивающей комплексное их обслуживание услугами по выполнению новых технологий производства сельскохозяйственной продукции, включая снабжение их техническими ресурсами, а также поддержание этих ресурсов в работоспособном состоянии.

Развитию технического сервиса может способствовать создание сети машинно-технологических станций как первичных коллективов сельскохозяйственных предприятий, так и межхозяйственных сельхозтоваропроизводителей нового типа, ведущих расширенное производство на базе новой техники и интенсивных технологий, что простимулирует производство в убыточных предприятиях отрасли. Эти формирования станут способствовать развитию научно-технического прогресса в АПК, повышению производительности труда и сменной выработки машинно-тракторных агрегатов в 2 раза и более, что в значительной степени позволит компенсировать потребность в сельскохозяйственной технике для АПК и снизить себестоимость работ на 10–20 %.

Создание системы производственно-технического сервиса должно осуществляться не директивным путем, а на рыночных условиях, что позволит сформировать конкурентную среду в АПК, будет способствовать повышению качества, снижению стоимости и сроков оказания разнообразных услуг сельскохозяйственным предприятиям по ремонту и техническому обслуживанию техники, ее прокату, аренде, модернизации и продаже подержанной техники [2].

Опыт функционирования системы технического сервиса показал, что его значение в конкурентной среде станет постоянно расти. Это, с одной стороны, будет определять степень экономического и финансового состояния изготовителей машин, а с другой – уровень надежности и ресурсосбережения в сфере их использования.

Наряду с формированием и развитием системы технического сервиса необходимо создавать систему информационно-консультативного обеспечения инженерно-технической сферы, реформировать систему подготовки, повышения квалификации и переподготовки кадров на всех уровнях профессионального образования.

В современной системе технического сервиса должны работать высококвалифицированные профессиональные кадры, владеющие как традиционными знаниями устройства, эксплуатации и ремонта сельскохозяйственной техники, так и новыми, включая высокий уровень компьютерной подготовки, электронного диагностирования, возможности работы по технологиям точного земледелия, с использованием систем спутниковой навигации.

Эти требования будут усиливаться по мере насыщения сельского хозяйства высокопроизводительной техникой, машинными комплексами, комбинированными многофункциональными агрегатами как отечественного, так и зарубежного производства, эксплуатировать и обслуживать которые смогут только специалисты высокого профессионального уровня, которых в настоящее время явно недостаточно.

Положительную динамику изменения складывающейся ситуации может создать использование системы технопарков, объединяющей в своем составе образовательные учреждения аграрного профиля и передовые сельскохозяйственные предприятия.

Все это, по нашему мнению, будет способствовать повышению эффективности использования техники в сельскохозяйственном производстве и созданию материальной основы для получения конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции.

## **Выводы**

1. Создание системы производственно-технического сервиса должно осуществляться не директивным путем, а на рыночных условиях.

2. Опыт функционирования системы технического сервиса показал, что его значение в конкурентной среде будет постоянно расти.

3. Наряду с формированием и развитием системы технического сервиса необходимо создавать систему информационно-консультативного обеспечения инженерно-технической сферы, реформировать систему подготовки, повышения квалификации и переподготовки кадров на всех уровнях профессионального образования.

4. В современной системе технического сервиса должны работать высококвалифицированные профессиональные кадры.

5. Изменению складывающейся ситуации может способствовать система технопарков, объединяющая в своем составе образовательные учреждения аграрного профиля и передовые сельскохозяйственные предприятия.

#### **Список использованных источников**

1. Кириллов, Н. А. Сборник статей по перспективам развития агропромышленного комплекса и его технического сервиса : учебное пособие / Н. А. Кириллов. – Томск : ТПУ, 2008. – 108 с.
2. Усуфов, М. М. Перспективы развития автосервиса / М. М. Усуфов. – СПб. : СПбГУСЭ, 2011. – 6 с.

**Д. И. Комлач<sup>1</sup>, А. С. Воробей<sup>1</sup>, Ф. М. Матмуродов<sup>2</sup>, М. И. Курилович<sup>1</sup>, А. А. Игнатчик<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: labpotato@mail.ru

<sup>2</sup>Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства

г. Ташкент, Республика Узбекистан

E-mail: matmurodov@yahoo.com

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОТДЕЛЕНИЯ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ ОТ КАМНЕЙ**

*Аннотация.* В статье определены показатели работы машины для отделения клубней картофеля от камней на основе различия их упругих свойств.

*Ключевые слова:* эффективность, клубни картофеля, камни, сортировальная установка, упругие свойства.

**D. I. Komlach<sup>1</sup>, A. S. Verabei<sup>1</sup>, F. M. Matmurodov<sup>2</sup>, M. I. Kurilovich<sup>1</sup>, A. A. Ignatchik<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: labpotato@mail.ru

<sup>2</sup>Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers

Tashkent, Republic of Uzbekistan

E-mail: matmurodov@yahoo.com

## **THE DETERMINE CRITERIES EFFECTIVE OF WORKING THE DEVICE FOR SEPARATION TUBERS FROM STONES**

*Abstract.* In article were determined the indicators to working the device for separation tubers from stones for based deferens of elastic features.

*Keywords:* effective, tubers of potatoes, stones, the device of sorting, elastic features.

### **Введение**

Широкое применение средств механизации в картофелеводстве ставит задачи снижения и предупреждения повреждений клубней. С увеличением повреждений снижается качество клубней и растут их суммарные потери. Существенно снижают качество клубней каменистость поля и образование комьев земли за счет наносимых ими повреждений при уборке и послеуборочной доработке. Так, наличие 1 кг камней в массе клубней приводит к повреждению 50 кг последних.

Кроме того, каменистость поля повышает износ техники и затраты при уборке и переработке. Посадка поврежденными клубнями может снизить урожайность картофеля на 30 %. В Республике Беларусь среди пахотных земель сельскохозяйственных предприятий каменистые почвы занимают 506 тыс. га, что составляет 9,9 % от общей площади пашни.

Мелкие примеси выделяют из основного вороха на уборочной технике с помощью пальчатых горок. Сложнее обстоит дело с камнями, размер и масса которых сопоставимы с размерами клубней [1].

### **Основная часть**

Исследования, связанные с изысканием способа отделения камней из картофельного вороха, являются актуальными и своевременными, а их выполнение имеет важное народнохозяйственное значение для агропромышленного комплекса страны.

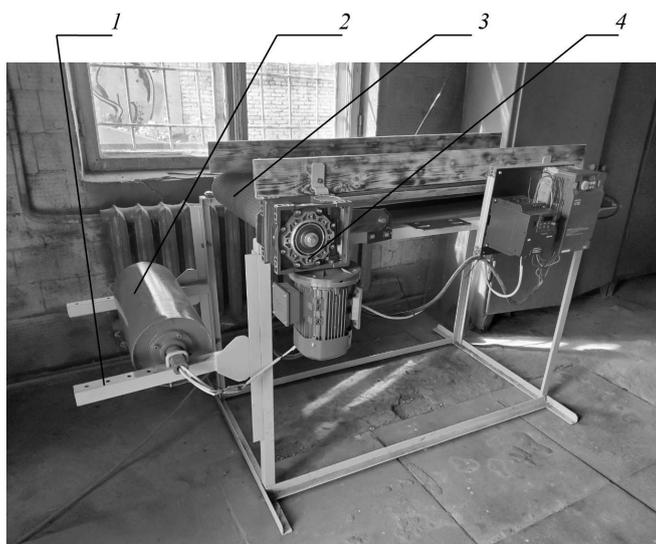


Рис. 1. Экспериментальная установка для отделения клубней картофеля от камней:  
1 – рама; 2 – отражательный барабан; 3 – подающий конвейер; 4 – электропривод

В рамках совместного проекта фундаментальных исследований с Ташкентским институтом инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства выполнялись работы по определению эффективности установки для отделения клубней от камней. С этой целью были разработаны программа и методика экспериментальных исследований.

Принцип работы установки основан на разных траекториях полета камней и клубней после их удара об отражательную поверхность.

С целью оценки эффективности процесса разделения компонентов картофельного вороха на отражательном барабане изготовлена экспериментальная установка, внешний вид которой представлен на рис. 1.

Установка состоит из рамы, ленточного подающего конвейера, непосредственно самого отражающего барабана, элементов привода и электрооборудования.

Показатели установки зависят от многих геометрических, кинематических и динамических параметров [2, 3], но во время эксперимента изменялись только: скорость конвейера  $v$ , м/с; частота вращения отражательного барабана  $\omega$ , об/мин; высота падения продукции от оси подающего конвейера до центра отражательного барабана  $H$ , см.

Исследования проведены по плану Бокса – Бенкена, с интервалами варьирования, указанными в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Факторы и интервалы их варьирования

Уровень варьирования	Управляемый фактор		
	$\omega$ , об/мин	$v$ , м/с	$H$ , см
Верхний	30	0,6	20
Нулевой	15	0,4	15
Нижний	0	0,2	10

Эффективность работы установки оценена по трем критериям [4]:

– доле клубней в контейнере для примесей

$$\delta_{\text{кл}} = \frac{N''_{\text{кл}}}{N'_{\text{пр}} - N_{\text{кл}}} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $N''_{\text{кл}}$  – количество клубней в емкости для примесей, шт.;  $N'_{\text{пр}}$  – количество примесей в емкости для камней, шт.;  $N_{\text{кл}}$  – количество клубней в пробе, шт.

– доле примесей в контейнере для клубней

$$\delta_{\text{пр}} = \frac{N'_{\text{пр}}}{N''_{\text{кл}} - N_{\text{пр}}} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $N'_{\text{пр}}$  – количество примесей в емкости для камней, шт;  $N''_{\text{кл}}$  – количество примесей в емкости для клубней, шт;  $N_{\text{пр}}$  – количество камней в пробе, шт.

– обобщенному критерию разделяемости

$$\varepsilon = 100 - \left( \delta_{\text{кл}} + \frac{\delta_{\text{пр}}}{\lambda} \right), \text{ при } \lambda > 1; \quad \varepsilon = 100 - (\lambda \delta_{\text{кл}} + \delta_{\text{пр}}), \text{ при } \lambda < 1; \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{N_{\text{пр}}}{N_{\text{кл}}}. \quad (4)$$

В экспериментальных исследованиях использована смесь, состоящая из 60 компонентов картофельного вороха, 30 клубней и 30 камней.

Каждый опыт сопровождается с трехкратной повторностью [5].

Для обобщенного критерия разделяемости получены экспериментальные данные, которые приведены в табл. 2.

Таблица 2. Расчетные значения для обобщенного критерия разделяемости

Номер точки плана	Количество клубней в емкости для примесей						Количество камней в емкости для клубней						Средние значения критериев разделяемости		
	$N''_{\text{пр}_1}$	$N''_{\text{кл}_1}$	$N''_{\text{пр}_2}$	$N''_{\text{кл}_2}$	$N''_{\text{пр}_3}$	$N''_{\text{кл}_3}$	$N'_{\text{кл}_1}$	$N'_{\text{пр}_1}$	$N'_{\text{кл}_2}$	$N'_{\text{пр}_2}$	$N'_{\text{кл}_3}$	$N'_{\text{пр}_3}$	$\delta_{\text{клср}}$	$\delta_{\text{прср}}$	$\varepsilon_{\text{ср}}$
1	4	26	3	27	1	29	30	0	30	0	30	0	8,8	0	92,4
2	2	28	0	30	1	29	28	2	29	1	27	3	7,2	4,3	97,2
3	3	27	1	29	1	29	30	0	30	0	30	0	5,5	0	94,5
4	3	27	4	26	2	28	30	0	27	3	27	3	8,9	3,2	86,4
5	8	22	9	21	7	23	23	7	25	5	24	6	39,7	17,2	61,6
6	9	21	7	23	8	22	30	0	30	0	30	0	36,2	0	70,8
7	13	17	12	18	11	19	28	2	27	3	28	2	42,8	4,3	68,8
8	12	18	14	16	16	14	30	0	30	0	30	0	47,0	0	53,8
9	4	26	2	28	1	29	28	2	26	4	29	1	8,2	8,6	91,8
10	3	27	6	24	4	26	30	0	27	3	30	0	15,5	2,8	77,6
11	6	24	4	26	3	27	29	1	27	3	28	2	17,4	5,7	85,0
12	10	20	8	22	11	19	26	4	23	7	22	8	33,3	14,8	72,3
13	3	27	2	28	2	28	27	3	28	2	24	6	9,4	6,3	90,9
14	2	28	1	29	3	27	28	2	28	2	29	1	5,4	2,1	92,9
15	1	29	3	27	1	29	26	4	27	3	27	3	3,3	8,4	93,4
16	4	26	3	27	3	27	25	5	26	4	26	4	16,6	8,4	83,8

Данные этой таблицы позволяют построить для обобщенного критерия разделяемости уравнение регрессии функции  $\varepsilon = f(H, \vartheta)$ :

$$\varepsilon = -105,3869 + 254,33x + 22,6251y - 194,0568x^2 + 0,99xy + 0,7713y^2. \quad (5)$$

Графическая интерпретация уравнения регрессии представляет собой поверхность отклика (рис. 2, а).

Для определения оптимальных параметров установки возьмем частную производную от уравнения регрессии (5):

$$\begin{cases} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} = 254,33 - 388,114x + 0,99y, \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} = 22,6251 + 0,99x - 1,5426y. \end{cases} \quad (6)$$

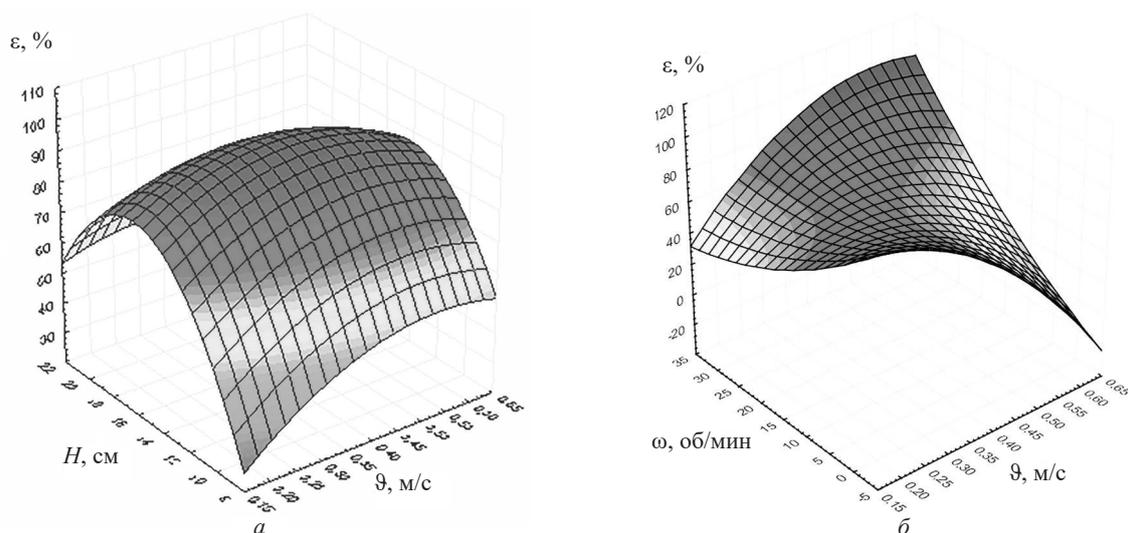


Рис. 2. Поверхность отклика обобщенного критерия разделяемости: а –  $\varepsilon = f(H, \vartheta)$ ; б –  $\varepsilon = f(\omega, \vartheta)$

Приравняв к нулю и решив систему уравнений, получим:

$$\begin{cases} 254,33 - 388,114x + 0,99y = 0, \\ 22,6251 + 0,99x - 1,5426y = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = 0,3270, \\ y = 14,8767. \end{cases}$$

Подставив полученные значения в уравнение регрессии (5), получим максимальное значение для обобщенного критерия разделяемости, равное 81 %, что соответствует факторам  $\vartheta = 0,4$  м/с и  $H = 15$  см.

Построим для обобщенного критерия разделяемости уравнение регрессии функции  $\varepsilon = f(\omega, \vartheta)$ :

$$\varepsilon = 82,5819 + 112,8393x - 4,1287y - 402,4583x^2 + 9,5037xy + 0,0291y^2. \quad (7)$$

Графическая интерпретация уравнения регрессии представляет собой поверхность отклика (рис. 2, б).

Для определения оптимальных параметров установки возьмем частную производную от уравнения регрессии (7):

$$\begin{cases} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} = 112,1791 - 804,9166x + 9,5037y, \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} = -4,1287 + 9,5037x + 0,582y. \end{cases}$$

Приравняв к нулю и решив систему уравнений, получим:

$$\begin{cases} 112,8393 - 804,9166x + 9,5037y = 0, \\ -4,1287 + 9,5037x + 0,0582y = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = 0,3339, \\ y = 0,64098. \end{cases}$$

Подставив полученные значения в уравнение регрессии (7), получим максимальное значение для обобщенного критерия разделяемости, равное 97 %, что соответствует факторам  $\omega = 30$  об/мин и  $\vartheta = 0,6$  м/с.

При этом обобщенный критерий разделения напрямую зависит от показателей количества клубней в емкости для примесей  $\delta_{\text{кл}}$  и количества примесей в емкости для клубней  $\delta_{\text{пр}}$ .

## Заклучение

Агротехническими требованиями для отделителей клубней картофеля от камней и комков почвы допускается наличие примесей не более 5 %. Если на установках после отделения примеси достигают более 5 %, то им требуется вторичная сепарация.

В ходе экспериментальных исследований определено, что наилучший результат для доли клубней в емкости для примесей и для доли примесей в емкости для клубней достигается при значениях скоростного режима при  $v = 0,6$  м/с, частоте вращения отражательного барабана  $\omega = 30$  об/мин и обобщенном критерии разделяемости  $\epsilon = 97$  %, что полностью удовлетворяет процессу отделения клубней картофеля от камней и комков почвы.

При факторах скорости подающего конвейера  $v = 0,4$  м/с и высоте падения продукции от оси подающего конвейера до центра отражательного барабана  $H = 15$  см обобщенный критерий разделяемости достигает наибольшего значения –  $\epsilon = 81$  %, что не удовлетворяет агротехническим требованиям, поэтому впоследствии возникает необходимость во вторичной сепарации.

## Список использованных источников

1. Белевич, П. К. Исследование процесса разрушения почвенных комков в условиях статического и динамического нагружения картофельной грядки : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / П. К. Белевич. – Минск, 1967. – 26 с.
2. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов : учеб. пособие / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Роцин. – Л. : Колос, 1972. – 199 с.
3. Хайлис, Г. А. Исследования сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных / Г. А. Хайлис, М. М. Ковалев. – М. : Колос, 1994. – 169 с.
4. Ишпек, С. Механоматематичен модел на отражателно-фрикционен сепаратор за картофокомбайн / С. Ишпек, Б. Бахнев // Сельскостопанска техника. – 2001. – Вып. 1. – С. 30–35.
5. Жарский, И. М. Планирование и организация эксперимента : учеб. пособие / И. М. Жарский, Б. А. Каледин, И. Ф. Кузьмицкий. – Минск : БГТУ, 2003. – 184 с.

**Е. И. Михайловский<sup>1</sup>, А. Н. Перепечаев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: N22-22@yandex.ru

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: pan-s1@yandex.by

## **ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФИРМЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

*Аннотация.* В статье приведены: структура существующей системы фирменного сервиса сельскохозяйственной техники с учетом ряда факторов, влияющих на его качество; маркетинговая формула стратегии продвижения на рынке товаров и услуг; основные функции дилерского центра при организации фирменного сервиса сельскохозяйственной техники и принципы организации системы фирменного сервиса; определена одна из основных проблем, ограничивающая рост производства.

На основании анализа зарубежного и отечественного опыта предложены наиболее эффективные формы создания систем фирменного сервиса сельскохозяйственных машин с учетом специфики их работы. Определена связь между объемами производства сельскохозяйственных машин и объемами их сбыта с маркетинговой и логистической деятельностью, а также организацией фирменного технического сервиса на основе дилерской системы.

*Ключевые слова:* дилерский центр, маркетинг, машинно-тракторный парк, работоспособность, система фирменного сервиса, технический сервис, техническое обслуживание и ремонт, фирменный сервис, эффективность.

**E. I. Mikhailovsky<sup>1</sup>, A. N. Perepechaev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: N22-22@yandex.ru

<sup>2</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: pan-s78@yandex.by

## **RATIONAL PROCUREMENT MANAGEMENT AS A FACTOR OF INCREASING EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF SYSTEM OF RESOURCE SAVING OF ENTERPRISES**

*Abstract.* The article presents: the structure of the existing system of corporate service for agricultural machinery, taking into account a number of factors affecting its quality; marketing formula for the strategy of promoting goods and services on the market; the main functions of the dealership when organizing corporate service for agricultural machinery and the principles of organizing a corporate service system; identified one of the main problems limiting the growth of production.

Based on the analysis of foreign and domestic experience, the most effective forms of creating corporate service systems for agricultural machines, taking into account the specifics of their work, are proposed. The relationship between the volume of production of agricultural machines and the volume of their sales with marketing and logistic activities, as well as the organization of corporate technical service based on the dealer system, has been determined.

*Keywords:* procurement, material resources, cash, supplier, optimization algorithm, product, selection of suppliers, transactional work, costs.

### **Введение**

В настоящее время в условиях конкуренции между изготовителями за рынки сбыта одним из элементов товарной политики является организация качественного технического сервиса реализуемой машиностроительной продукции сельскохозяйственного назначения в системе инженер-

но-технического обеспечения агропромышленного комплекса. Основным принципом организации технического сервиса на современном этапе развития экономики является принятие ответственности изготовителей или их дилеров за поддержание работоспособности реализуемой продукции в течение всего периода эксплуатации. Технический сервис должен обеспечивать при минимальных затратах максимальное сокращение потерь, возникающих при эксплуатации машин вследствие возникновения неисправностей, и максимальную реализацию их потенциальных возможностей по надежности.

### Основная часть

Одной из наиболее существенных проблем, лимитирующих рост сельскохозяйственного производства и напрямую влияющих на его конкурентоспособность, является состояние основных фондов, в том числе и сельскохозяйственных машин.

Эффективность любого производства в значительной степени зависит от уровня организации в отрасли технического сервиса. В практике использования техники термин «технический сервис» рассматривается как комплекс услуг, оказываемых сельскохозяйственному предприятию в приобретении техники, эффективном использовании и поддержании ее в работоспособном состоянии в течение всего периода эксплуатации, а также утилизации техники, отработавшей срок службы [1].

Рынок сельскохозяйственной техники сегодня становится «рынком потребителя». Производители сельскохозяйственной техники ведут конкурентную борьбу за потребителя. В этих условиях наряду с качеством и другими потребительскими свойствами техники существенную роль в реализации играют объем и структура сопутствующих мероприятий и услуг. Мероприятия и услуги, обеспечивающие реализацию сельскохозяйственной техники, включают: рекламу; финансовую поддержку потребителя; эффективную подготовку персонала; доставку техники; предпродажную подготовку; послепродажный сервис, в том числе техническое обслуживание и ремонт машин в гарантийный и послегарантийный периоды, обеспечение запасными частями.

При реализации сельскохозяйственной техники особое внимание уделяется рекламе. В рекламных целях проводятся такие мероприятия, как международные, национальные и региональные выставки, демонстрация техники в работе, безвозмездная передача техники в учебные заведения, предоставление машин для различных профессиональных соревнований, адресная рассылка рекламы, размещение ее в специальных изданиях, на радио и телевидении.

Стоимость современной сельскохозяйственной техники довольно значительная, поэтому покупателям при ее приобретении, как правило, предоставляется кредит или она поставляется в лизинг.

Зарубежный и отечественный опыт использования техники показывает, что наиболее эффективной формой организации технического сервиса на этапе обеспечения сельскохозяйственных товаропроизводителей техникой является дилерская система. При этой форме изготовитель предоставляет право реализации и обслуживания техники на основе договора дилеру, отвечающему предъявляемым требованиям [2, 3].

Основными функциями дилерского центра являются:

- изучение рынка сбыта, организация рекламы техники и определение платежеспособного спроса;
- формирование заказа на технику, оформление договоров с поставщиками и приемка продукции по количеству, качеству и комплектности; проведение предпродажного обслуживания техники и поставка ее потребителю;
- рассмотрение и удовлетворение рекламационных претензий потребителей в гарантийный период эксплуатации техники;
- обеспечение работоспособности техники путем проведения качественного технического обслуживания и ремонта на договорной основе;
- обеспечение потребителей запасными частями в течение всего периода эксплуатации техники;

- организация курсов обучения эксплуатационно-ремонтного персонала потребителей правилам эксплуатации и технического сервиса техники;
- обеспечение потребителей нормативно-технической документацией по устройству, эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту техники;
- информирование потребителя об изменениях, внесенных в конструкцию техники; сбор и передача изготовителю информации о качестве и надежности реализованной техники [4].

Разновидностью дилерской формы технического сервиса является организация фирменного технического сервиса, который предусматривает непосредственное участие изготовителей техники в ее обслуживании и ремонте на собственных производственных площадях или на базе ремонтных предприятий с привлечением посреднических структур, специализирующихся на работах по техническому сервису.

Понятие «фирменный сервис» связывают в первую очередь с полной ответственностью предприятия-изготовителя за работоспособность техники в течение всего срока ее эксплуатации. Практический опыт показывает, что функционирование рынков техники находится под огромным влиянием систем фирменного обслуживания производителей. Эти системы позволяют удовлетворять потребности в технике не столько за счет экстенсивного увеличения ее количества, сколько благодаря повышению качества и эффективности ее использования.

При этом основу системы фирменного сервиса составляют следующие принципы: ответственность за организацию технического обслуживания в течение всего срока эксплуатации несет производитель (это обусловлено стремлением сохранить и развить рынок сбыта); техническое обслуживание (и в целом технический сервис) является важным инструментом конкурентной борьбы производителей за сферы влияния. Борьба на рынке сбыта все чаще выходит за рамки маневрирования цен. Передовые фирмы-производители предпочитают повышать конкурентоспособность на основе совершенствования конструкции техники и предоставления более широкого комплекса услуг в процессе их эксплуатации; система технического сервиса включает весь комплекс услуг, в том числе и модернизацию техники. Масштабы работ и видов услуг не регламентированы и определяются потребителем совместно с производителем; производитель организует технический сервис своей продукции независимо от ее местонахождения. Это требует хорошо организованной и разветвленной сети предприятий системы фирменного сервиса; формы и организации системы технического обслуживания и текущего ремонта разнообразны (непосредственный контакт производитель – потребитель или через посредника).

Система фирменного сервиса включает в себя: продажу машин; доставку машин; предпродажное обслуживание; ввод в эксплуатацию; обеспечение запасными частями; учет и удовлетворение рекламаций в гарантийный период; техническое обслуживание и ремонт в течение всего срока эксплуатации; технические консультации и информационное обеспечение; обучение специалистов; организацию наблюдения за работой техники; участие в работе по повышению эксплуатационной надежности и совершенствованию конструкций [4].

Решение перечисленных задач системы фирменного сервиса требует значительных капиталовложений, развитой дилерской сети (по региональному принципу), предварительной разработки нормативной и эксплуатационной документации и других организационных и научных проработок. Поэтому технический сервис превратился в важную отрасль сферы услуг, неразрывно связанной со сферой производства.

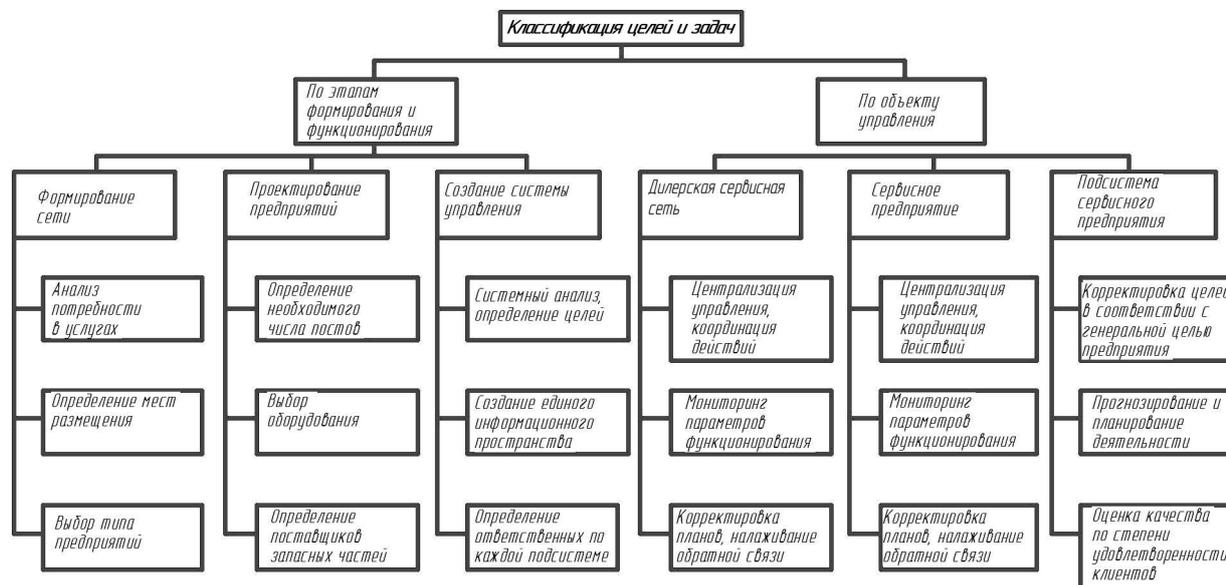
Обозначенные принципы организации системы фирменного сервиса обуславливают как организационную структуру предприятий дилерской сервисной сети, так и способы взаимодействия с производителем и предприятиями, обеспечивающими сервисные центры запасными частями, а также с другими партнерами.

Поскольку система фирменного сервиса является сложной организационно-технической системой, ей присущи все свойства таких систем, и, соответственно, управление должно строиться с учетом характеристик таких систем.

Возникающие при этом проблемы, обусловлены особенностями как непосредственно больших систем, так и отрасли. Поэтому, для того чтобы система была эффективной, следует учитывать особенности ее формирования, характер взаимодействий подсистем и параметры связей

между ними, а также способ организации управления системой со стороны фирмы-производителя и параметров обратной связи с ней.

В качестве классификационных признаков при анализе проблем можно выбрать как этапы формирования и функционирования систем фирменного сервиса, так и тип самого объекта управления. Выделив задачи и определив объекты управления, можно выявить возможные негативные факторы, препятствующие решению данных задач (см. рисунок).



Цели и задачи в области управления системой фирменного сервиса

В системе фирменного сервиса оперативность и качество оказываемых услуг во многом определяются квалификацией исполнителей и адаптацией сотрудников к реальным условиям.

Условия конкуренции на рынке сервисных услуг вынуждают искать новые формы повышения эффективности функционирования системы фирменного сервиса. Для руководителей многих предприятий становится очевидным, что ориентированность на клиента не столько дань моде, сколько основное направление создания конкурентных преимуществ.

Согласно цели маркетинговых исследований стратегия продвижения на рынке товаров и услуг определяется пятью компонентами:

$$\text{Маркетинг} = \text{Продукт (услуга)} + \text{Цена} + \text{Место} + \text{Продвижение} + \text{Люди.}$$

Эту общепризнанную формулу маркетинга применяют успешные производители, продвигая свои товары и услуги, не только понимая важность этого компонента, но и делая реальные инвестиции в обучение своих сотрудников пониманию философии и навыкам ориентации на клиента [5].

Все эти направления производитель сможет реализовать только при наличии разветвленной и управляемой товаропроводящей сети, сочетающей различные формы ее построения: сеть дилерских центров, производственно-технических или снабженческо-сбытовых совместных предприятий и т. п., действуя через которые производители смогут реализовать собственную выпускаемую машиностроительную продукцию и обеспечивать технический сервис в ассортименте, удовлетворяющем как крупных, так и мелких сельскохозяйственных товаропроизводителей.

### Заключение

Переход в рыночных условиях отечественных производителей сельскохозяйственной техники к системе фирменного обслуживания, при которой сервис выполняется по инициативе и при участии изготовителя, обусловлен приоритетом товаропроизводителя и взаимовыгодным интересом. Такое положение ставит производителей техники перед необходимостью формирования

дилерских центров. Дальнейшее развитие отечественной системы технического сервиса связано с обеспечением высокого качества услуг, оказываемых сервисными предприятиями.

В настоящее время качество услуг становится одним из главных факторов, определяющих коммерческий успех предприятия, его конкурентоспособность. Качество работ зависит от многих факторов. К ним относятся: оснащенность предприятия прогрессивным технологическим оборудованием и нормативно-технической документацией, уровень квалификации и профессиональной подготовки сотрудников и специалистов предприятия, а также организации рабочего процесса, качество используемых запасных частей и др.

Эффективность системы технического сервиса должна определяться качеством взаимодействия трех подсистем: продажа – сервис – запасные части. Решение данной проблемы возможно на основе использования логистических принципов при организации и управлении предприятиями дилерской сервисной сети.

Увеличение объемов производства сельскохозяйственной техники и объемов ее сбыта будет самым тесным образом связано с эффективной маркетинговой и логистической деятельностью, производством более качественной техники и организацией сопутствующего сервиса.

### **Список использованных источников**

1. Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства : учеб. пособие / А. П. Тарасенко [и др.] ; под ред. А. П. Тарасенко. – М. : КолосС, 2004. – 550 с.
2. Механизация сельскохозяйственного производства : учебник / В. К. Скоркин [и др.]. – М. : КолосС, 2009. – 320 с.
3. Организация сельскохозяйственного производства : учебник / М. П. Тушканов [и др.] ; под ред. М. П. Тушканова, Ф. К. Шакирова. – М. : ИНФРА-М, 2017. – 292 с.
4. Технический сервис – опыт и перспективы развития / Ю. А. Конкин [и др.] ; под общ. ред. Ю. А. Конкина. – М. : Росинформагротех, 2011. – 340 с.
5. Дидманидзе, О. Н. Технический сервис в АПК / О. Н. Дидманидзе, В. М. Корнеев. – М. : УМЦ Триада, 2015. – 110 с.

**В. В. Голдыбан, М. И. Курилович**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: labpotato@mail.ru*

## **ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРООСМОСА ПОВЕРХНОСТНОГО ТИПА НА ПОЛНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПОЧВЕННОЙ ВОДЫ**

*Аннотация.* В статье представлены результаты исследований по влиянию электроосмоса поверхностного типа на изменение полного потенциала почвенной воды.

*Ключевые слова:* почва, капиллярная вода, полный потенциал, электроосмос, бионика, поровое давление.

**V. V. Goldyban, M. I. Kurylovich**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: labpotato@mail.ru*

## **THE EFFECT OF SURFACE-TYPE ELECTROOSMOSIS ON THE FULL POTENTIAL OF SOIL WATER**

*Abstract.* The article presents the results of studies on the effect of surface-type electroosmosis on the change in the total potential of soil water.

*Keywords:* soil, capillary water, full potential, electroosmosis, bionics, pore pressure.

### **Введение**

Ранее нами было предложено использовать природное явление электроосмоса поверхностного типа для снижения тягового сопротивления рабочих органов почвообрабатывающих машин [1, 2]. Основная идея повышения эксплуатационных характеристик рабочих органов заключалась в расположении положительных и отрицательных полюсов достаточно близко друг другу на трущихся с почвой поверхностях и пропускании через них электрического тока напряжением от 12 до 24 В. Электрический ток, проходя от катодов к аноду через капилляры почвы, увлекает за собой почвенную влагу. В результате этого у катодов увеличивается влажность и возникает зона водонасыщенной почвы. Электроосмотически перенесенная вода создает слой «смазки» на взаимодействующих с почвой поверхностях, улучшая их трибологические характеристики.

### **Основная часть**

В статье ставится цель получить энергетическую характеристику напряженного состояния воды в почве, контактирующей с электроосмотической поверхностью.

Так как почвенная влага находится под одновременным влиянием адсорбционных, капиллярных, осмотических и гравитационных силовых полей, то для оценки их влияния на энергетическое состояние почвы введено понятие полного потенциала почвенной воды. Этот обобщающий показатель выражается через давление поровой воды и измеряется с помощью тензиометров. Давление поровой воды – величина отрицательная, так как затрачивается работа (положительно-го знака) на его преодоление.

Для определения напряженного состояния почвы при пропускании через нее электрического тока нами были использованы прибор и оборудование, описанные в работе [3]. Для измерения давления поровой воды применены минитензиометры T 5 METER Group (Германия). Керамические наконечники тензиометров имеют размер пор  $r = 0,3$  мкм, что способствует быстрому

выравниванию концентрации ионов, и поэтому, со слов разработчика, влияние осмоса на измерения пренебрежимо мало.

В качестве электроосмотической поверхности использовали металлические диски № 2 и № 3 диаметром 55,3 см со вставками-электродами (рис. 1).

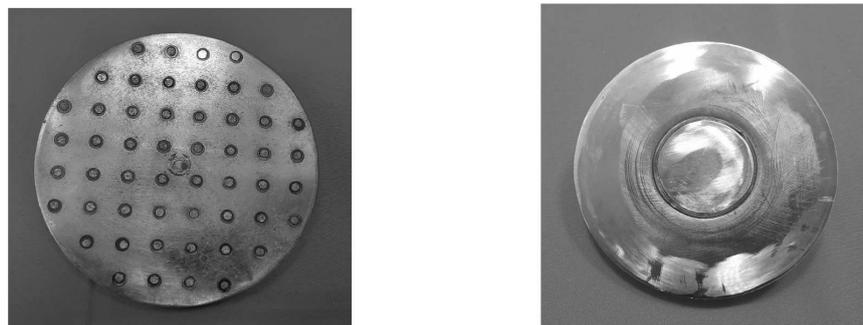


Рис. 1. Внешний вид исследуемых поверхностей: *a* – диск № 2; *б* – диск № 3

Диск № 2 (см. рис. 1, *a*) имеет 52 изолированные вставки-электроды диаметром 2 мм, размещенные друг от друга на расстоянии 10 мм. Электроды соединены между собой с тыльной стороны диска и имеют выводной контакт для подачи электричества. Так как диск и вставки-электроды выполняют функцию катода и анода, то во избежание короткого замыкания они разделены друг от друга пластмассовыми изоляторами.

Диск № 3 (см. рис. 1, *б*) имеет на своей поверхности единственный изолированный электрод диаметром 30 мм.

Первая серия опытов была произведена с диском № 2. Подаваемое напряжение составляло 24 В, влажность почвы в опыте – 16,2 %, тип почвы – суглинок Молодечненского района Минской области (д. Дуброво). В качестве анода (отрицательный электрод) выступали вставки, а катода (положительный электрод) – диск. Отношение площади анода к площади катода – 0,07.

Электрический ток должен вызывать движение почвенной влаги (капиллярной и гравитационной) от катода к аноду (рис. 2).

На первом этапе после уплотнения почвы в чаше и снятия излишков определяли давление поровой воды тензиометрами на глубине 6,5 см (рис. 3: 1) и 9,5 см (рис. 3: 2) без электроосмоса.

При отсутствии внешней сжимающей нагрузки на образец верхний тензиометр регистрировал изменение давление поровой воды с 6,5 до 4,0 кПа, нижний тензиометр – с 2,4 до 1,0 кПа. Это указывает на тот факт, что матричный потенциал почвы в исследуемых слоях отличается незначительно, а капиллярная и гравитационная вода распределена в них приблизительно равномерно.

При подаче напряжения на электроды (24 В) происходит перенос воды от катода к аноду через контактирующие с электроосмотической поверхностью слои почвы. Диск начинает работать как насос, высасывая воду из нижних слоев почвы и собирая ее на своей поверхности у анодов. Увеличение концентрации влаги в верхних слоях почвы фиксируется верхним тензиометром, что отмечается резким уменьшением абсолютного значения отрицательного давления воды (чем больше воды в исследуемом слое почвы, тем слабее она удерживается твердой фазой, тем ниже поровое давление и выше потенциал почвенной воды). Поровое давление воды на глубине 6,5 см от действия электроосмоса снижается на 3,4 кПа. Скорость снижения давления – 0,35 кПа/с.

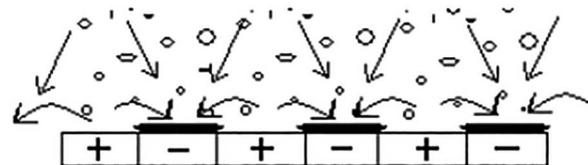


Рис. 2. Принципиальная схема поверхностного электроосмоса

Из графика видно, что явление электроосмоса наблюдается в верхних слоях почвы.

После снятия электрической нагрузки, прекращения переноса влаги к анодам диска, ее уменьшение сопровождается ростом давления поровой воды.

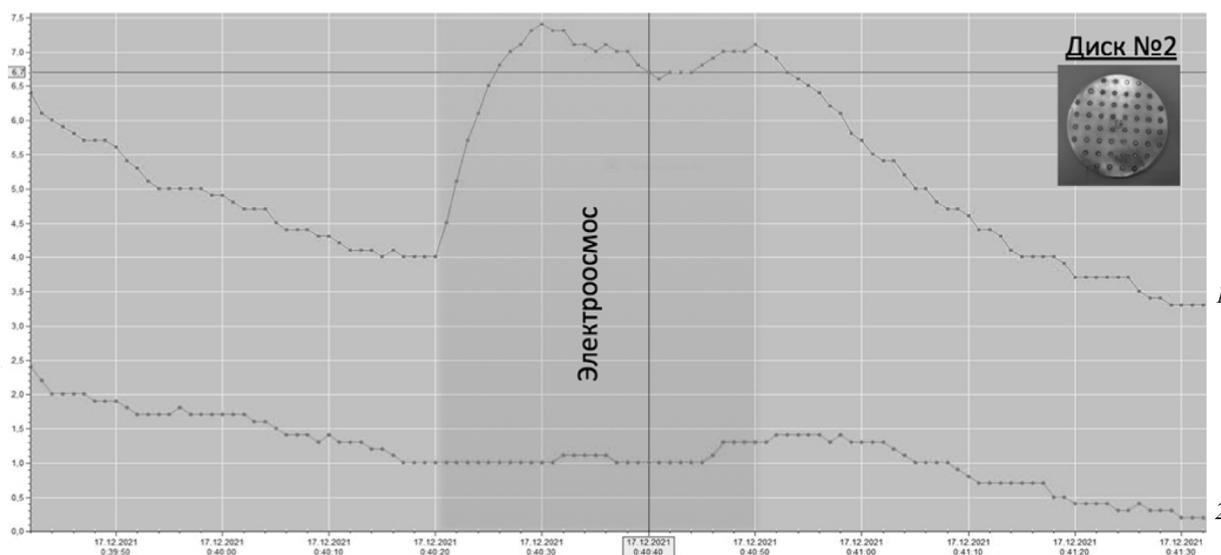


Рис. 3. Влияние электроосмоса на давление поровой воды в почве для диска № 2 (внешняя нагрузка отсутствует). Показания верхнего (1) и нижнего (2) тензиометра

После прикладывания внешней нагрузки к диску в 5,5 кПа показания верхнего и нижнего тензиометров увеличиваются в абсолютной величине с 3,2 и 0,2 кПа до –65,4 и –66,4 кПа соответственно, что в 12 раз больше величины прикладываемой нагрузки (рис. 4).

Характер изменения давления поровой воды в зоне верхнего и нижнего тензиометра при подаче напряжения на катод и аноды аналогичен описанному выше. Поровое давление воды на глубине 6,5 см от действия электроосмоса снижается на 4,4 кПа. Скорость изменения давления – 0,24 кПа/с.

После нахождения на отметке 61,0 кПа рост порового давления вводы, регистрируемый верхним тензиометром, достигает своего предельного значения, в результате чего кривая роста становится полой. Складывается впечатление, что верхний тензиометр регистрирует поток воды, перекачиваемой электроосмотической поверхностью из нижних слоев почвы. Увеличивается количество воды в зоне тензиометра и, как следствие, снижется регистрируемое поровое давление.

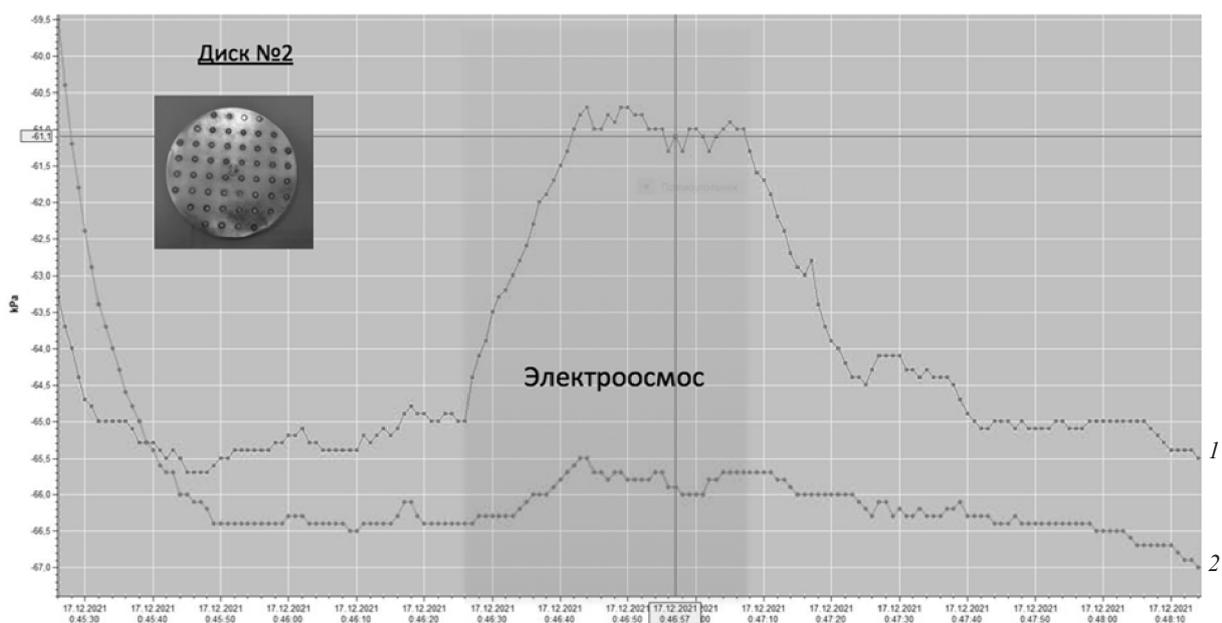


Рис. 4. Влияние электроосмоса на давление поровой воды для диска № 2 (приложена внешняя нагрузка). Показания верхнего (1) и нижнего (2) тензиометра

После снятия электроосмотической нагрузки движение воды прекращается, она распределяется в зонах с меньшим потенциалом, давление поровой воды уменьшается.

Можно заметить, что в этом опыте приложенная внешняя нагрузка в 5,5 кПа вызвала незначительное снижение давления на нижнем тензиометре. Это означает, что почвенная влага перемещалась под действием электроосмоса к анодам и из этой зоны. После снятия электрической нагрузки прекращается перенос влаги к анодам диска, ее уменьшение сопровождается ростом давления поровой воды в верхних слоях почвы.

Вторую серию опытов проводили с диском № 3 (см. рис. 1, 5). Условия проведения опыта: влажность почвы – 16,8 %, подаваемое напряжение – 24 В, внешняя нагрузка – 5,5 кПа, тип почвы – суглинок Молодечненского района Минской области (д. Дуброво). В качестве анода (отрицательный электрод) использована центральная вставка, а в качестве катода (положительный электрод) – диск. Отношение площади анода к площади катода – 0,42.

При отсутствии внешней сжимающей нагрузки на образец верхний тензиометр регистрировал изменение давления поровой воды с 6,5 до 4,0 кПа, нижний тензиометр – с 2,4 до 1,0 кПа. Это указывает на тот факт, что матричный потенциал почвы в исследуемых слоях отличается незначительно, а капиллярная и гравитационная влага распределена в них приблизительно равномерно.

При подаче напряжения на электроды (24 В) происходит перенос воды от катода к аноду через контактирующие с электроосмотической поверхностью слои почвы. Движение почвенной влаги зафиксировано обоими тензиометрами. Верхний тензиометр показывает уменьшение давления поровой воды вследствие ее миграции на 10 кПа. Скорость изменения давления от электроосмоса в этом слое почвы – 0,68 кПа/с. Нижний тензиометр в этом опыте показывает уменьшение давления поровой воды с 9,0 до 12,4 кПа. Скорость изменения давления от электроосмоса в этом слое почвы – 0,13 кПа/с.

После прикладывания внешней нагрузки к диску в 5,5 кПа показания верхнего и нижнего тензиометров увеличиваются в абсолютной величине с 6 и 8 кПа до –57 и –45 кПа соответственно, что в 9–11 раз больше величины прикладываемой нагрузки (рис. 6).

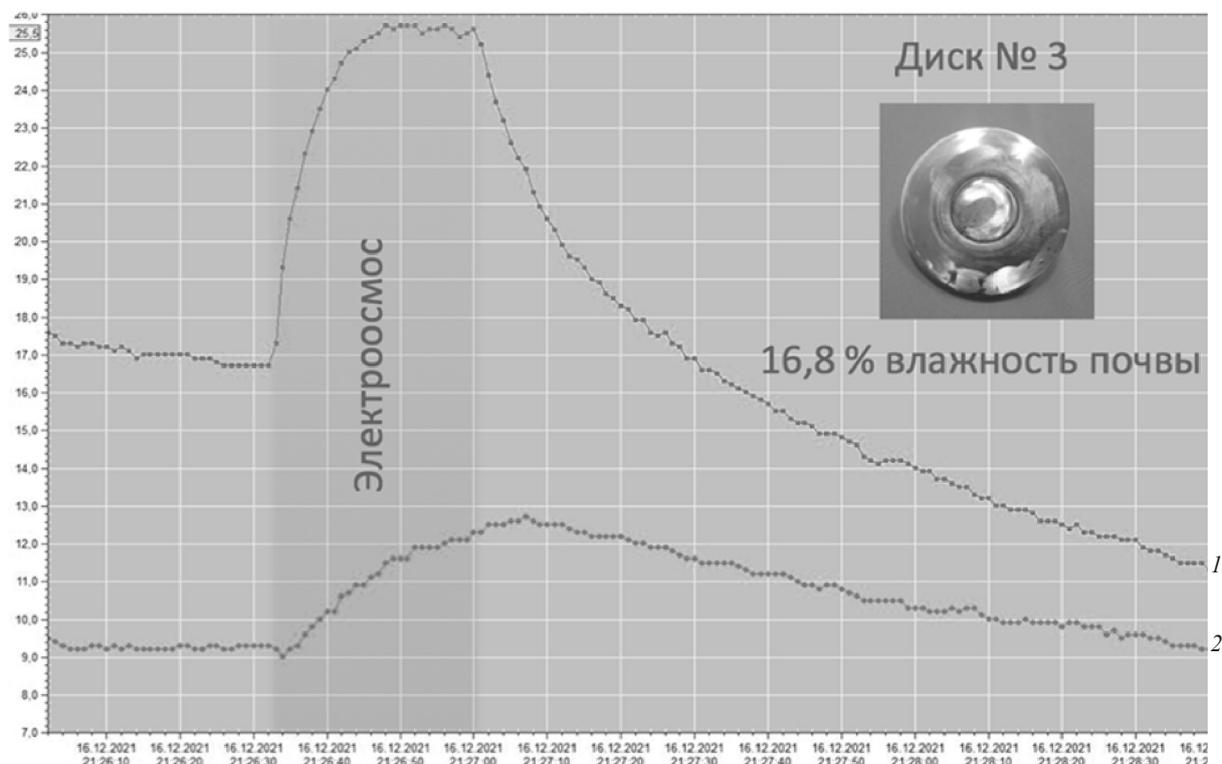


Рис. 5. Влияние электроосмоса на давление поровой воды в почве для диска № 3 (внешняя нагрузка отсутствует). Показания верхнего (1) и нижнего (2) тензиометра

Рост кривой давления первого тензиометра указывает на факт перемещения влаги в верхние слои почвы. От действия электроосмоса это движение становится более интенсивным, что сопровождается уменьшением давления в зоне верхнего тензиометра до  $-25$  кПа. Скорость изменения давления от электроосмоса в этом слое почвы –  $0,58$  кПа/с. Движение воды в зоне расположения нижнего тензиометра в сторону анода не наблюдается.

Для диска № 3 сделан дополнительный опыт под нагрузкой  $5,5$  кПа со сменой полярности электродов: в качестве анода использован диск, а в качестве катода – изолированная вставка-электрод. Отношение площади анода к площади катода –  $2,4$ . Влажность почвы в опыте –  $16,8$  %. Это самое большое соотношение в проводимых нами опытах.

Результаты опыта представлены на рис. 7. Верхний тензиометр зарегистрировал на период включения напряжения уменьшение порового давления воды с  $-66$  до  $-10$  кПа со скоростью  $0,35$  кПа/с.

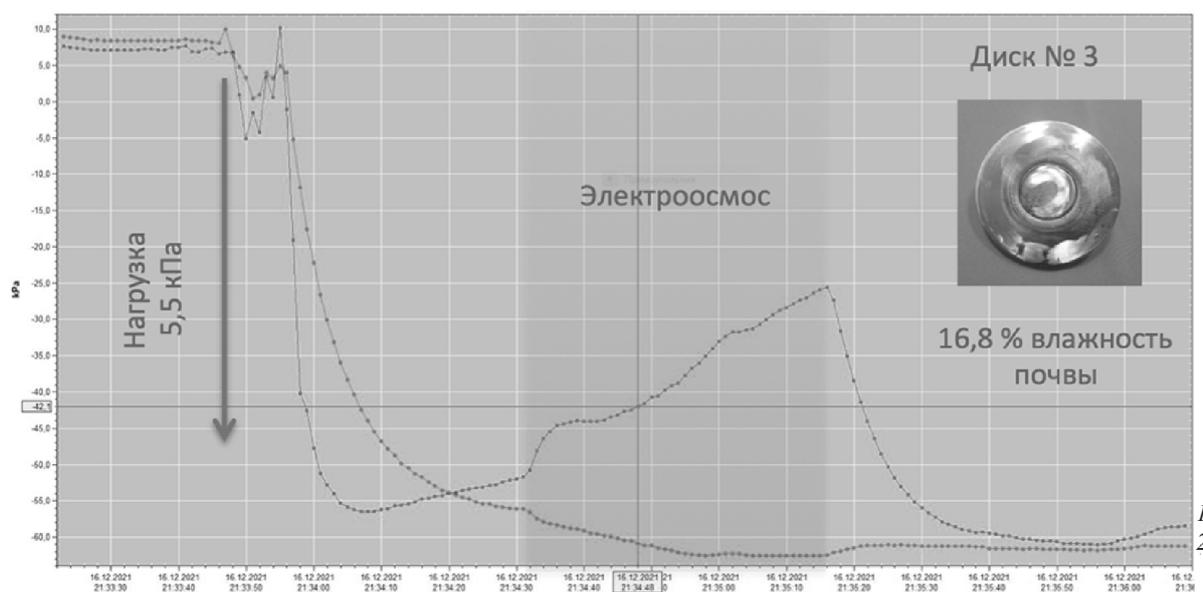


Рис. 6. Влияние электроосмоса на давление поровой воды в почве для диска № 3 (приложена внешняя нагрузка). Показания верхнего (1) и нижнего (2) тензиометра

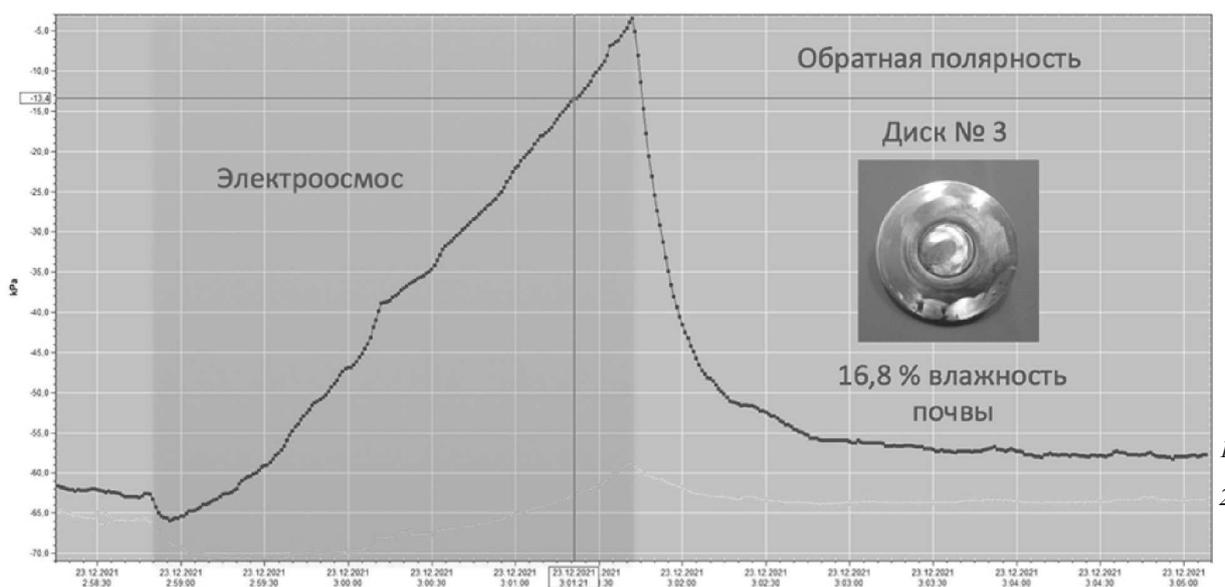


Рис. 7. Влияние электроосмоса на давление поровой воды в почве для диска № 3 (приложена внешняя нагрузка, обратная полярность). Показания верхнего (1) и нижнего (2) тензиометра

В серии опытов с диском № 3 при подаче напряжения на электроды диска происходит непрерывное уменьшение давления поровой воды, а следовательно, и перемещение воды к электроосмотической поверхности. Одинаковая пологость кривой давления свидетельствует о том, скорость перемещения поровой воды постоянна. Видно (см. рис. 7), что в течение 3 мин, пока подается напряжение на электроды, давление поровой воды не достигает своего порогового значения, как в серии опытов № 1. Перемещение почвенной влаги происходит преимущественно в верхних слоях почвы.

### Выводы

Проведенные исследования по изучению влияния электроосмоса поверхностного типа на полный потенциал почвы позволяют сделать следующие основные выводы.

1. При подаче напряжения на электроды происходит снижение давления поровой воды в контактирующем слое почвы, что свидетельствует о его насыщении влагой. После снятия электрической нагрузки прекращается перенос влаги к анодам, что сопровождается ростом давления поровой воды.

2. Влагоперенос под действием электрического тока происходит преимущественно в слое почвы толщиной до 10 см. Скорость перемещения влаги постоянна, о чем свидетельствует одинаковая пологость кривой давления.

3. Существенное влияние на перенос влаги к электроосмотической поверхности оказывает давление этой поверхности на слой почвы. Так, при внешнем давлении в 5,5 кПа на диск, контактирующий с почвой, давление поровой воды возрастает в 9–11 раз.

4. Схема расположения электродов и соотношение площади катода к аноду также оказывают влияние на изменение полного потенциала почвенной воды.

Исследования выполнены в рамках гранта Президента Республики Беларусь в науке, образовании, здравоохранении, культуре на 2021 год по исследованию энергетических показателей минеральных почв при контактном взаимодействии с морфологически негладкими и электроосмотическими поверхностями.

### Список использованных источников

1. Голдыбан, В. В. Снижение сил резания при почвообработке с помощью бионического метода электроосмоса / В. В. Голдыбан, А. Н. Антоненко, К. Н. Мисников // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 17–18 окт. 2018 г. / РУП «Научн.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механиз. сельского хоз-ва» ; редкол.: П. П. Казакевич [и др.]. – Минск, 2018. – С. 275–280.

2. Голдыбан, В. В. Экспериментальные установки для исследований по земледельческой механике / В. В. Голдыбан // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2020. – Вып. 53. – С. 66–71.

3. Комлач, Д. И. Исследование адгезионных характеристик минеральных почв / Д. И. Комлач, В. В. Голдыбан, М. И. Курилович // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2021. – Вып. 55. – С. 8–11.

**В. В. Голдыбан<sup>1</sup>, О. В. Синчук<sup>2</sup>, Г. А. Ткаченко<sup>3</sup>, М. И. Курилович<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: labpotato@mail.ru

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: aleh.sinchuk@mail.ru

<sup>3</sup>Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: tkachenko\_minobr@mail.ru

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МАНДИБУЛ ЧЕРНОГО САДОВОГО МУРАВЬЯ В КАЧЕСТВЕ БИОНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ КУЛЬТИВАТОРНЫХ ЛАП**

*Аннотация.* Для повышения долговечности культиваторных лап предложено использовать в качестве бионической модели твердосплавные вставки, спроектированные на основе мандибул садового муравья. С помощью растрового электронного микроскопа LEO-1455 VP (с приставками) на базе Центра коллективного пользования уникальным научным оборудованием «Белорусский межвузовский центр обслуживания научных исследований» физического факультета Белорусского государственного университета исследовалась поверхность мандибул (жвал) черного садового муравья *Lasius niger*.

Для выбора схемы и места размещения бионических твердосплавных вставок на поверхности стрелчатой лапы с помощью программного комплекса FlowVision и конечно-объемного подхода для аппроксимации уравнений математической модели определены основные части рабочего органа, которые подвержены наибольшему уплотняющим нагрузкам, а следовательно, более интенсивному абразивному износу. Определены основные параметры твердосплавных вставок: шаг и высота зубчиков, уравнение образующей зубчатой поверхности. Предложена концепция размещения твердосплавных вставок на быстро изнашивающихся частях культиваторной лапы.

*Ключевые слова:* бионика, мандибулы муравья, износ, стрелчатая лапа, культиватор, твердосплавная вставка.

**V. V. Goldyban<sup>1</sup>, O. V. Sinchuk<sup>2</sup>, G. A. Tkachenko<sup>3</sup>, M. I. Kurylovich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: labpotato@mail.ru

<sup>2</sup>Belarusian State University

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: aleh.sinchuk@mail.ru

<sup>3</sup>Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: tkachenko\_minobr@mail.ru

## **STUDY OF BLACK GARDEN ANT MANDIBULES AS A BIONIC MODEL TO INCREASE THE RELIABILITY OF CULTIVATED PAWS**

*Abstract.* To increase the durability of cultivator paws, it is proposed to use as a bionic model hard-alloy inserts designed on the basis of garden ant mandibles. The surface of the mandibles (mandibles) of the black garden ant *Lasius niger* was studied using a LEO-1455 VP scanning electron microscope (with attachments) on the basis of the Center for Shared Use of the unique scientific equipment "Belarusian Interuniversity Research Service Center" of the Faculty of Physics of the Belarusian State University.

To select the scheme and location of the bionic carbide inserts on the duckfoot surface, using the FlowVision software package and the finite-volume approach to approximate the equations of the mathematical model, the

main parts of the working body that are subject to the greatest sealing loads, and, consequently, more intense abrasive wear, have been determined. The main parameters of hard-alloy inserts have been determined: the pitch and height of the teeth, the equation of the generatrix of the toothed surface. The concept of placement of carbide inserts on the quickly wearing parts of the cultivator share is proposed.

*Keywords:* bionics, ant mandible, wear, duckfoot, cultivator, tungsten carbide insert.

## Введение

Важнейшим направлением повышения технического уровня почвообрабатывающих машин является повышение ресурса их рабочих органов.

В результате интенсивного абразивного изнашивания изменяются геометрия режущей части и общие размеры рабочих органов, что является причиной нарушения агротехнических требований, снижения качества обработки почвы, повышения энергетических затрат. Вынужденная частая замена деталей рабочих органов снижает производительность труда и повышает затраты на обработку.

Стрельчатая лапа является основным рабочим органом культиваторов для сплошной и междурядной обработки почвы. Основное ее назначение – борьба с сорной растительностью и рыхление почвы.

Размеры и форма стрельчатой лапы характеризуются углом раствора, углом крошения, углом заточки, шириной крыла и шириной захвата. По мере эксплуатации, в результате изнашивания, практически все эти параметры изменяются, снижая работоспособность лапы.

В результате изнашивания носовой части увеличивается радиус режущей кромки, косое резание переходит в категорию фронтального резания, вследствие чего повышается сопротивление, снижается заглубляющая способность лапы, нарушается равномерность глубины обработки.

В результате износа крыльев лапы по ширине возникает нарушение сплошности обработки за счет уменьшения ширины захвата и ликвидации зоны перекрытия обработки почвы лапами первого и второго рядов. По мере изнашивания режущей кромки лезвия увеличивается ее толщина, ухудшается режущая способность и снижается глубина обработки на твердых участках.

При создании конкурентоспособной сельхозтехники относительно невысокая наработка на отказ и значительная цена лап остро ставят вопрос повышения их ресурса и долговечности.

Разработка новых форм рабочих органов, материалов и технологий, в частности, создание высокопрочных износостойких покрытий, в значительной степени определяет технический уровень сельхозмашиностроения и сельскохозяйственного производства в целом.

## Основная часть

В последнее время в области земледельческой механики сформировалось новое научное направление, заключающееся в бионическом подходе к созданию сельскохозяйственных машин и рабочих органов. Наука, возникшая на стыке биологии и технологии – бионика, применяет принципы и методы, абстрагированные от биологических систем, к инженерному проектированию.

Инновационный потенциал бионического подхода был доказан нами при выполнении проектов заданий 4.1 «Разработка на основе элементов бионики теоретических основ к созданию антиадгезионных и антифрикционных поверхностей рабочих органов машин для возделывания корнеклубнеплодов» и 4.24 «Исследование электроосмоса и оценка его эффективности в уменьшении тягового усилия при обработке почвы» ГПНИ «Качество и эффективность агропромышленного производства» на 2016–2020 годы подпрограммы «Механизация и автоматизация процессов в АПК».

Черный садовый муравей *Lasius niger* является одним из видов перепончатокрылых насекомых, обитающих в почве (рис. 1).

Как и другие организмы, муравьи взаимодействуют с почвенной средой, используя морфологические структуры ротовых или двигательных органов.

У муравьев роль хватательного и копательного органа выполняют мандибулы (жвалы).



Рис. 1. Черный садовый муравей: *а* – внешний вид; *б* – голова с мандибулами

Муравьи используют свои мандибулы для быстрых и мощных действий, таких как ловля добычи, борьба, копание, срезание листьев, а также для таких деликатных задач, как уход за выводком, переноска сородичей, транспортировка жидкостей, общение [1].

Черный садовый муравей использует свои мандибулы при гнездостроении, обрабатывая при этом не менее 26 м<sup>3</sup> почвы на 1 га [2, 3]. Численность гнезд муравьев *L. niger* на лугах может составлять до 2145 на 1 га (и даже 7–8 тыс. муравейников на 1 га), создавая особенный микро рельеф. Глубина формирования ходов в муравейнике превышает 50 см (максимум – 54,21 см) [4].

Исследования проводили на кафедре биологии Белорусского государственного университета.

В результате исследования мандибул муравьев установлено, что на их жевательном крае находится 7–8 неравных зубчиков, которые имеют тетраэдрическую форму. При этом зубчики не острые и к концу скорее закругленные. Их длина составляет от 23,41 до 39,34 мкм ( $31,57 \pm 2,54$  мкм). На зубчиках рельефа не отмечается. Заостренные и уплощенные части есть только по бокам тетраэдра.

В непосредственной близости к зубчикам или даже у их основания отмечается наличие воронковидных округлых и овальных отверстий, снабженных волосками. Воронковидные отверстия имеют диаметр от 6,69 до 11,11 мкм ( $8,87 \pm 0,71$  мкм). На остальной поверхности мандибулы также отмечаются отверстия диаметром от 6,33 до 10,43 мкм ( $8,05 \pm 0,50$  мкм) (рис. 2).

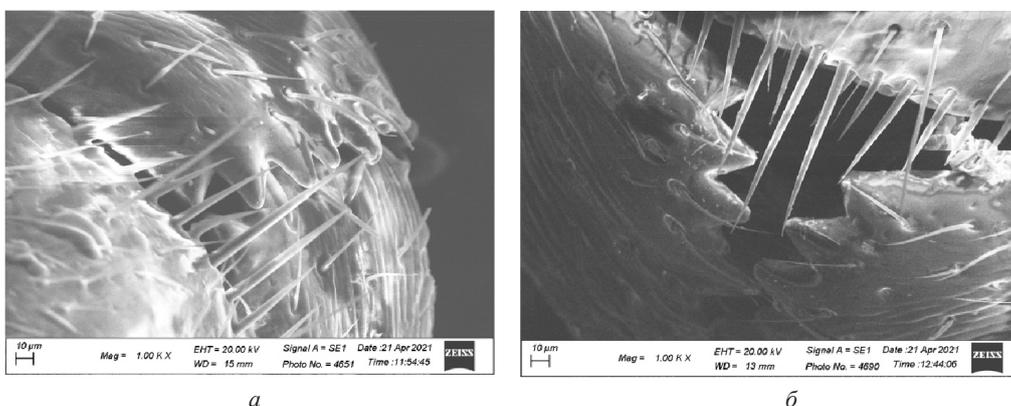


Рис. 2. Вид мандибул *Lasius niger*: *а* – со стороны клипеуса (наличника); *б* – спереди (немного раздвинутые мандибулы)

Использование зубчатой режущей кромки культиваторной лапы по аналогии с рабочим краем мандибул, возможно, является одним из технических решений, позволяющим продлить срок их эксплуатации. Зубчатая поверхность мандибул – это биологический принцип, который мы должны перенести из мира природы в технику.

Для этого нам необходимо найти ответы на вопросы: какое преимущество дают зубчики мандибул и какова их структура с точки зрения сопротивления изнашивающей способности почвы.

Исследования морфологии мандибулы, выполненные в Федеральном университете Параны (Бразилия) показывают, что распределение кутикулярного материала в виде зубчиков в нижней

челюсти муравьев может соответствовать высоким требованиям к нагрузке, передаваемой от мандибулы к голове [5]. Зубы концентрируют силы, создаваемые жевательными мышцами, на меньших площадях. Большая часть напряжений, создаваемых на верхушечном зубе, рассеивается вдоль внешнего края по направлению к основанию нижней челюсти. При моделировании напряжения жевательного края наличие хорошо развитых зубов приводит к тому, что напряжения концентрируются на зубах, а не распространяются через внутреннюю поверхность.

Это важный вывод, на котором мы в дальнейшем остановим свое внимание.

Кроме этого, рядом исследований установлено, что для увеличения прочности и повышения изнашивающей способности мандибул насекомых в их тканях продуцируются металлы – кальций, марганец, цинк, железо. Благодаря этому нижняя челюсть муравья относится к наиболее распространенным в мире природным композитным материалам [6, 7].

На основании вышеизложенного предлагается следующая концепция упрочнения культиваторных лап:

- наиболее нагруженную рабочую кромку культиваторной лапы выполнить зубчатой для концентрации уплотняющих напряжений;
- форма зубчиков культиваторной лапы по своей геометрии должна быть идентичной зубцам исследуемой мандибулы муравья;
- зубчатая поверхность в отличие от основного материала лапы должна иметь в своем составе легирующие элементы, повышающие ее износостойкость.

Реализация этих принципов возможна при использовании упрочняющих твердосплавных вставок с зубчатым рабочим краем на изнашивающихся частях лапы.

Для выбора схемы и места размещения бионических твердосплавных вставок на поверхности стрелчатой лапы необходимо определить основные ее части, которые подвержены наибольшему уплотняющим нагрузкам, а следовательно, более интенсивному абразивному износу.

С этой целью нами выполнено моделирование процесса взаимодействия рабочих органов с почвой с помощью программного комплекса FlowVision и конечно-объемного подхода для аппроксимации уравнений математической модели.

Анализ скоростных и силовых характеристик потока, обтекающего стрелчатую лапу, показал, что наибольшим контактным давлением при культивации подвергаются носок и область режущей кромки лезвия лапы (рис. 3).

Кроме того, значительным нагрузкам подвергаются наружная задняя часть крыльев лапы. В этих зонах усиливается внешнее трение почвенной абразивной среды, абразивные частицы перемещаются с большей скоростью, происходит более интенсивный износ рабочих поверхностей.

Ширина зоны наиболее интенсивного нагружения рабочей кромки, согласно выполненным исследованиям, составляет 6 мм.

На основании выполненных исследований приведем здесь еще раз основные принципы, которые необходимо учесть при проектировании трудноизнашиваемых поверхностей стрелчатых лап культиваторов:

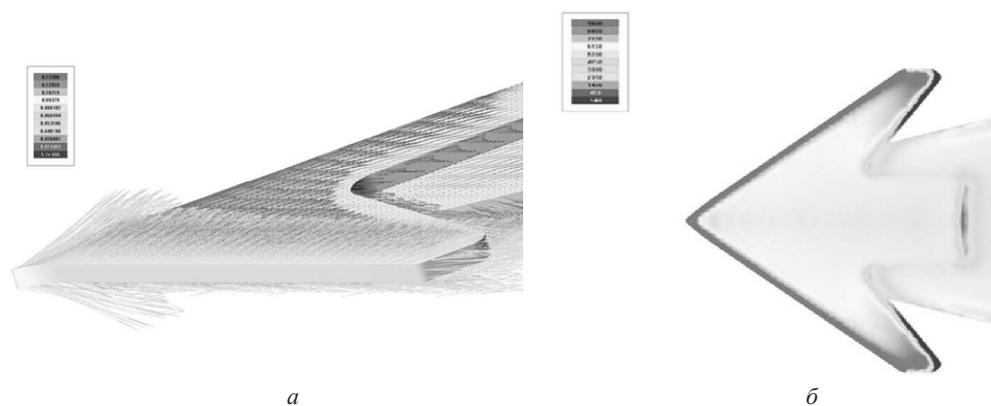


Рис. 3. Результаты моделирования воздействий на лапу культиватора в среде FlowVision: *а* – поля скоростей почвенных частиц; *б* – распределение давления почвенных частиц

- наиболее нагруженную рабочую кромку культиваторной лапы необходимо выполнить зубчатой для концентрации уплотняющих напряжений;
- по всему периметру режущей кромки культиваторной лапы необходимо разместить упрочняющие твердосплавные вставки с зубчатой рабочей кромкой;
- зубчатая поверхность в отличие от основного материала лапы в своем составе должна иметь легирующие элементы, повышающие ее износостойкость;
- форма зубчиков культиваторной лапы должна повторять геометрию зубчиков мандибул муравья, а их высота равняться ширине наиболее нагруженной части лапы и составлять величину 6 мм.

С учетом этих условий лабораторией механизации производства овощей и корнеклубнеплодов определены основные геометрические параметры зубчатой поверхности для проектирования упрочняющих твердосплавных вставок с зубчатой рабочей кромкой.

Проведен анализ внешнего края мандибул садового муравья. Выбраны наиболее характерный участок мандибулы с повторяющейся морфологией зубчиков и наиболее удобная для работы форма ориентации зубчиков (рис. 4, а). Подобран масштаб зубчиков с учетом того, чтобы их высота, согласно выполненным в предыдущем разделе исследованиям, равнялась ширине наиболее нагруженной части лезвия лапы и составляла 6 мм.

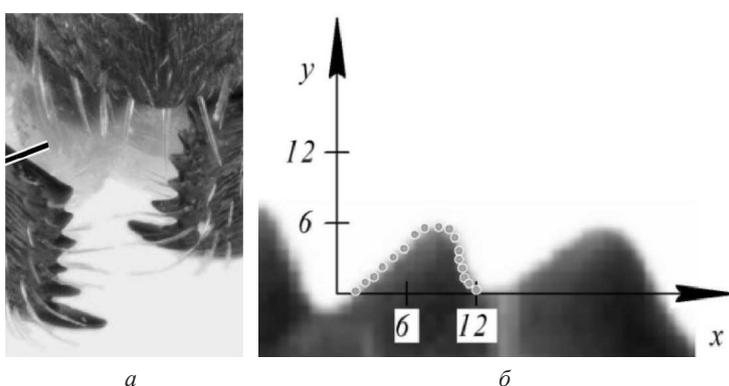


Рис. 4. Морфология поверхности мандибул садового муравья: а – внешний вид; б – определение координат зубчатой поверхности

С помощью приложения Web Plot Digitizer определены координаты точек, лежащие на образующей зубчика (рис. 4, б).

После этого по координатам в приложении Microsoft Excel построена образующая зубчиков твердосплавной вставки и получено ее уравнение  $y = 0,0004x^6 - 0,0136x^5 + 0,1796x^4 - 1,116x^3 + 3,3686x^2 - 3,552x$  с величиной достоверной аппроксимации  $R^2 = 0,97238$  (рис. 5).

Для определения шага расположения зубчиков на твердосплавной поверхности снова использовано приложение Web Plot Digitizer.

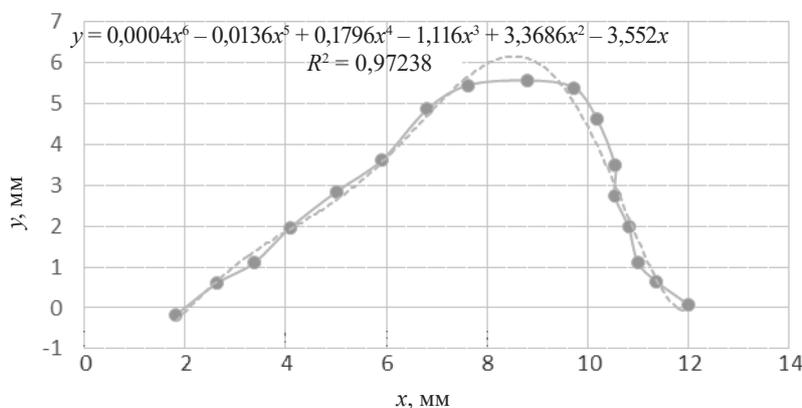


Рис. 5. Построение образующей одиночного зубчика твердосплавной вставки

Анализируя полученные результаты, отметим, что шаг зубчиков для бионической трудно изнашиваемой поверхности составил 15 мм (рис. 6).

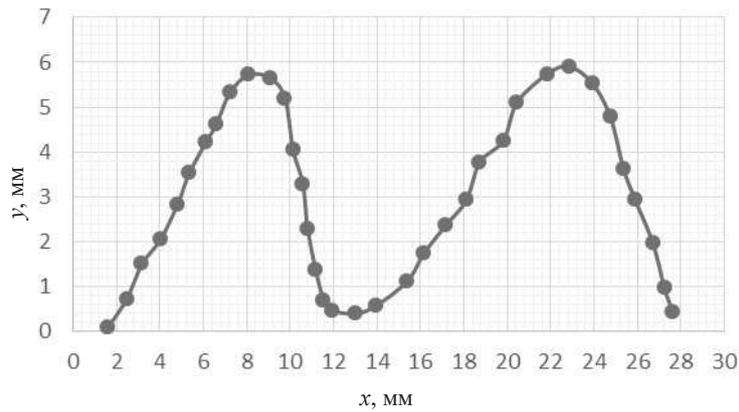


Рис. 6. Морфология зубчатой поверхности

Определены параметры зубчатой поверхности мандибул с изменяемой высотой зуба (рис. 7).

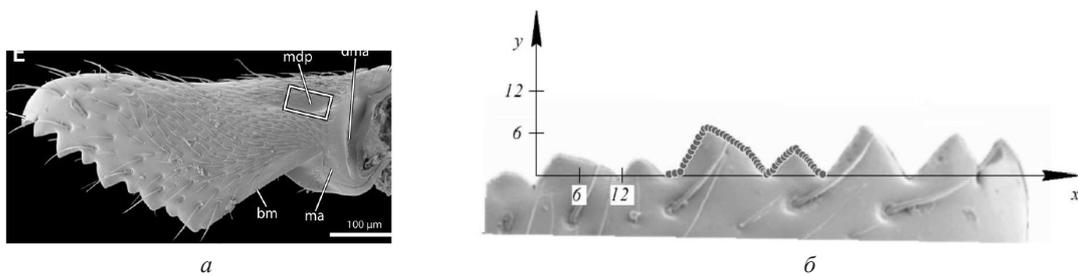


Рис. 7. Морфология поверхности мандибул *Brachyponera luteipes* [8]:  
а – внешний вид; б – определение координат зубчатой поверхности

Так как режущая кромка мандибул *Brachyponera luteipes* представлена чередующимися большими и маленькими зубчиками, то математически описать одну образующую режущей кромки сложно. Для ее решения форма образующей рассмотрена как чередование пар больших и малых зубчиков.

С помощью приложения Web Plot Digitizer определены координаты точек, лежащие на образующей зубьев (см. рис. 7, б), после чего по координатам в приложении Microsoft Excel построены образующие для каждого из зубьев в отдельности (рис. 8) и получены соответствующие уравнения для их математического описания:

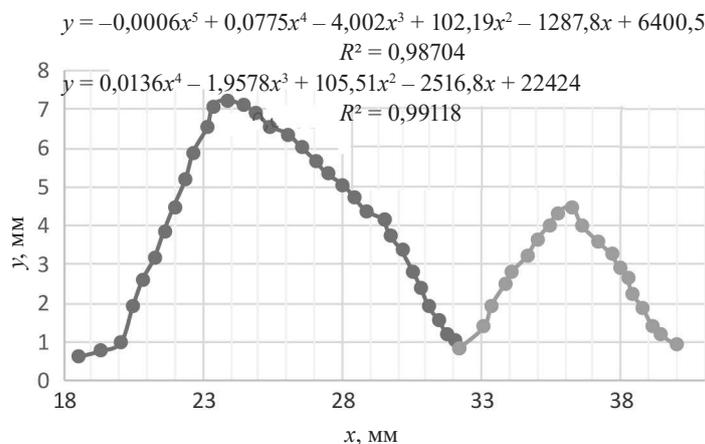


Рис. 8. Морфология зубчатой поверхности

– большой зуб:  $y = -0,0006x^5 + 0,0775x^4 - 4,002x^3 + 102,19x^2 - 1287,8x + 6400,5$  с величиной достоверной аппроксимации  $R^2 = 0,98704$ ;

– малый зуб:  $y = 0,0136x^4 - 1,9578x^3 + 105,51x^2 - 2516,8x + 22424$  с величиной достоверной аппроксимации  $R^2 = 0,99118$ .

Шаг зубчиков для бионической трудно изнашиваемой поверхности с чередующимися большими и малыми зубчиками составил 12 мм, высота зубчиков – 7,0 и 4,5 мм соответственно.

Для монтажа вставки лезвия стрельчатой лапы культиватора должны иметь соразмерные углубления, повторяющие профиль вставки. Схема расположения бионических упрочняющих элементов на поверхности стрельчатой лапы представлена на рис. 9.

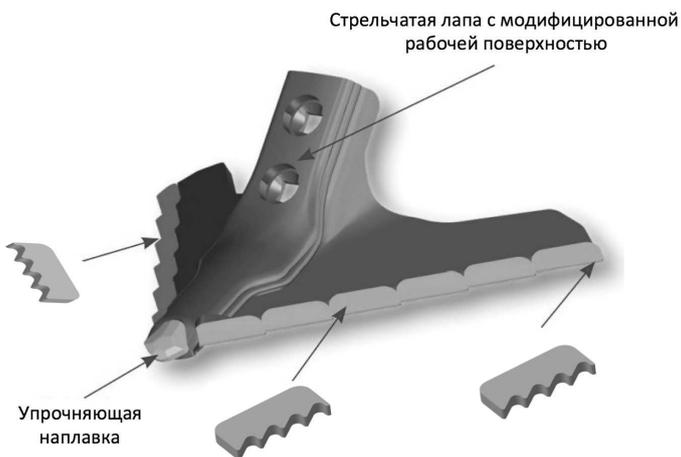


Рис. 9. Схема расположения бионических упрочняющих элементов на поверхности стрельчатой лапы

Размер упрочняющих вставок и их количество зависят от ширины захвата стрельчатой лапы.

### Заключение

На основании приведенных исследований предлагается следующая концепция упрочнения культиваторных лап:

- наиболее нагруженную рабочую кромку культиваторной лапы следует выполнить зубчатой для концентрации уплотняющих напряжений;
- форма зубчиков культиваторной лапы по своей геометрии должна быть идентичной зубцам исследуемой мандибулы муравья;
- зубчатая поверхность в отличие от основного материала лапы должна иметь в своем составе легирующие элементы, повышающие ее износостойкость.

Шаг одинаковых по высоте зубчиков для проектирования твердосплавной вставки должен составлять 15 мм, высота зубчиков – 6 мм. Образующая зубчатой поверхности должна описываться уравнением  $y = 0,0004x^6 - 0,0136x^5 + 0,1796x^4 - 1,116x^3 + 3,3686x^2 - 3,552x$ .

Шаг зубчиков для бионической трудно изнашиваемой поверхности с чередующимися большими и малыми зубчиками должен составлять 12 мм, высота зубчиков – 7,0 и 4,5 мм соответственно. Образующая большого зуба должна описываться уравнением  $y = -0,0006x^5 + 0,0775x^4 - 4,002x^3 + 102,19x^2 - 1287,8x + 6400,5$ , а малого зуба –  $y = 0,0136x^4 - 1,9578x^3 + 105,51x^2 - 2516,8x + 22424$ .

### Список использованных источников

1. Paul, J. Mandible movements in ants : review / J. Paul // Comparative Biochemistry and Physiology. – 2001. – Part A, 131. – P. 7–20.
2. Зрянин, В. А. Влияние муравьев рода *Lasius* на почвы луговых биогеоценозов / В. А. Зрянин // Успехи современной биологии. – 2003. – Т. 123, № 3. – С. 278–287.
3. Новоселов, А. Л. Биологическая активность муравейников *Lasius niger* L. : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Алексей Львович Новоселов ; [Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова]. – 26 с.

4. Синчук, О. В. Некоторые аспекты экологии черного муравья *Lasius niger* L. / О. В. Синчук // Итоги полевого сезона 2010 : материалы I регион. науч. зоолог. конф., посвящ. междунар. году биоразнообразия, Брест, 11 дек. 2010 г. ; редкол.: А. Н. Тарасюк [и др.]. – Брест : Альтернатива, 2011. – С. 58–61.
5. Mandibular morphology, task specialization and bite mechanics in Pheidole ants (Hymenoptera: Formicidae) / C. L. Klunk [et al.] // Journal of The Royal Society Interface (IF4.118). – 2021. – Vol. 18, № 179. – P. 1120–1129.
6. Schofield, R. M. Tooth hardness increases with zinc-content in mandibles of young adult leaf-cutter ants / R. M. Schofield, M. H. Nesson, K. A. Richardson // Naturwissenschaften. – 2002. – Vol. 89, № 12. – P. 579–583.
7. Characterization of the Mandible *Atta Laevigata* and the Bioinspiration for the Development of a Biomimetic Surgical Clamp / T. O. Britoa [et al.] // Materials Research. – 2017. – Vol. 20, № 6. – P. 1525–1533.
8. Comparative analysis of worker head anatomy of *Formica* and *Brachyponera* (Hymenoptera: Formicidae) / A. Richter [et al.] // Arthropod Systematics and Phylogeny. – 2020. – Vol. 78, № 1. – P. 133–170.

Д. Ф. Кольга<sup>1</sup>, С. А. Костюкевич<sup>1</sup>, Е. Л. Жилич<sup>2</sup>, Ф. И. Назаров<sup>1</sup>, Т. В. Молош<sup>1</sup>

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: kdf.tnz@bsatu.by

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: npc\_mol@mail.ru

## ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА КОРМА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ДОЙНОГО СТАДА

*Аннотация.* Производство качественного молока зависит в первую очередь от скармливаемого корма, который должен быть гигиенически безупречен, технологически правильно законсервирован и одновременно отвечать физиологическим требованиям животных. Для определения пригодности травяных культур к силосованию нужно знать химические, физические и биологические свойства этих растений. Большое количество сырого протеина в травостоях всегда указывает на высокую буферную емкость. Поэтому злаковые травы и особенно бобовые, как правило, сложнее сбраживаются на силос, чем кукуруза. При более высокой концентрации сахара в силосуемой массе (свыше 3 %) выход молочной кислоты увеличивается до 50–70 %, при этом фактическое ее количество в 3–4 раза превышает необходимый уровень, что и является причиной получения «перекисленного» силоса, поэтому к легкосилосующимся культурам нами отнесены лишь те растения, у которых сахаро-буферное отношение составляет 1,7–4,0 и концентрация сахара в натуральной массе достигает порядка 1,5–3,0 %.

*Ключевые слова:* молоко, корма, питательные вещества, силос, консервация, кормозаготовка, протеин, кукуруза, сахар, сахаро-буферное отношение, буферная емкость, молочная кислота, брожение, аэробная микрофлора, сухое вещество.

D. F. Kolga<sup>1</sup>, S. A. Kostyukevich<sup>1</sup>, E. L. Zhilich<sup>2</sup>, F. I. Nazarov<sup>1</sup>, T. V. Molosh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: kdf.tnz@bsatu.by

<sup>2</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: npc\_mol@mail.ru

## THE EFFECT OF FEED QUALITY ON THE PRODUCTIVITY OF THE DAIRY HERD

*Abstract.* The production of high-quality milk depends primarily on the feed being fed, which must be hygienically impeccable, technologically properly preserved and at the same time meet the physiological requirements of animals. To determine the suitability of herbal crops for silage, it is necessary to know the chemical, physical and biological properties of these plants. A large amount of crude protein in herbage always indicates a high buffering capacity. Therefore, grasses and especially legumes, as a rule, are more difficult to ferment into silage than corn. With a higher concentration of sugar in the silage mass (over 3 %), the yield of lactic acid increases to 50–70 %, while its actual amount is 3–4 times higher than the required level, which is the reason for obtaining "peroxidized" silage, therefore, only those plants with a sugar-buffer ratio of 1,7–4,0 and a sugar concentration in the natural mass of the order of 1,5–3,0 are considered to be easily siloed crops.

*Keywords:* milk, feed, nutrients, silage, preservation, forage preparation, protein, corn, sugar, sugar-buffer ratio, buffer capacity, lactic acid, fermentation, aerobic microflora, dry matter.

### Введение

Кормовая база животноводства играет важную роль в формировании биологического потенциала молочного стада. Для производства качественного молока в достаточном количестве важно использовать высококачественные корма. Если проанализировать данные лабораторий по

определению качества кормов, то можно прийти к выводу, что общие потери питательных веществ при несоблюдении технологических операций при заготовке достигают от 30 до 40 %.

Цель работы – изучить технологию заготовки силоса и произвести оценку качества кормов на молочно-товарных фермах и комплексах.

### Материал и методика исследований

Исследования заготовки и хранения силоса осуществляли на молочно-товарном комплексе, расположенном в д. Чернова Червенского района Минской области с 2019 по 2021 г. Оценка качества кормов проводили в аккредитованной лаборатории ООО «Унибокс» под руководством главного специалиста данной фирмы А. М. Лапотка [1].

Производство качественного молока в достаточном объеме зависит от скармливаемого корма, который должен быть гигиенически безупречен, технологически правильно законсервирован и одновременно отвечать физиологическим требованиям животных. Мероприятия по заготовке кормов планируют за год до их скармливания, а именно:

- планирование площади для возделывания кормовых культур;
- планирование объемов и качества заготавливаемых кормов;
- уборку урожая;
- консервирование кормов;
- технологический контроль кормозаготовки на разных этапах.

Для определения пригодности травяных культур к силосованию нужно знать химические, физические и биологические свойства этих растений.

К химическим признакам относят содержание сахара и буферную емкость.

К физическим свойствам относят содержание сухой массы в силосе, осмотическое давление, длину травяной резки и степень уплотняемости. При этом центральное место занимает содержание сухой массы, которое тесно связано с самыми разными дальнейшими свойствами.

### Результаты и их обсуждение

Большое количество сырого протеина в травостоях всегда указывает на высокую буферную емкость. Поэтому злаковые травы и особенно бобовые, как правило, сложнее сбраживаются на силос, чем кукуруза. Кукуруза относится к легко сбраживаемым растениям, так как сочетает в себе высокое содержание сахара с незначительным содержанием сырого протеина с приблизительно идеальным образом. Отсюда можно сделать вывод, что без знания сахаро-буферного отношения нельзя сделать достоверный прогноз для процесса брожения. Характеристика закладываемой на силос травяной массы приведена в табл. 1.

Таблица 1. Показатели сбраживания кормовых растений

Кормовое средство	СВ, %	Сахар (Z), г/кг СВ	Буферная емкость (рК), г/мол.кисл/кг СВ*	Сахаро-буферное отношение (Z/pK)	Коэффициент сбраживания
Райграсы, I укос, свежие	20	190	55	3,5	48
Райграсы, I укос, свежие, провяленные	35	190	55	3,5	63
Райграсы, II и другие укосы, свежие	20	110	55	2,0	37
Райграсы, II и другие укосы, провяленные	35	110	55	2,0	52
Другие злаковые травы, I укос, свежие	34	90	55	1,7	34
Другие злаковые травы, I укос, провяленные	35	90	55	1,7	49
Другие злаковые травы, II укос, свежие	20	70	55	1,5	32
Другие злаковые травы, II укос, провяленные	35	70	55	1,5	47
Красный клевер, свежий	20	115	69	1,7	34
Красный клевер, провяленный	35	115	69	1,7	49
Люцерна, свежая	20	65	79	0,8	26
Люцерна, провяленная	35	65	79	0,8	41
Кукуруза, молочная спелость	22	230	35	6,6	75
Кукуруза, спелость теста	30	110	32	3,4	58

Кормовое средство	СВ, %	Сахар (Z), г/кг СВ	Буферная емкость (рК), г/мол.кисл/кг СВ*	Сахаро-буферное отношение (Z/рК)	Коэффициент сбраживания
Бобы	15	145	49	3,0	39
Кормовой горох	16	155	49	3,2	42
Сладкий люпин	15	115	46	2,5	35
Зеленый овес	20	130	40	3,3	46
Зеленая рожь	16	135	56	2,4	35
Мозговая капуста	16	290	66	4,4	51
Ячмень яровой	43	60	41	1,5	55
Ячмень озимый	40	70	20	3,5	68
Пшеница озимая	38	90	25	3,6	67
Рожь озимая	40	80	22	3,6	69
Тритикале	38	80	22	3,6	67

\* Буферная емкость (рК) – количество молочной кислоты (г) в 1 кг сухого вещества (СВ), необходимой для нейтрализации буферных свойств.

Приведенные табличные значения используем при принятии решений во время уборки кормовых культур на силос.

Отношение сахара к буферной емкости (Z/рК) должно быть не менее 3,0, по крайней мере, не менее 2,0. При отношении менее 2,0 силосная масса является трудносилосуемой, а при отношении сахара к буферной емкости не менее 8 присутствует опасность ее разогрева и алкогольного брожения из-за высокого содержания остаточного сахара.

Коэффициент сбраживания для силосуемой массы не должен быть менее 45 с целью исключения маслянокислого брожения при консервации.

Отношение количества молочной кислоты к ее фактическому выходу в зависимости от сахаро-буферного отношения и концентрации его в силосуемой массе приведены в табл. 2.

Таблица 2. Отношение минимально необходимого количества молочной кислоты к ее фактическому выходу в зависимости от сахаро-буферного отношения и концентрации сахара в силосуемой массе

Культура	Содержание, %		Сахаро-буферное отношение (Z/рК)	рН силоса	Содержание молочной кислоты в СВ корма, %		Выход молочной кислоты из сахара, %	Отношение минимально необходимого количества молочной кислоты к ее фактическому выходу
	СВ в зеленой массе	сахаров в растении			минимальное	максимальное		
Клеверо-злаковая смесь	13,7	0,8	0,9	7,36	6,89	0,87	14,3	1 : 0,12
Люцерно-злаковая смесь	16,5	0,9	0,7	5,84	7,13	1,00	18,9	1 : 0,14
	24,3	1,1	0,7	4,73	6,43	5,39	115,9	1 : 0,80
Райграс английский	20,5	1,2	1,3	4,44	4,57	5,26	89,5	1 : 1,15
Злаково-клеверная смесь	17,1	1,8	1,6	4,0	6,58	14,76	137,6	1 : 2,20
Райграс многоукосный	15,1	1,9	2,0	3,96	6,04	14,75	120,6	1 : 2,44
	19,7	2,4	2,1	4,44	5,71	11,29	94,4	1 : 1,98
Райграс английский	24,8	2,2	1,7	4,24	5,09	7,14	81,0	1 : 1,40
Райграсо-тимофеечная смесь	19,3	3,7	5,1	3,63	3,71	13,32	69,0	1 : 3,59
	19,4	4,2	5,7	3,65	3,74	15,64	73,2	1 : 4,18
	23,4	4,6	5,4	3,84	3,65	9,63	49,3	1 : 2,64

Исходя из полученных данных, максимальный выход молочной кислоты (120,6–137,6 %) отмечается при сахаро-буферном отношении 1,6–2,0 и концентрации сахара в силосуемой массе от 1,8 до 1,9 %. В этом случае количество фактически образовавшейся молочной кислоты более чем вдвое превышает ее минимально необходимый уровень, что обеспечивает надежное подкисление корма до рН 4,0 и ниже.

При более высокой концентрации сахара в силосуемой массе (свыше 3 %) выход молочной кислоты увеличивается до 50–70 %, а фактическое ее количество уже в 3–4 раза превышает необходимый уровень, что и является причиной получения «перекисленного» силоса.

К легкосилосуемым культурам относим лишь растения с сахаро-буферным отношением, равным 1,7–4,0, и концентрацией сахара в натуральной массе 1,5–3,0 %.

При сахаро-буферном отношении в свежескошенных растениях выше 4,0 и концентрации сахара в их натуральной массе более 3,0 % силосуемую массу можно отнести к культурам с избыточным содержанием сахара.

Объектом контроля является место силосования корма.

В процессе наполнения хранилища контролируем исполнение таких технологических элементов, как:

- скорость и послойность наполнения хранилища;
- плотность укладки силосной массы;
- покрытие и герметизация хранилища;
- изъятие корма.

Быстрое наполнение минимизирует риск потери корма вследствие неблагоприятных погодных условий и преждевременного перезревания культуры. При этом снижаем потребность в рабочей силе и суммарные затраты на силосование, а также улучшаем ферментацию, сводя к минимуму воздействие кислорода на расход сахаров аэробной микрофлорой. Поэтому в зависимости от планируемых объемов заготовки скорость наполнения должна быть следующей:

- объем заготовки до 1 тыс. т – поступление силосной массы 300–400 т/день;
- объем заготовки более 1 тыс. т – поступление силосной массы 500–600 т/день.

При объемах заготовки более 2 тыс. т – хранилище нужно разделить, соответственно, и потоки поступления силосуемой массы тоже необходимо разграничить.

Для силосной массы с различным содержанием СВ степень трамбовки должна быть различной. Для силоса из кукурузы и злаковых трав в зависимости от содержания сухой массы даем следующие значения плотности СВ силоса (табл. 3) [2].

Т а б л и ц а 3. Плотность укладки силосной массы различных культур в зависимости от содержания сухих веществ

Содержание СВ в культурах, %	Плотность СВ, кг/м <sup>3</sup>		
	хорошая	средняя	плохая
<i>Трава</i>			
<25	190	170	150
25–35	210	190	170
>35	230	210	190
<i>Кукуруза</i>			
<30	230	210	190
30–35	250	230	200
>35	270	250	220

Оптимально отводим 5 мин на трамбовку 1 т провяленной массы. После того как заполнение дневной нормы прекратилось, продолжаем трамбовку еще 2 ч. Не следует прерывать наполнение и трамбовку силоса в выходные дни, так как это может привести к значительным потерям фуража во время силосования и нестабильности силоса в период кормления.

Наиболее точным методом измерения на соответствие установленной плотности массы является измерение температурных изменений на глубине пласта до 1,5 м. При нормальных условиях силосования температура силосной массы может быть максимум на 9–12 °С выше температуры окружающей среды. Если температура силоса превышает этот уровень, значит, возникает чрезмерное дыхание. При температурах выше 37,7 °С происходят необратимые процессы с сырым протеином. Он превращается в кислотно-детергентный, неусвояемый протеин.

**Стадия хранения.** Основной фактор, который оказывает влияние на качество силоса на стадии хранения – попадание кислорода в хранилище. Кислород стимулирует рост нетипичной микрофлоры, дрожжей и плесени, что приводит к порче, потере СВ и нагреву силосуемой массы, а также к потере питательной ценности корма.

Количество испорченного силоса на поверхности напрямую связано с его плотностью и площадью, которая вступает в контакт с окружающей средой. Наихудший вариант – непокрытая куча силоса, которая плохо утрамбована или сформирована, когда материал был слишком сухой.

Потери вследствие аэробной деятельности микроорганизмов при таких обстоятельствах достигают 20–40 %.

**Стадия изъятия корма.** Когда силос повторно подвергается воздействию кислорода, дрожжи и плесень вновь становятся активными формами. Они превращают остаточные сахара, ферментированные кислоты и прочие растворимые питательные вещества в двуокись углерода, воду и тепло. Потери при извлечении силосной массы представлены в табл. 4 [3].

Таблица 4. Влияние плотности силосной массы на глубину проникновения воздуха

Глубина проникновения воздуха, см	Плотность СВ, кг/м <sup>3</sup>					
	120	150	180	210	240	270
От	50	45	30	25	20	15
До	100	80	60	40	30	20

Молочная кислота менее эффективна для подавления роста дрожжей и плесени. Кроме того, содержание остаточных сахаров, которые остаются в силосе после ферментации, также могут повлиять на аэробную стабильность. Дрожжи и плесень в присутствии сахаров растут приблизительно в 2 раза быстрее, чем в присутствии ферментированных кислот. Силос, который заготавливается из неполностью созревшей кукурузы, часто содержит большее количество остаточных сахаров и сильнее подвержен аэробной порче при изъятии на кормление из хранилища.

С целью недопущения снижения качества силоса учитываем возможную степень влияния недостаточного уплотнения, принимая во внимание данные табл. 5 [4].

Таблица 5. Влияние уплотнения силоса на противогрибковую устойчивость и его аэробную стабильность

Ситуация	Количество колониеобразующих бактерий в натуральном корме, г	Аэробная стабильность, дней
Силос очень хорошо уплотнен, непроницаем для воздуха	3,0	6,3
Силос очень хорошо уплотнен, есть доступ воздуха	4,1	5,7
Силос плохо уплотнен, есть доступ воздуха	6,1	3,3

Значения степени влияния кукурузного силоса с различным содержанием СВ на производство молока дойного стада коров приведены в табл. 6.

Таблица 6. Влияние содержания сухих веществ в кукурузном силосе на выход молока

Содержание СВ в силосе, %	Количество молока, кг	
	на 1 т СВ	на 1 га площади
25	1 489	23 917
30	1 546	26 716
35	1 589	29 434
40	1 405	26 032
45	1 349	23 119

Из полученных данных видно, что самым высокопродуктивным оказался силос с убранный кукурузой, содержащей 35 % СВ. Продуктивное действие силоса увеличилось за счет улучшения его питательных и качественных характеристик.

## Выводы

1. Для ускорения молочнокислого брожения и прекращения доступа кислорода необходимо тщательно уплотнять силосуюемую массу.

2. С целью исключения маслянокислого брожения коэффициент сбраживания для силосуемой массы должен быть не менее 45.

3. Отношение сахара к буферной емкости ( $Z/pK$ ) должно находиться в пределах 3,0, но не менее 2,0.

4. Закладываемая на силос зеленая масса с отношением сахара к буферной емкости менее 2,0 является трудно силосуемой, а при показателе 8,0 присутствует опасность разогрева массы и алкогольного брожения из-за высокого содержания остаточного сахара в силосе.

5. Для получения максимального надоя молока от коровы необходимо использовать кукурузный силос, содержащий оптимальное количество СВ в силосуемой массе – не менее 35 %.

#### **Список использованных источников**

1. Ходженс, М. Управление кормами в молочном хозяйстве / М. Ходженс. – США, 2010. – 58 с.
2. Тайны молочных рек : практ. пособие / под общ. ред. А. М. Лопотко. – Орел : Наша молодежь : Новое время, 2015. – Т. 1 : Корма и кормление. – 526 с.
3. Кольга, Д. Ф. Снижение потерь питательных веществ при консервировании кормов / Д. Ф. Кольга, С. А. Костюкевич, Ф. И. Назаров // Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі : матеріали I Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., Мелітополь, 1–24 квітня 2020 р. – Мелітополь, 2020. – С. 270–273.
4. Kolga, D. F. Resource-saving feeding technology, milking and manure cleaning at complexes for the production of milk / D. F. Kolga, S. A. Kostsiukevich, F. I. Nazarov // Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 25–26 листоп. 2021 р. – Харків, 2021. – С. 457–460.

**В. С. Корко, И. Б. Дубодел, П. В. Кардашов**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: Korko.S@mail.ru, innadubodel@gmail.com*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛА МЕМБРАНЫ НА ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОАКТИВАЦИИ ВОДЫ И РАСТВОРОВ**

*Аннотация.* Авторы статьи исследуют влияние материала мембраны на процесс электроактивации воды и растворов. Доказано, что для несложных технологических процессов получения католита и анолита с заданными показателями pH целесообразно в качестве мембран использовать доступные и дешевые материалы из плотных тканей, листов пористой керамики и т. п.

*Ключевые слова:* электроактивация воды, мембрана, электроды, бельтинг, упаковочная пленка, анолит, католит.

**V. S. Korko, I. B. Dubodel, P. V. Kardashov**

*EI "Belarusian State Agrarian Technical University"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: Korko.S@mail.ru, innadubodel@gmail.com*

## **RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE MEMBRANE MATERIAL ON THE PROCESS OF ELECTRIC ACTIVATION OF WATER AND SOLUTIONS**

*Abstract.* The authors of the article investigate the effect of the membrane material on the process of electroactivation of water and solutions. It has been proven that for relatively simple technological processes for producing catholyte and anolyte with given pH values, it is advisable to use affordable and cheap materials from dense fabrics, sheets of porous ceramics, etc. as membranes.

*Keywords:* electroactivation of water, membrane, electrodes, belting, packing film, anolyte, catholyte.

### **Введение**

В настоящее время в различных отраслях, в том числе в сельском хозяйстве, достаточно широко применяют установки электроактивации воды, водных растворов, различных электролитических сред на принципе электродиализа [1]. Универсальность технологии достигается тем, что в одном реакторе в электродных камерах, разделенных мембранами, из обычной воды или слабоминерализованного водного раствора за счет электрической энергии можно получать вещества с окислительными свойствами (анолит) и с восстановительными свойствами (католит).

В результате электрохимической активации вода или раствор из стабильного состояния переходит в активированное или метастабильное, т. е. в течение определенного промежутка времени сохраняет некоторую избыточную внутреннюю потенциальную энергию [2]. Основными движущими силами, осуществляющими перенос ионов различного знака (положительных и отрицательных) через пористые мембраны под действием электрического поля, являются электрокинетические явления (электроосмос, электрофорез, потенциал течения, потенциал осаждения).

Высокую реакционную способность таким растворам обеспечивают измененные в результате энергетических воздействий физико-химические свойства (показатели pH и окислительно-восстановительного потенциала, концентрация активного хлора и др.). Без внешнего воздействия полученные вещества находятся в активированном состоянии в течение определенного времени до наступления релаксации (состояния термодинамического равновесия). Скорость релаксации определяется скоростью изменения водородного показателя pH [3, 4].

## Материалы и методы исследований

Существуют установки, работающие в периодическом и непрерывном режимах, в которых производят электроактивированные растворы с определенными физико-химическими и биологическими свойствами. При проектировании таких установок важным является установление взаимосвязей между требуемыми функциональными свойствами получаемых электроактивированных растворов и конструктивными и технологическими параметрами электролизеров [5].

Качества анолита и католита зависят от ряда факторов технологического процесса их производства: вида и концентрации солей в исходном растворе, скорости потока через реактор, напряженности электрического поля, длительности воздействия, материалов электродов, разделительных мембран и др.

Для изготовления электродов чаще выбирают химически инертные и нерастворимые в продуктах электролиза материалы: нержавеющие стали, титан, платину, графит.

Использование мембран в качестве селективно-проницаемого барьера между двумя фазами для разделения смесей позволяет создать энерго- и ресурсоэффективные технологии в сельскохозяйственном производстве.

Серийно выпускаемые и традиционно используемые мембраны (МК-40, МА-40, МРФ-26, бельтинг и др.) имеют определенные достоинства, удовлетворяющие требованиям к мембранам (высокая селективность, низкое электрическое сопротивление, высокая механическая прочность, стабильность свойств при эксплуатации), но и недостатки (значительная стоимость, потребность в периодической замене или очистке, необходимость высокой концентрации химических элементов в исходных растворах и др.), сдерживающие их применение, особенно в несложных электрохимических системах.

## Результаты и их обсуждение

В технологии электроактивации слабоминерализованных растворов проверяли возможность замены часто применяемой мембраны из бельтинга (стоимость 20–22 руб/м<sup>2</sup>) на доступный материал из упаковочной пленки (стоимость 0,53 руб/м<sup>2</sup>). Для приготовления рабочих образцов выбирали участки листа одинаковой толщины, однородные по виду и без каких-либо внешних дефектов. Затем вырезали образцы размерами 1,5 × 2,5 мм. Геометрические размеры измеряли микрометром с ценой деления 0,01 мм.

Полученные образцы подвергали химической обработке с целью удаления примесей (особенно железа). Для этого мембраны промывали под струей теплой воды температурой не выше 40 °С. Затем тщательно протирали их ватным тампоном, смоченным этиловым спиртом. Потом образцы помещали на фильтровальную бумагу и просушивали на воздухе при комнатной температуре.

Через 10 мин мембраны опускали в емкость из оргстекла (некорродирующую) с дистиллированной водой для набухания и удаления растворимых в воде примесей. При этом мембраны покрывали водой так, чтобы над ними находился слой воды не менее 5 см, и выдерживали в течение 48 ч, меняя воду 2 раза в день. Затем образцы промывали дистиллированной водой.

Экспериментальная установка включала ячейку прямоугольной формы с графитовым анодом марки ГЭ, катодом из нержавеющей стали марки 12Х18Н9Т и сменной мембранной перегородкой. Напряженность электрического поля составляла 850 В/м.

Результаты исследований представлены на рис. 1, 2.

Анализ зависимостей на рис. 1 показывает, что мембрана из бельтинга обеспечивает более интенсивный выход на установившийся режим (за 90–120 с) и более широкий диапазон изменения рН анолита и католита при высоких концентрациях NaCl в исходном растворе (10–20 г/л), но значительно хуже работает при слабоминерализованных растворах.

Мембрана, изготовленная из упаковочной пленки, очевидно, обладает большей проницаемостью для ионов и электропроводностью, чем бельтинговая, поэтому даже при низких концентрациях исходного раствора NaCl обеспечивает быстрый выход на установившийся режим и достижение требуемых диапазонов изменения рН католита и анолита (см. рис. 2).

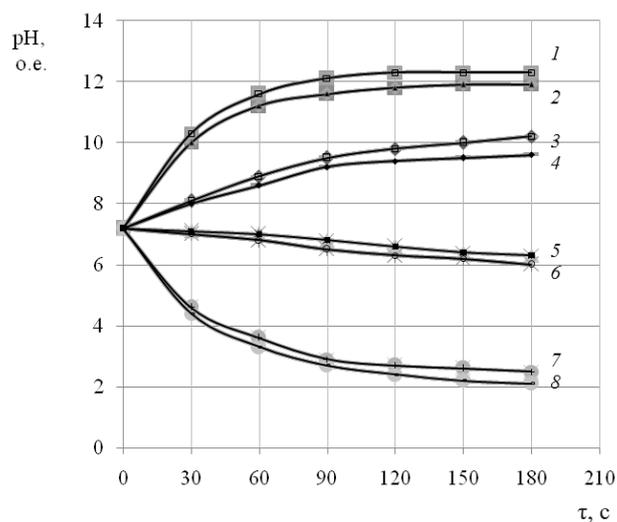


Рис. 1. Кинетика изменения рН католита и анолита при использовании мембраны из бельтинга и концентрации раствора NaCl: 1, 8 – 20 г/л; 2, 7 – 10 г/л; 3, 6 – 2 г/л; 4, 5 – 1 г/л

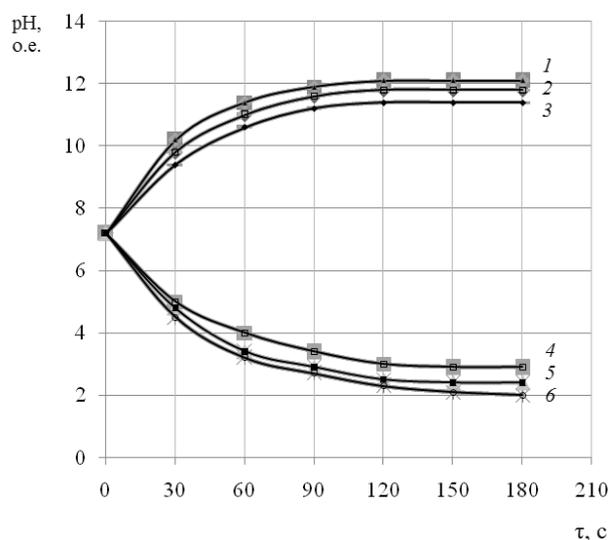


Рис. 2. Кинетика изменения рН католита и анолита при использовании мембраны из упаковочной пленки и концентрации раствора NaCl: 1, 6 – 5 г/л; 2, 5 – 3 г/л; 3, 6 – 1 г/л

### Заключение

Таким образом, для относительно несложных технологических процессов получения католита и анолита с заданными показателями рН целесообразно в качестве мембран использовать доступные и дешевые материалы из плотных тканей, листов пористой керамики и т. п.

### Список использованных источников

1. Бахир, В. М. Электрохимическая активация / В. М. Бахир. – М. : ВНИИМТ НПО «ЭКРАН», 1992. – Ч. 1. – 401 с.
2. Бахир, В. М. Электрохимическая активация: универсальный инструмент зеленой химии / В. М. Бахир. – Казань : Маркетинг саппорт сервис, 2005. – 176 с.
3. Активация жидких сред и предпосевная обработка семян ультразвуковым полем / В. С. Корко и [др.] // Агропанорама. – 2017. – № 3. – С. 21–25.
4. Корко, В. С. Электрофизические методы стимуляции растительных объектов / В. С. Корко, Е. А. Городецкая. – Минск : БГАТУ, 2013. – 232 с.
5. Влияние длительности электролиза воды и последующей релаксации на электрохимические характеристики католита и анолита / Г. А. Шрамко [и др.] // Тр. Кубанского гос. аграрн. ун-та. – 2012. – № 2 (35). – С. 385–388.

**В. Е. Тарасенко<sup>1</sup>, А. А. Жешко<sup>2</sup>, О. О. Мухля<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: trs9@yandex.ru

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: azeshko@gmail.com

**АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ИСПОЛНЕНИЙ  
И КОМПЛЕКСНОЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ  
ДИАГНОСТИЧЕСКОГО СТЕНДА ДЛЯ РАБОТЫ С ИНЖЕКТОРАМИ  
АККУМУЛЯТОРНОЙ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ COMMON RAIL**

*Аннотация.* Предложено комплексное функциональное преобразование диагностического стенда для работы с инжекторами аккумуляторной топливной системы Common Rail.

*Ключевые слова:* диагностический стенд, двигатель внутреннего сгорания, система питания, инжектор, давление, привод, муфта.

**V. E. Tarasenko<sup>1</sup>, A. A. Zheshko<sup>2</sup>, O. O. Mukhlya<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: trs9@yandex.ru

<sup>2</sup>RUE "NPC of the NAS of Belarus on Agricultural Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: azeshko@gmail.com

**ANALYSIS OF DESIGN DESIGNS AND COMPLEX FUNCTIONAL  
TRANSFORMATION OF THE DIAGNOSTIC STAND FOR WORKING  
WITH INJECTORS OF THE COMMON RAIL BATTERY FUEL SYSTEM**

*Abstract.* A complex functional transformation of the diagnostic stand for working with injectors of the Common Rail battery fuel system is proposed.

*Keywords:* tractor, diagnostic stand, internal combustion engine, power system, injector, pressure, drive, clutch.

**Введение**

Выполнение работ по техническому диагностированию, обслуживанию и ремонту машин невозможно осуществить без специального технологического оборудования, использование которого на сельскохозяйственных предприятиях позволяет облегчить тяжелые и трудоемкие операции, повысить производительность труда и качество выполнения работ [1–3].

Дизельные двигатели постоянно совершенствуются, современные дизели обладают большим ресурсом и экономичны, но для надежной работы огромное значение приобретает регулярное диагностирование топливной аппаратуры, в частности регулировка топливного насоса высокого давления и форсунок Common Rail (CR). Необходимы операции своевременного диагностирования составляющих элементов CR, которые помогут своевременно устранить неисправности, такие как слишком большой расход топлива, затрудненный запуск двигателя, падение мощности двигателя и др. [1–3].

Для оценки состояния элементов дизельной топливной аппаратуры автотракторных двигателей применяют стенды, обладающие высокой степенью формирования электрических сигналов

управления инжекторами и высокоточной системой измерения производительности и утечек. Стенды представляют собой оборудование стоимостью в несколько десятков тысяч евро с охлаждением калибровочного масла, высокотехнологичными радиаторными схемами и встраиванием систем кондиционирования, прямым управлением асинхронными и шаговыми двигателями с преобразователями частоты, электронными схемами управления частотой вращения и счетчиками циклов. Ниже следует анализ стендов для тестирования инжекторов автотракторных двигателей, а также отражено комплексное функциональное преобразование диагностического стенда до уровня тестирования инжекторов CR с максимальным давлением в топливной рейке до 270 МПа.

Объект исследования – диагностический стенд ДД 10-01 топливных насосов высокого давления (ТНВД) двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Цель работы – разработать конструктивные мероприятия для расширения функциональных возможностей диагностического стенда, в том числе работы с инжекторами аккумуляторных систем Common Rail.

### Основная часть

**Анализ стендов для тестирования инжекторов автотракторных двигателей.** Выполнен сравнительный анализ конструктивных исполнений наиболее распространенных моделей стендов, а также отмечены наиболее значимые преимущества и недостатки моделей [4].

Отечественный стенд «Smart-CRI» (рис. 1) компании «ПОТОК» в автоматическом режиме производит тестирование инжекторов Common Rail (Bosch, Delphi, Siemens, Denso) по эталонным тест-планам. Стандартный тест позволяет испытать электромагнитные и пьезоэлектрические инжекторы Common Rail практически всех типов и вариантов производителей при максимальном рабочем давлении (диапазон 0–200 МПа) на всех режимах работы, таких как максимальная производительность, точка эмиссии, холостой ход, предвпрыск, динамические утечки. Тестирование инжектора осуществляется с контролем производительности подачи и утечек, с использованием безмензурочного блока измерения FMx. Также на стенде реализована функция формирования кодов (IMA, QR, c2i, c3i, IC) в зависимости от полученных результатов по измерению производительности.

Кодирование дизельного инжектора изначально внедрено для учета отклонения его производительности на стенде от заданного «эталонного» значения и предназначено для более быстрой адаптации блока управления двигателя к фактической производительности конкретного инжектора. Также кодирование позволило упростить процесс изготовления и регулировки инжектора, возложив функцию корректировочного значения на сформированный при производстве или ремонте код.

В базе данных стенда прописаны тест-планы более чем на 3555 форсунок Common, но также присутствует возможность создавать свой пользовательский тест-план. Специально для данного



Рис. 1. Стенд «Smart CRI» («Промышленная Автоматика») (Беларусь)

стенда, производителем было разработано программное обеспечение DieselStudio, которое позволяет на интуитивном уровне работать не только со стендом, но и со всем оборудованием, необходимым для тестирования инжекторов (CRmini, CRmini2, PT и др.). Также возможно собрать все виды оборудования в одну сеть приборов.

Основное преимущество – это геометрические размеры стенда, возможность применять кодирования инжекторов сразу многих производителей. Один из недостатков – это возможность проверять одновременно не более двух инжекторов.

Стенд «EPS-708» (рис. 2) компании Robert Bosch GMBH позволяет тестировать компоненты систем Common Rail с давлением впрыска до 220 МПа. Учитывая тенденцию к увеличению давления, стенд готов проверять системы с давлением до 250 МПа. EPS 708 оснащен встроенной системой охлаждения (кондиционером), что позволяет значительно снизить расход воды и упрощает подключение стенда (до этого в стендах BOSCH использовалось водяное охлаждение проточной водой). В отличие от аналогов, у которых в основном доступно только напоминание о замене топливного фильтра, в рассматриваемом стенде электроника (множественные датчики перепада давления, загрязненности топливных фильтров) следит за сервисными интервалами, контролируя и отображая состояние фильтров. Особенностью стенда «EPS-708» является наличие интеллектуальной системы самодиагностики, которая обеспечивает персонал достоверной информацией о состоянии стенда.

В отличие от других стендов модель Bosch EPS 708 позволяет проверять как электромагнитные форсунки, так и топливные насосы систем Common Rail производства Bosch и других компаний.

Стенд позволяет также проверять пьезофорсунки производства Bosch, Denso и Siemens/Continental, используя специальное дооснащение CRI Piezo. В этот набор включено все необходимое для всесторонней проверки пьезофорсунок. Дополнительно к испытаниям на утечку и количества впрыскиваемого топлива с помощью предлагаемого набора можно проверить электрический модуль форсунки на наличие дефектов изоляции.

Прогрессивной особенностью стенда «EPS-708», явно выделяющей его на фоне аналогичных стендов, является тестирование форсунки на стабильность впрыскивания топлива. Особенности данной функции сегодня доступно выяснить только у производителя данного стенда, а ознакомиться с этой функцией можно на обучающих курсах в Академии BOSCH (Москва).

Основное преимущество – высокоточная измерительная система стенда, возможность применять кодирования сразу всех шести инжекторов. Один из недостатков – наличие всего двух измерительных ячеек при возможности тестировать до шести инжекторов (12 измерительных каналов), а также требование к качеству чистоты калибровочного масла, которое поступает в измерительные ячейки.

Стенд «CRI-PC» (рис. 3) компании Hartridge (Англия) сегодня является одним из лучших стендов для тестирования форсунок Common Rail Delphi. Именно для этого стенда разработаны

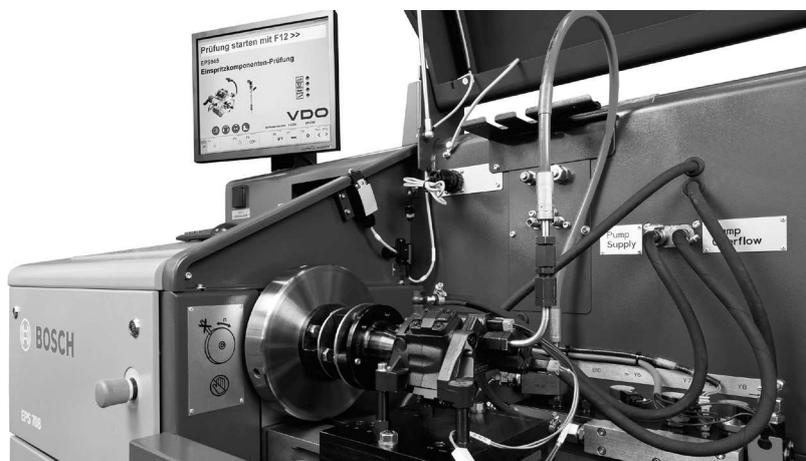


Рис. 2. Стенд «EPS-708» Robert Bosch GMBH (Германия)

авторизованные технологии ремонта форсунок Delphi (с кодированием) и форсунок Siemens-VDO. Возможности станда позволяют производить все необходимые измерения для форсунок Common Rail Bosch и Denso в режиме ALL MAKES. С 2012 г. станд позволяет проверять и пьезофорсунки.

Станд для испытаний форсунок All Makes Common Rail, доступный в конфигурации с одной или четырьмя линиями, может быть адаптирован к потребностям сервисной мастерской с помощью комплектов приложений Hartridge.

Основные особенности станда:

- управление программным обеспечением Magmah и пользовательским интерфейсом;
- измерение сопротивления катушки форсунки;
- измерение времени отклика форсунки;
- возможность испытания форсунок Bosch, Delphi, Denso и Siemens;
- модульная структура комплекта, что позволяет приобретать только те приложения, которые нужны;
- наличие пневматического зажима крепления инжекторов при тестировании, что позволяет крепить инжекторы при тестировании штатной пневматической системой, исключая дополнительные винтовые прижимы.

Основное преимущество – высокоточная измерительная система станда, возможность применять кодирования сразу всех одновременно тестируемых инжекторов (1 или 4). Один из недостатков – наличие всего одной измерительной ячейки при возможности тестировать до 1–4 инжекторов (2–8 измерительных каналов), а также требование к качеству чистоты калибровочного масла, которое поступает в измерительные ячейки.

Станд «DCI 700» (рис. 4) компании BOSCH (Германия) предназначен для диагностирования и испытания инжекторов системы впрыска Common Rail современных дизельных двигателей легковых и коммерческих автомобилей. Он оснащен измерительной системой, способной работать с инжекторами, изготовленными по технологиям NCC (Needle Closing Control) и VCC (Valve Closing Control), с системами контроля тока впрыска, а также инжекторами коммерческих автомобилей с технологией повышенного давления (CRIN 4.2).

Алгоритм обратной связи управления иглой NCC позволяет дозировать впрыск топлива с точностью до нескольких миллионных долей секунды. Для этого в форсунку встроен датчик, взаимодействующий со специальным программным обеспечением: именно этот тандем обеспечивает оптимальный впрыск топлива на протяжении всего срока службы форсунки.



Рис. 4. Станд «DCI 700» BOSCH (Германия)



Рис. 3. Станд «CRI-PC» Hartridge (Англия)

Приведем преимущества станда по сравнению со старыми моделями Bosch EPS 8xx/7xx:

- станд может работать с инжекторами производства как фирмы BOSCH, так и других производителей;
- быстрая проверка (10–15 мин против 40–45 мин на EPS 815/708);
- 8 расходомеров: по 4 на подачу и обратный слив;
- не требуется шланг высокого давления;
- максимальное давление в рейке – 270 МПа;
- система охлаждения – воздушно-масляный теплообменник.

Основное преимущество – высокоточная измерительная система станда, возможность применять кодирования сразу всех одновременно тестируемых инжекторов (до 6), способность работать с инжекторами, изготовленными по

технологиям NCC (Needle Closing Control) и VCC (Valve Closing Control). Один из недостатков – обязательное наличие подключения к сети Internet.

Рассмотрев детально описание каждого стенда, можно видеть, что отличия есть и по максимальному системному давлению, и по используемым технологиям, и по геометрическим размерам, и по количеству одновременно тестируемых инжекторов, и по времени тестирования (соотношение измерительных ячеек к количеству тестируемых инжекторов). Соответственно, можно подобрать стенд исходя из загруженности сервиса, тестируемых инжекторов по производителю, размеров помещения дизельного участка и др.

**Комплексное функциональное преобразование диагностического стенда.** Направления работ топливной аппаратуры сегодня концентрируются на повышении экономичности дизелей при обеспечении параметров токсичности выхлопных газов в пределах установленных норм [5–7]. Новые разработки все больше удовлетворяют форсированию дизелей по мощности, снижению веса, повышению надежности в эксплуатации [1–3, 8]. Улучшение топливной экономичности и экологичности автотракторных ДВС решается высокотехнологичной модернизацией их топливных систем [2, 3, 9].

Ведущие производители автотракторных двигателей освоили новое поколение дизельных двигателей, которые оснащены топливными системами с давлениями впрыскивания до 300 МПа и выше и имеют электронное управление. При этом выполнение перспективных экологических нормативов (Tier-3 и выше) возможно лишь с применением аккумуляторной топливной системы Common Rail как наиболее подходящей для дизелей всех экологических классов [4].

На кафедре «Технологии и организация технического сервиса» УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» выполнена модернизация диагностического стенда ДД 10-01, позволившая осуществлять проверку инжекторов Common Rail с максимальным давлением в топливной рейке до 270 МПа [4, 9].

В стенд дополнительно установили: тестовый ТНВД, рейл на три регулятора и датчик давления топлива (все компоненты с номинальными значениями до 270 МПа); радиатор охлаждения тестовой жидкости; дополнительные фильтры для защиты высокоточной системы измерения от воздействия грязи и металлических частиц, выходящих из испытуемого ТНВД; оптический инкрементальный энкодер (для определения фазы нагнетания секцией ТНВД); топливопроводы; изготовили установочный кронштейн для испытуемого ТНВД.

Разработан и используется специальный адаптер с датчиком давления для тестирования пульсаций давления топлива в различных точках гидравлической схемы стенда. Проведены работы по разводке электрических жгутов управления к системам контроля стенда.

Реализованы такие решения, как: автоматическое управление оборотами стенда и направление его вращения; автоматическая термостабилизация; автоматический отсчет циклов; автоматическое определение производительности тестируемых инжекторов (используется «Поток FM-8»); автоматическое определение температуры тестовой жидкости по каждому каналу.

Диагностический стенд ДД 10-01, претерпев комплексное функциональное преобразование, с безмензурочным блоком измерения «Поток FM-8» и блоком управления «Поток CR-2» (рис. 5) позволяет выполнять проверку и тестирование инжекторов аккумуляторных топливных систем Common Rail автотракторных дизельных двигателей в большом диапазоне их модификаций.

Комплектация стенда после комплекса опытно-конструкторских работ включает [4]:

- асинхронный электродвигатель привода АИРМ112М2У3 (мощностью 7,5 кВт, с частотой вращения 2895 мин<sup>-1</sup>);
- бак (45 л) с установленным на его крышке асинхронным электродвигателем АИР80А4У3 с подкачивающим насосом БГ12-4УХЛ4 и фильтрами;
- нагреватель (1,5 кВт) калибровочного масла в баке (емкостью 45 л);
- систему термостабилизации калибровочного масла с двумя охладителями (радиатором) и датчиком для контроля температуры калибровочного масла ISO 4113, подаваемого к тестируемому компоненту(-ам) с заданным диапазоном настройки (40 ± 2 °С);
- ТНВД типа CR/CP3S3/R90/20-789S для создания высокого давления топлива в системе;
- безззорную приводную муфту;

– аккумулятор топлива высокого давления с тремя клапанами регулировки давления RDS4-22;5V;M18x1.5;2700 BAR (0 281 006 245) и датчиком давления на 2701 МПа (BOSCH 0 281 006 246);

– систему фильтрации калибровочного масла, состоящую из трех фильтров Bosch 1 457 434 437;

– масло-бензостойкие топливопроводы диаметром 10 и 8 мм;

– полугибкие топливопроводы высокого давления топлива «PARKER»;

– блок управления «Поток CR2» для управления стендом, расширитель «Поток DRV» для управления клапанами ZME\*2 канала и DRV\*3 канала, совместно с измерительным блоком «Поток FM-8»;

– защитный экран с блокировкой его открытого состояния.

Определение параметров работы инжектора(-ов) CR производится по заданной программе, состоящей из тест-планов, с возможностью тестирования в ручном или автоматическом режиме.

Таким образом, в результате опытно-конструкторских работ существенно повышены функциональные возможности стенда, который позволяет [4]:

– проверять инжекторы CR фирм BOSCH, DENSO,

DELPHI, SIEMENS (VDO), PERKINS, CATERPILLAR, L'ORANGE и многих других;

– автоматически переключать напряжение питания (12 В/200 В) в зависимости от типа проверяемого инжектора CR;

– измерять частоту вращения электродвигателя стенда;

– управлять частотой вращения стенда;

– управлять направлением вращения электродвигателя стенда;

– управлять нагревателем и охладителем тестовой жидкости;

– управлять пускателем топливоподкачивающего насоса;

– осуществлять автоматическое, ручное либо внешнее управление созданием высокого давления в топливной рампе;

– обеспечить работу трех клапанов DRV и двух клапанов ZME;

– создавать пользовательские тест-планы для проверки инжекторов CR с созданием профиля сигнала (напряжение открытия, ток открытия, напряжения удержания, ток удержания, напряжение закрытия и др.);

– отображать графики изменения давления;

– формировать отчеты с результатами измерений в диагностической карте;

– подключаться к персональному компьютеру.

Диагностический стенд ДД 10-01 с безмензурочным блоком измерения «Поток FM-8» и блоком управления «Поток CR2» после завершения работ по наладке размещен в лаборатории технического сервиса топливной аппаратуры и агрегатов гидросистем кафедры «Технологии и организация технического сервиса» (130б) и способен выполнять проверку и тестирование инжекторов аккумуляторных топливных систем Common Rail.

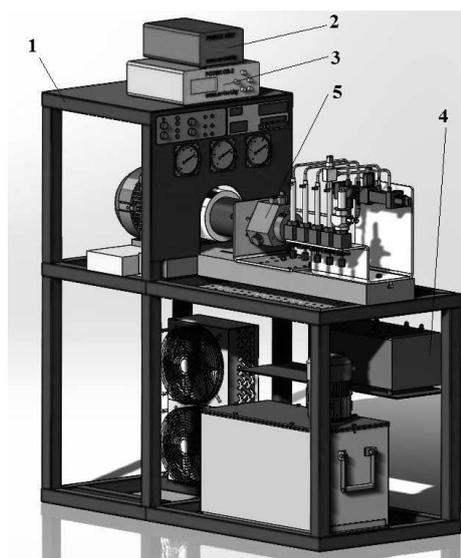


Рис. 5. Стенд ДД 10-01 после преобразований (общий вид): 1 – рама; 2 – расширитель «Поток DRV»; 3 – блок управления стендом и компонентами (ТНВД и инжекторы) «Поток CR2»; 4 – безмензурочная измерительная система «Поток FM-8»; 5 – стендовый ТНВД

## Выводы

1. Выполнен сравнительный анализ конструктивных исполнений и функциональных возможностей наиболее распространенных моделей диагностических стендов («Smart-CRI» компании «ПОТОК» (Беларусь), «EPS-708» Robert Bosch GMBH (Германия), «CRI-PC» Hartridge (Англия),

«DCI 700» BOSCH (Германия)), а также отмечены наиболее значимые преимущества и недостатки моделей.

2. С учетом затрат на приобретение стендов подобного назначения отмечено, что наиболее оптимальным является решение модернизировать устаревшие стенды (на примере ДД 10-01) с минимальными затратами до уровня тестирования на них инжекторов Common Rail с давлением до 270 МПа.

3. Осуществлено комплексное функциональное преобразование диагностического стенда ДД 10-01. Дополнительно установлены: тестовый ТНВД, рейл на три регулятора и датчик давления топлива (все компоненты с номинальными значениями до 270 МПа); радиатор охлаждения тестовой жидкости; дополнительные фильтры для защиты высокоточной системы измерения от воздействия грязи и металлических частиц, выходящих из испытуемого ТНВД; оптический инкрементальный энкодер (для определения фазы нагнетания секцией ТНВД); топливopроводы и кронштейн для испытуемого ТНВД.

4. Разработан и используется специальный адаптер с датчиком давления для тестирования пульсаций давления топлива в различных точках гидравлической схемы стенда. Реализованы такие решения, как: автоматическое управление оборотами вала привода стенда и направлением его вращения; автоматическая термостабилизация; автоматический отсчет циклов; автоматическое определение производительности тестируемых инжекторов (используется «Поток FM-8»); автоматическое определение температуры тестовой жидкости по каждому каналу.

5. Диагностический стенд ДД 10-01 после преобразования с безмензурочным блоком измерения «Поток FM-8» и блоком управления «Поток CR-2» позволяет выполнять проверку и тестирование инжекторов аккумуляторных топливных систем Common Rail автотракторных дизельных двигателей в большом диапазоне их модификаций.

#### Список использованных источников

1. Якубович, А. И. Экономия топлива на тракторах / А. И. Якубович, Г. М. Кухаренок, В. Е. Тарасенко. – Минск : БНТУ, 2009. – 229 с.
2. Грехов, Л. В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей : учебник для вузов / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков. – М. : Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
3. Технический сервис дизельной топливной аппаратуры / Е. А. Пучин [и др.]. – М. : ТРИАДА, 2003 – 108 с.
4. Мухля, О. О. Повышение надежности и расширение функциональных возможностей стенда ДД-10-01 / О. О. Мухля, В. Н. Бобков, В. Е. Тарасенко // Техсервис-2021 : материалы науч.-практ. конф. студентов и магистрантов, Минск, 19–21 мая 2021 г. / Бел. гос. агр. техн. ун-т ; редкол.: Д. А. Жданко [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2021. – С. 22–26.
5. Тарасенко, В. Е. Анализ топливных систем дизелей с электронным управлением топливоподачей / В. Е. Тарасенко, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2016. – Вып. 50. – С. 52–57.
6. Тарасенко, В. Е. Анализ топливных систем дизелей с механическим и электронно-актуаторным управлением топливоподачей / В. Е. Тарасенко, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2016. – Вып. 50. – С. 58–64.
7. BOSCH. Системы управления дизельными двигателями : пер. с нем. – М. : ЗАО «КЖИ» «За рулем», 2004. – 480 с.
8. Дизели Д-245.33В, Д-245.233В, Д-245.533В, Д-245.43.33В. Руководство по эксплуатации 2453В-0000100РЭ / ОАО «Управляющая компания холдинга «Минский моторный завод». – Минск : ОГК, 2013 – 243 с.
9. Повышение надежности и расширение функциональных возможностей диагностического стенда для работы с ТНВД систем Common Rail / В. Е. Тарасенко [и др.] // Изобретатель. – 2019. – № 7 (235). – С. 44–47.

**А. Л. Мисун<sup>1</sup>, В. В. Азаренко<sup>2</sup>, Л. В. Мисун<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: LLM\_90@mail.ru

<sup>2</sup>Президиум Национальной академии наук Беларуси

Минск, Республика Беларусь

E-mail: azarenko@presidium.bas-net.by

## **НАПРАВЛЕНИЯ УЛУЧШЕНИЯ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТРУДА В КАБИНЕ МОБИЛЬНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены направления по повышению безопасности труда путем создания в кабине мобильной сельскохозяйственной техники необходимого микроклимата и выполнения при этом санитарных норм по чистоте воздуха на рабочем месте.

*Ключевые слова:* кабина мобильной сельскохозяйственной техники, рабочее место, микроклимат, запыленность, технические решения.

**A. L. Misun<sup>1</sup>, V. V. Azarenko<sup>2</sup>, L. V. Misun<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: LLM\_90@mail.ru

<sup>2</sup>Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: azarenko@presidium.bas-net.by

## **DIRECTIONS FOR IMPROVING MICROCLIMATIC WORKING CONDITIONS IN THE CABIN OF MOBILE AGRICULTURAL MACHINERY**

*Abstract.* The article considers the directions for improving labor safety by creating the necessary microclimate in the cabin of mobile agricultural machinery and at the same time fulfilling sanitary standards for clean air in the workplace.

*Keywords:* cabin of mobile agricultural machinery, workplace, microclimate, dustiness, technical solutions.

### **Введение**

Воздействие тепла на организм человека в условиях нагревающего микроклимата приводит к снижению защитных сил и резервных возможностей организма. При длительном же воздействии холода на организм развивается вегетососудистая дистония и обостряются хронические заболевания. В целом самочувствие оператора мобильной сельскохозяйственной техники (МСХТ), его ощущение теплового комфорта, зависит от теплового равновесия системы оператор – рабочая одежда – производственная среда, определяемого параметрами микроклимата в кабине, уровнем активности работы и термическим сопротивлением одежды оператора [1]. Для нормализации микроклимата в кабине необходимы технические устройства различного назначения [2]: для отопления, вентиляции, охлаждения, очистки воздуха от вредных примесей, т. е. соответствующие технические средства, содержащие как элементы пассивной тепловой защиты герметизированных кабин (теплоизоляция непрозрачных ограждений, теплозащитные стекла, экраны, козырьки и т. д.), так и установки тепловлажностной обработки с очисткой воздуха.

### **Основная часть**

Система терморегулирования организма позволяет в определенных пределах поддерживать баланс продуцируемого и теряемого телом тепла, но возможности ее ограничены.

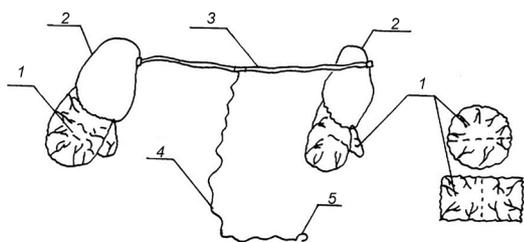


Рис. 1. Техническое устройство для защиты организма оператора МСХТ от перегрева [3]:  
1 – впитывающий элемент; 2 – эластичные кольца; 3 – стяжка; 4 – оттяжка; 5 – зацеп

Физиологическая норма реакции позволяет организму адаптироваться к охлаждающей или нагревающей температуре воздуха, микроклимату. Возникающее же переохлаждение или перегревание, выделение пота в процессе работы, даже если это не опасно для жизни человека, всегда снижает его трудоспособность. Для создания комфортных санитарно-гигиенических условий труда операторов в кабине МСХТ может использоваться устройство (рис. 1), содержащее сменные гигроскопические впитывающие элементы, неподвижно закрепленные на спинке сидения двумя эластичными кольцами, связанными друг

с другом стяжкой, которая, в свою очередь, неподвижно прикреплена одним концом к оттяжке, закрепленной своим свободным концом и снабженной зацепом за спинку сидения. Эффективная и безопасная защита оператора МСХТ от выделяемого пота в процессе работы при соприкосновении его спины со спинкой сидения достигается периодической и нетрудоемкой сменой впитывающих элементов, препятствующих перегреву организма оператора.

Так как в большей степени МСХТ эксплуатируется в жаркое, летнее время, то без надлежащей защиты металлическая кабина МСХТ может стать мощным источником тепла. Именно в этот период температура воздуха в кабине, может превышать наружную на 15–20 °С, а температура ее поверхностей достигать более 50 °С, что сильно влияет на производительность труда оператора МСХТ, его функциональность и работоспособность [4]. В значительной мере формирование требуемого уровня температуры и влажности воздуха в кабине зависит от ее теплоизоляции и герметичности [5]. Этому требованию отвечает и конструкция кабины кормоуборочного комбайна КВК-800 «Палессе». Результаты наблюдений за состоянием микроклимата в кабине этого кормоуборочного комбайна показали (табл. 1), что значения таких параметров, как температура, относительная влажность и скорость движения воздуха, находятся в допустимых пределах. Среднее квадратическое отклонение вышеприведенных параметров составило не более 4 %. Такая благоприятная ситуация во многом объясняется тем, что на отечественных кормоуборочных комбайнах исправно функционирует система нормализации микроклимата, позволяющая постоянно обеспечивать для оператора МСХТ на протяжении всего рабочего дня требуемые безопасные микроклиматические условия для работы [6]. Для повышения герметичности кабины рекомендуется разработанное нами устройство [7], узлы уплотнения которого посредством чередующихся пластин образуют подвижное соединение, представляющее собой клапанную систему, способствующую снижению проникновения пыли в кабину технического средства. Гофрированная манжета и нижний диск дополнительно повышают теплоизоляционные свойства кабины. В современных кабинах может использоваться теплоизоляция в виде пористых материалов как облицовка их интерьера на боковых стенках и потолке [8]. На полу кабины рекомендуется укладывать коврик специальной формы с резиновым покрытием общей толщиной 20–25 мм [9].

Таблица 1. Параметры микроклимата в кабине кормоуборочного комбайна КВК-800 «Палессе» в течение рабочей смены

Точка замера	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения, м/с
Первая	19,8 ± 0,6	69,7 ± 0,5	0,18 ± 0,03
Вторая	19,6 ± 0,5		
Третья	19,9 ± 0,5		
Четвертая	19,1 ± 0,2		
Пятая	19,3 ± 0,5		
Шестая	19,6 ± 0,3		
Седьмая	19,3 ± 0,3		
В среднем	19,5 ± 0,4		
Гигиенические нормативы [10]	15–22	15–75	0,20–0,40

Для снижения теплового воздействия на работоспособность оператора МСХТ нами предлагается инженерно-техническое решение [11], принцип работы которого заключается в том, что из дефлектора в патрубок с помощью штатной системы вентиляции в кабину МСХТ подается теплый воздух. Он проходит через увлажненную раствором душицы или эфирных масел хвои пористую верхнюю половину внутренней полости прямого полого цилиндра (рис. 2). Поворачивая цилиндр вокруг оси симметрии, можно оперативно поддерживать требуемую степень увлажнения воздуха производственной среды. При этом эфирные масла хвои (или душицы), которые наполняют воздух внутри кабины аэрозолями, оказывают благотворное влияние на организм оператора МСХТ, способствуют повышению производительности его труда, снятию усталости и улучшению настроения [12].

В отношении загрязненности наружного воздуха около кабин МСХТ необходимо отметить, что наибольшая запыленность воздуха (помимо образования облака пыли ветром) наблюдается при выполнении МСХТ различных технологических операций и зависит от типа грунта, температуры и влажности воздуха, мощности двигателя, типа движителя и скорости движения. Так, около кабины сельскохозяйственных тракторов весной и осенью преобладает пыль минерального происхождения с частицами размером 1–5 мкм при концентрации вблизи от очага образования до 1400 мг/м<sup>3</sup> при пахоте, посеве озимых и яровых культур, культивации и бороновании [1]. При этом на транспортных работах запыленность воздуха около кабины трактора значительно ниже. Необходимость защиты от пыли порождает вопросы всей проблемы нормализации микроклимата, так как защищаясь от внешней пыли, оператор МСХТ должен работать в закрытой вентилируемой кабине. Это приводит к повышению в ней температуры воздуха, что в значительной мере является следствием «парникового» эффекта в результате воздействия солнечной радиации на замкнутый объект со значительной площадью остекления [1]. Исследования по оценке концентрации пыли (запыленности воздуха  $C_p$ ) в кабине (МСХТ) проводили на примере кормоуборочного комбайна КВК-800 «Палессе» с учетом следующих условий: относительной влажности окружающего воздуха 70 %, скорости ветра не более 5 м/с, очищенных от пыли внутренних поверхностей кабины, плотно закрывающихся окон, дверей и люка. Система нормализации микроклимата работала с наибольшей производительностью (в режиме максимального забора наружного воздуха). В течение опыта отбирали в точке 2 (рис. 3) пять проб на содержание пыли в воздухе [13].

В качестве прибора для количественного определения пыли в воздухе использовали аспиратор АФА-ВП (модель 822). Питание прибора осуществляли от дизель-генератора (КДЕ 6500Е). Для достоверной оценки запыленности отбирали пять проб. Номер фильтра нумеровали на бумажных держателях. Для регулировки объемного расхода воздуха аспиратора использовали пробные фильтры. Опытный фильтр в бумажном держателе вставляли в фильтр-держатель,

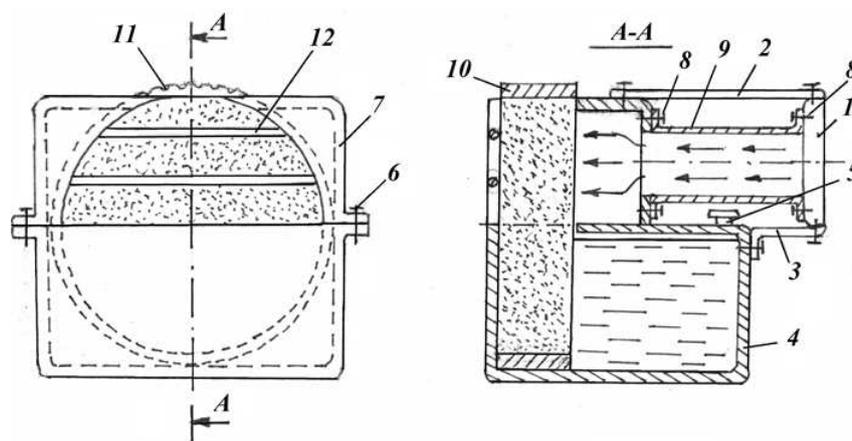


Рис. 2. Устройство для увлажнения воздуха производственной среды в кабине МСХТ:  
 1 – дефлектор; 2, 3 – крепления; 4, 7 – нижняя и верхняя стенки корпуса; 5 – крышка горловины;  
 6, 8 – винты; 9 – патрубок; 10 – полый цилиндр; 11 – рифление

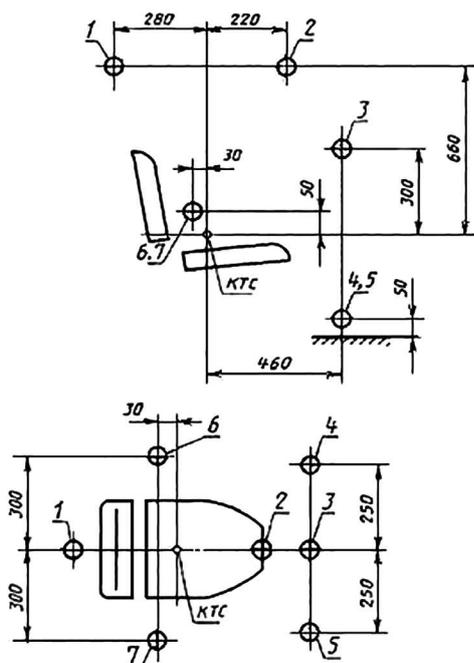


Рис. 3. Схема оценочных измерений условий труда на рабочем месте оператора кормоуборочного комбайна: 1, 3–7 – точки для измерения температуры воздуха в кабине; 2 – точка для измерения запыленности, относительной влажности и скорости движения воздуха в кабине; КТС – контрольная точка сиденья

включали аспиратор на 5 мин [14]. Объем воздуха ( $V$ ), прошедшего через фильтр, рассчитывали по формуле

$$V = v_v t_{пр}, \quad (1)$$

где  $v_v$  – скорость воздуха, л/мин;  $t_{пр}$  – время отбора пробы, мин.

Изменение массы контрольных и опытных фильтров  $\Delta M_\phi$  определяли из выражения

$$\Delta M_\phi = M_k - M_n, \quad (2)$$

где  $M_k$  – масса фильтра после отбора проб воздуха, г;  $M_n$  – начальная масса фильтра, г.

Среднее значение изменения массы контрольных фильтров  $\Delta M'_k$  определяли по формуле

$$\Delta M'_k = \frac{\sum \Delta M_\phi}{N}, \quad (3)$$

где  $N$  – количество контрольных факторов.

Значение  $\Delta M'_k$  учитывали для анализа количества влаги, которое поглотили или отдали чистые фильтры относительно первоначального их веса. Массу пыли, осевшую на фильтре ( $M_n$ ), с учетом изменения массы контрольных фильтров  $M_k$ , определяли исходя из следующих условий:

$$M_n = \Delta M_\phi - \Delta M'_k, \quad \text{если } \Delta M'_k > 0;$$

$$M_n = \Delta M_\phi + |\Delta M'_k|, \quad \text{если } \Delta M'_k < 0;$$

где  $|\Delta M'_k|$  – модуль значения изменения массы контрольных фильтров.

Запыленность воздуха в кабине кормоуборочного комбайна ( $C_n$ ) рассчитывали по формуле

$$C_n = \frac{M_n}{V} \cdot 10^6. \quad (4)$$

Установленное значение запыленности воздуха рабочей зоны находилось в пределах 3,1–5,1 мг/м<sup>3</sup> (табл. 2), т. е. условия труда оператора по запыленности воздуха в кабине в течение рабочей смены изменялись от «допустимых» до «вредных» (табл. 3).

Для снижения негативного влияния пыли на организм оператора МСХТ нами предлагается техническое решение в виде антибликовой пылезащитной накладке на приборную панель технического средства (рис. 4). Основа накладки представляет собой слой полимера, который арми-

Таблица 2. Результаты измерения запыленности воздуха на рабочем месте оператора кормоуборочного комбайна КВК-800 «Палессе»

Номер фильтра	Время отбора	Скорость воздуха ( $V_v$ ), л/мин	Объем воздуха, прошедшего через фильтр ( $V$ ), л	Масса фильтра после отбора пробы воздуха ( $M_k$ ), г	Начальная масса фильтра ( $M_n$ ), г	Изменение массы фильтра ( $\Delta M_\phi$ ), г	Масса пыли ( $M_n$ ), г	Запыленность воздуха ( $C_n$ ), мг/м <sup>3</sup>
Контроль 1	–	–	–	0,16146	0,16010	0,00136	$\Delta M'_k = 0,00147$	
Контроль 2	–	–	–	0,16318	0,16169	0,00149		
Контроль 3	–	–	–	0,16367	0,16211	0,00156		
1	5	7	35	0,16400	0,16242	0,00158	0,00011	3,1
2	5	7	35	0,16358	0,16198	0,00160	0,00013	3,7
3	5	7	35	0,16412	0,16250	0,00162	0,00015	4,3
4	5	7	35	0,16371	0,16207	0,00164	0,00017	4,8
5	5	7	35	0,16407	0,16242	0,00165	0,00018	5,1

Т а б л и ц а 3. Классы условий труда в зависимости от содержания в воздухе рабочей зоны пыли (превышения ПДК, раз) [15]

Показатель	Класс условий труда					опасный (экстремальный)
	допустимый	вредный				
1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Концентрация пыли	≤ПДК*	1,1–2,0	2,1–5,0	5,1–10,0	>10,0	–

\*ПДК пыли в кабине МСХТ – 4 мг/м<sup>3</sup> [16].

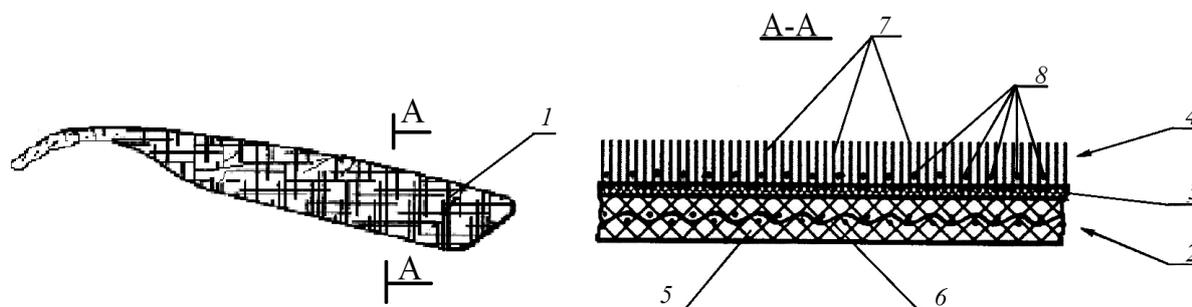


Рис. 4. Пылезащитная антибликовая накладка [17]:

1 – пылезащитная антибликовая накладка; 2 – полимерная основа; 3 – клей; 4 – антибликовый слой; 5 – полимерный слой; 6 – армированная ткань; 7 – волокна флока; панель; 8 – оголенная медная нить

рован тканью. В качестве полимера можно использовать силикон, полиуретан, акрил. Форма этой наклейки соответствует форме поверхности приборной панели в кабине, а ее верхний антибликовый слой выполнен из волокон флока на полимерной основе (полиамид (нейлон) или вискоза), которые, в свою очередь, армированы тканью на шерстяной основе. Этот слой представляет собой хаотично расположенные волокна, имеющие разную толщину (0,5–5,0 мкм), расстояние между которыми составляет примерно 0,5–50,0 мкм.

Антибликовый пылезащитный слой из полиамидного флока наносится на предварительно отформованную полимерную основу способом электрофлокирования. При этом полимерная основа армирована тканью из синтетических волокон. В нижней части наклейки установлена оголенная медная нить толщиной от 0,5–0,7 мм. Расстояние соседних частей медной нити друг от друга составляет 8–10 мм [17]. По краям наклейки в точках наибольшей кривизны медная нить закреплена скобами. Между нитью и скобами во всех направлениях существуют зазоры размером 1–2 мм. В расправленном горизонтальном виде медная нить уложена на полимерной основе в виде общей синусоиды. Когда полимерная основа копирует форму приборной панели, то и закрепленная на ней с помощью скоб медная нить тоже соответствующим образом изгибается, копируя форму панели. В результате имеющей место вибрации при работе МСХТ в верхнем слое наклейки возникают колебания, что приводит к трению между волокнами ткани и оголенной медной нитью (рис. 5), создавая при этом статическое поле, состоящее из волн, пронизывающих все внутреннее пространство кабины, которые, в свою очередь, вызывают эффект подталкивания и притягивания пыли к наэлектризованным медным нитям. При этом осаждение пылинок происходит в результате малейшего касания ее о медные нити, расположенные поперек воздушного потока смеси воздуха и пыли. Наклейка может быть достаточно легко демонтирована для очистки от накопившейся пыли или мойки [17].

Для защиты оператора в кабине МСХТ от пыли и насекомых предлагается москитная сетка [18], состоящая из

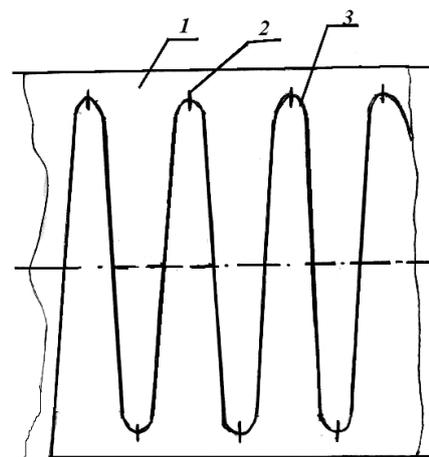


Рис. 5. Расположение медной нити в антибликовой пылезащитной накладке для приборной панели МСХТ [17]:  
1 – накладка; 2 – медные скобы;  
3 – медная нить

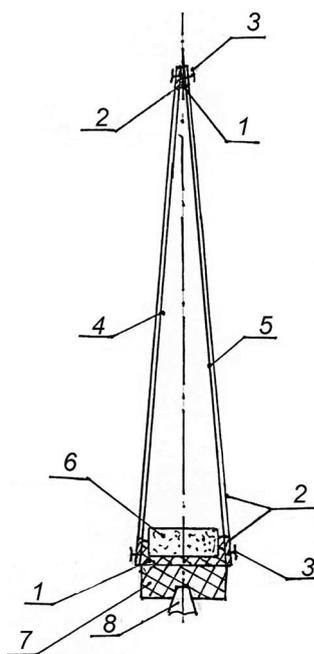


Рис. 6. Москитная сетка для трактора или автомобиля [18]:

- 1 – пластиковая рамка;
- 2 – прокладка; 3 – винт;
- 4 – наружное полотно;
- 5 – внутреннее полотно;
- 6 – полоса войлока;
- 7 – полоса резинового уплотнителя с канавкой;
- 8 – верхняя часть стекла двери кабины

пластиковой рамки, в которой натянута сетка. Вверху рамки имеется ручка, отличающаяся тем, что сетка выполнена двойной, состоящей из наружного и внутреннего полотен, образующих внутреннюю полость в форме клина (рис. 6), верхний угол которого прикреплен к верхней поверхности рамки, а в нижней части рамки расстояние между наружным и внутренним полотнами равно 10–12 мм. При этом в нижней части клиновидной полости между полотнами сетки поверх нижней поверхности рамки установлена с возможностью замены полоса войлока высотой 8–10 мм, пропитанная эфирным маслом лемонграсса; в наружном полотне имеются отверстия продолговатой формы 0,15 мм по высоте и 0,8 мм по ширине, а во внутреннем полотне – отверстия продолговатой формы размером 0,8 мм по высоте и 0,15 мм по ширине. На нижней поверхности рамки закреплена, например, с помощью клея, полоса резинового уплотнителя с канавкой в виде равнобокой трапеции для расположения в ней верхней части стекла двери МСХТ. Во время движения на МСХТ в оконный проем автомобильной или тракторной двери сверху с помощью ручки вставляется пластиковая рамка с двойной москитной сеткой, выполненной из наружного и внутреннего полотен. Для плотного прилегания москитной сетки приподнимается стекло двери МСХТ, которое упирается в полосу резинового уплотнителя с канавкой в виде равнобокой трапеции для расположения в ней с целью фиксации верхней части стекла двери МСХТ. При этом не остается зазоров для проникновения различных насекомых, пыли и пуха.

Москитная сетка изготовлена на основе полимера, поэтому ячейки со временем не растягиваются. Она не затеняет световой проем, препятствует попаданию в кабину МСХТ пуха и пыли, что особенно важно для людей, страдающих различными аллергическими заболеваниями. Москитная сетка не уменьшает видимость и не препятствует

проникновению свежего воздуха. Ее сеточное полотно проходит обработку специальными веществами, в результате чего приобретает устойчивость к выгоранию и не поддается деформации. Клиновидная полость между наружным и внутренним полотнами москитной сетки служит для поглощения шумовых звуковых волн, отраженных внутренними поверхностями наружного и внутреннего ее полотен, а расположение в них противоположно ориентированных отверстий продолговатой формы препятствует возникновению резонансных звуковых явлений [18]. Распространяющийся по кабине МСХТ запах масла лемонграсса отпугивает насекомых, улучшает настроение и физическое состояние оператора МСХТ, способствует устранению слабости в конечностях, головокружения, сенсомоторных расстройств, помогает справиться с подавленностью и эмоциональной усталостью во время рабочей смены.

### Заключение

На основании результатов исследования, проведенного с целью изучения возможностей улучшения микроклиматических условий и снижения запыленности в кабине мобильной сельскохозяйственной техники, предложены организационные мероприятия и авторские технические решения, защищенные шестью патентами Республики Беларусь.

### Список использованных источников

1. Обеспечение безопасности производственной среды в кабине мобильной сельскохозяйственной техники / А. Л. Мисун [и др.] // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2018. – № 11. – С. 24–27.
2. Михайлов, В. А. Средства нормализации микроклимата и оздоровления воздушной среды в кабинах тракторов : учебное пособие / В. А. Михайлов, Н. Н. Шарипова. – М. : МГТУ «МАМИ», 2002. – 90 с.

3. Устройство для защиты от пота : пат. 2143937 РФ / В. М. Сорока ; заявл. 05.09.1994 ; опубл. 10.01.2000.
4. Технические устройства для нормализации теплового режима в кабине мобильной сельскохозяйственной техники / Л. В. Мисун [и др.] // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции : сб. ст. IV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 21–22 марта 2019 г. / редкол.: В. Я. Груданов [и др.]. – Минск, 2019. – С. 294–296.
5. Михайлов, В. А. Обеспечение нормируемых параметров микроклимата в тракторных кабинах / В. А. Михайлов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1990. – № 1. – С. 18–21.
6. Мисун, А. Л. Улучшение условий труда в кабине мобильной сельскохозяйственной техники / А. Л. Мисун, И. Н. Мисун, Н. Ф. Моисеенко // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. Белорус. гос. с.-х. акад. ; редкол.: В. Р. Петровец [и др.]. – Горки, 2018. – Вып. 3. – С. 94–98.
7. Устройство для герметизации рычага управления коробки скоростей в кабине транспортного средства : пат. № 16704 Респ. Беларусь / Л. В. Мисун, А. Л. Мисун, В. А. Агейчик, А. В. Агейчик ; заявл. 23.04.2010 ; опубл. 30.12.2010.
8. Кабина транспортного средства : пат. № 1596 Респ. Беларусь / Л. В. Мисун, А. Л. Мисун, В. А. Агейчик, А. В. Агейчик ; заявл. 08.02.2010 ; опубл. 30.10.2011.
9. Напольный коврик кабины мобильной сельскохозяйственной техники : пат. № 16704 Респ. Беларусь / А. Л. Мисун [и др.] ; заявл. 14.12.2018 ; опубл. 30.06.2019.
10. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны : ГОСТ 12.1.005-88. – М., 1988. – (Дата актуализации 21.04.2018).
11. Устройство для снижения температуры и увлажнения воздуха в салоне автомобиля : пат. № 11910 Респ. Беларусь / Л. В. Мисун [и др.] ; заявл. 07.02.2018 ; опубл. 28.02.2019.
12. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа : учебник для вузов / Л. Г. Лойцянский. – М. : Дрофа, 2003. – С. 141–142.
13. Машины землеройные, тракторы и машины для сельскохозяйственных работ и лесоводства. Контрольная точка сиденья : ГОСТ 27715-88. – М., 1988. – (Дата актуализации 01.01.2018).
14. Мисун, А. Л. Оценка запыленности воздуха на рабочем месте оператора кормоуборочного комбайна / А. Л. Мисун, И. Н. Мисун, В. А. Иванушкина // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. Белорус. гос. с.-х. акад. ; редкол.: В. Р. Петровец [и др.]. – Горки, 2019. – Вып. 4. – С. 64–67.
15. Охрана труда : практикум / А. С. Алексеенко [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2017. – 192 с.
16. Кисленко, А. К. Оценка условий труда операторов тракторов сельскохозяйственного назначения / А. К. Кисленко, М. А. Архилаев, П. Д. Веретенников // Вестн. Алтайского гос. аграрн. ун-та. – 2004. – № 2 (14). – С. 236–240.
17. Накладка антибликовая на приборную панель автомобиля или трактора : пат. № 11911 Респ. Беларусь / Л. В. Мисун [и др.] ; заявл. 16.03.2018 ; опубл. 28.02.2019.
18. Москитная сетка для автомобиля или трактора : пат. № 12000 Респ. Беларусь / А. Л. Мисун [и др.] ; заявл. 31.05.2018 ; опубл. 30.06.2019.

**В. Л. Мисун**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: vova\_7787@mail.ru*

**ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ  
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ  
ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ РАСТВОРА ПЕСТИЦИДА НА РАСТЕНИЯ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены требования к оценке загрязнения воздуха производственной среды, а также факторы, влияющие на распространение загрязняющих веществ в пространстве и времени. Предложен графический метод оценки загрязнения воздуха при эксплуатации технических средств для внесения раствора пестицида на растения.

*Ключевые слова:* зона загрязнения производственной среды, опасные химические вещества, концентрация, техническое средство.

**V. L. Misun**

*EI "Belarusian State Agrarian Technical University"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: vova\_7787@mail.ru*

**ASSESSMENT OF AIR POLLUTION IN THE PRODUCTION  
ENVIRONMENT DURING THE OPERATION OF TECHNICAL MEANS  
FOR APPLYING A PESTICIDE SOLUTION TO PLANTS**

*Abstract.* The article discusses the requirements for assessing air pollution in the industrial environment, as well as factors affecting the spread of pollutants in space and time. A graphical method for assessing air pollution during the operation of technical means for applying a pesticide solution to plants is proposed.

*Keywords:* industrial environment pollution zone, hazardous chemicals, concentration, technical means.

**Введение**

В некоторых отраслях АПК выполнение технологических процессов сопровождается выделением в воздух рабочей зоны различного рода вредных химических веществ, причем в отдельных случаях сами методы и приемы выполнения работ являются по существу генераторами загрязнения воздуха вредными аэрозолями, парами и газами. Следует отметить, что природные факторы вследствие работы вне помещений в любую погоду усугубляют неблагоприятные условия труда (например, сильные порывы ветра при обработке растений пестицидами).

Ключевыми требованиями, предъявляемыми к оценке загрязнения воздуха вне помещений, являются [1]: обеспечение необходимой разрешающей способности прогноза в пространстве и во времени; учет широкого диапазона погодных условий и типов источников загрязнения. Основными факторами, влияющими на распространение загрязняющего вещества в пространстве и времени, принимаются адвекция (горизонтальный перенос), вертикальная диффузия и скорость ветра. Входная информация, необходимая для анализа процесса распространения загрязняющих веществ в воздухе, включает в себя рассмотрение параметров источника, среды и граничных условий.

Известны четыре основных подхода для оценки рассеяния веществ в движущейся газообразной среде [2]:

– прямое экспериментальное исследование, связанное с использованием инструментальных способов определения формы выбросов, траектории распространения загрязнения, условий диффузии;

– теория подобия, которая используется при моделировании в тех случаях, когда в силу сложности рельефа местности и застроек невозможно правильно оценить граничные условия и направления движения воздушных потоков, а поэтому приходится использовать гидравлические модели;

– теория диффузии загрязняющего вещества, которая основывается на законе сохранения массы и предполагает однородность основного движения по осям координат и использованием обычных приемов осреднения турбулентных характеристик, состоящих из средних и пульсационных компонентов. Решение полуэмпирического уравнения диффузии широко применяют для расчетов рассеяния примесей в атмосфере;

– классическая статистическая теория, которая дает описание атмосферной турбулентности в терминах ее интенсивности, шкалы и спектральных свойств. Она позволяет изучить историю движения индивидуальных частиц и определить статистические характеристики, необходимые для описания диффузии. Тип случайного процесса, который часто используется при изменении турбулентности и диффузии, может быть охарактеризован как стационарный, однородный, изотропный и гауссовский.

Анализ исследований [3, 4] показал, что даже регламентированная механизированная контактная обработка раствором пестицида растительности в силу физико-химических свойств агрохимиката, биологических особенностей обрабатываемой растительности и технического уровня применяемых средств механизации не исключает вероятности его попадания как на культурные растения, так и на объекты окружающей среды, что приводит к повышению концентрации загрязнения воздуха рабочей зоны, ухудшению условий труда работника, а для оперативного прогнозирования распространения опасных химических веществ (ОХВ) в воздухе весьма актуально и использование графического метода оценки качества воздуха производственной среды.

Для решения поставленной задачи – оценки возможного загрязнения воздуха рабочей зоны при механизированной обработке растений раствором пестицида (гербицида, фунгицида, инсектицида и др.) – воспользуемся одним из сценариев выброса ОХВ в окружающую среду, изложенном в методике ТОКСИ [5]. Данная методика рекомендуется при проведении анализа опасности и рисков, в том числе при выполнении технологических процессов, где используются ОХВ, а также при разработке мероприятий по защите персонала.

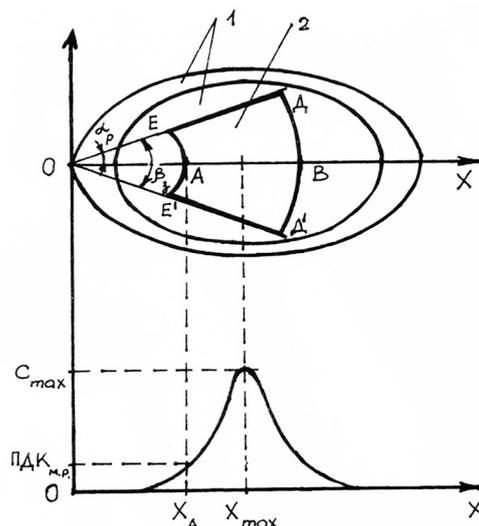
### Основная часть

В качестве зоны загрязнения производственной среды опасными химическими веществами предлагается считать территорию, на которой вследствие внесения на растения, например, раствора пестицида, наблюдается превышение значения максимальной разовой предельно допустимой концентрации (ПДК<sub>м.р.</sub>). Учитывая это, будем полагать, что зона загрязнения очерчена границей (см. рисунок), в любой точке которой концентрация загрязняющего вещества в воздухе на момент времени  $t$  равна величине ПДК<sub>м.р.</sub> (граничная концентрация). Передняя и задняя границы этой зоны определяются дугами радиусов  $OB$  и  $OA$  соответственно.

Точки  $A$  и  $B$  лежат на оси  $x$  направления ветра (координата  $y$  равна нулю). Воспользуемся следующим соотношением, чтобы вычислить координаты этих точек  $A$  и  $B$  ( $x_A$  и  $x_B$ ):

$$10^9 QG(x; Q_y; 1, 5; t) = \text{ПДК}_{\text{м.р.}} \quad (1)$$

Так как в качестве граничной концентрации используется значение ПДК<sub>м.р.</sub>, высота над поверх-



Зоны загрязнения опасными химическими веществами:  
 1 – зона превышения среднего фона загрязнения;  
 2 – зона превышения максимальной разовой предельно допустимой концентрации опасного химического вещества

ностью земли принимается равной 1,5 м. Это та высота, на которой и будет наблюдаться первоочередное воздействие ОХВ на работника. Боковые границы зоны загрязнения ОД и ОД' определяются углом распространения примеси  $\alpha$  (рад), который представляет собой угол между одной из боковых границ зоны загрязнения и направлением ветра. Для вычисления этого угла необходимо знать координату на оси направления ветра  $x_{\max}$ , где наблюдается максимальное значение концентрации ОХВ. После этого величина  $\alpha$  может быть вычислена из уравнения (2), где она является единственным неизвестным:

$$10^9 QG(x_{\max}; \cos \alpha; x_{\max} \sin \alpha; 1,5; t) = \text{ПДК}_{\text{м.р.}} \quad (2)$$

Очевидно, что концентрация вредного вещества симметрично распределяется относительно оси направления ветра. Значит, зона загрязнения может быть упрощенно описана тремя параметрами: координатами передней ( $x_B$ ) и задней ( $x_A$ ) границ, а также углом загрязнения  $\beta$  ( $\beta = 2\alpha$ ), определяющим боковые границы зоны. Площадь зоны загрязнения (см. рисунок) определяется по разности площадей ОДД' и ОЕЕ'. Окончательный вид формулы для расчета площади зоны загрязнения ОХВ

$$S = \alpha(OB^2 - OA^2). \quad (3)$$

Полученная зона превышения  $\text{ПДК}_{\text{м.р.}}$  окажется внутри зоны повышенной концентрации (превышения среднего фона). Реальная форма зоны загрязнения ОХВ напоминает эллипс, вытянутый вдоль оси направления ветра. При допустимых значениях концентрации в этой зоне нет необходимости оценки ее параметров. В случае одновременного использования, например, нескольких технических средств для внесения раствора пестицида (ОХВ) на растения, происходит перекрывание зон не только превышения ПДК, но и повышенного фона. В этом случае накладываются друг на друга зоны допустимых значений концентрации в сумме дают превышение предельно допустимой величины.

Следует отметить, что для построения зон загрязнения ОХВ значение фоновой концентрации принимается равной нулю, так как фактическая концентрация ОХВ на порядки выше величины среднего фона. Распределение же максимальной концентрации ( $C_{\max}$ ) на расстоянии  $l_p$  при времени диффузии  $t < \min(t_1, t_2)$ , где  $t_1$  – время действия источника фиксированной мощности  $M_m$ , а  $t_2$  – время сохранения метеоусловий, может быть описано в случае точечного наземного источника загрязнения атмосферного воздуха следующим соотношением:

$$C_{\max} = \frac{AM_m}{l_p^3}. \quad (4)$$

В условиях штиля для разовой концентрации коэффициент  $A$ , зависящий от температурной стратификации атмосферы, принимается равным 0,11 [2]. Однако соотношение (4) не описывает фактическое поле концентраций вблизи источника (при  $l_p = 0$ ), так как расчетные концентрации обращаются в этой области в бесконечность. Реальные концентрации ОХВ достаточно велики, и поэтому при нормировании выбросов из наземных источников удобнее исходить из определения размера безопасной (санитарно-защитной) зоны, на границах которой не должны превышать нормы содержания вредных веществ в воздухе при определенных реальных величинах выбросов из таких источников и наихудших условиях рассеяния. При этом может быть использована любая модель для расчета рассеяния выброса от нестационарного наземного источника [2], в которой место максимальной концентрации  $C_{\max}$  займет  $\text{ПДК}_{\text{м.р.}}$ , отнесенная к периоду времени, равному времени действия источника. Условиями наихудшего разбавления для наземных источников следует считать условия умеренной и сильной устойчивости атмосферы и малой скорости ветра.

В случае наземного точечного источника мощностью  $M_m$  для определения границ безопасной зоны в соответствии с формулой (4) получим:

$$l_p = \left( \frac{AM_{\text{м}}t}{\text{ПДК}_{\text{м.р.}}} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (5)$$

где  $l_p$  – расстояние от источника до границ безопасной (санитарно-защитной) зоны;  $t$  – для нестационарного источника меньшее из двух времен: времени действия источника и времени сохранения неблагоприятных метеоусловий на рассматриваемой территории.

При заданном значении  $l_p$  можно нормировать величину загрязнения атмосферного воздуха от точечного источника, пользуясь условием

$$M_{\text{м}} \leq \frac{\text{ПДК}_{\text{м.р.}} l_p^3}{At}. \quad (6)$$

Расчеты по формулам (5) и (6) проводятся в случае, когда рассеяние загрязнителя происходит над ровной, однообразной подстилающей поверхностью при однородном термодинамическом строении атмосферы. Неровности рельефа и другие физико-географические особенности требуют особого рассмотрения и соответствующего изменения схемы расчета.

### Заключение

На основании результатов проведенного исследования предложен графический метод оценки загрязнения воздуха производственной среды наземным источником выбросов опасных химических веществ. Приведен расчет рассеивания загрязнителя над ровной, однообразной подстилающей поверхностью при однородном термодинамическом строении атмосферы. Рассмотрены требования, предъявляемые к оценке загрязнения воздуха вне помещений, а также основные факторы, влияющие на распространение загрязняющего вещества в пространстве и времени.

### Список использованных источников

1. Мисун, В. Л. Методические подходы для оценки распространения вредных веществ в воздухе производственной среды / В. Л. Мисун // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции : сб. ст. V Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 25–26 марта 2021 г. / под общ. ред. В. Я. Груданова. – Минск : БГАТУ, 2021. – С. 204–206.
2. Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Л. : Гидрометеоздат, 1995. – 271 с.
3. Экологическая безопасность на объектах АПК / Л. В. Мисун [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2012. – 216 с.
4. Мисун, Л. В. Организация безопасной эксплуатации технических средств защиты растений в промышленном производстве клюквы / Л. В. Мисун, А. А. Зеленовский, В. Л. Мисун. – Минск : БГАТУ, 2011. – 124 с.
5. Методика оценки последствий химических аварий (методика ТОКСИ). – М. : Промышленная безопасность, 1996. – 27 с.

**А. Н. Басаревский, В. Б. Ловкис**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: basareuski@bsatu.by*

## **ДОПУСТИМЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВОДОПРОВОДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ УДОБРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ**

*Аннотация.* В статье приведены математические зависимости, позволяющие рассчитать необходимый напор на входе в водопроводящую систему и установить допустимые гидравлические и конструктивные параметры гидротранспортной системы и удобрительного оборудования поршневого и эжекционного типов.

*Ключевые слова:* удобрительное орошение, оборудование, дозирующее устройство, дождевальная машина, напор, потери гидравлические.

**A. N. Basareuski, V. B. Lovkis**

*EI "Belarusian State Agrarian Technical University"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: basareuski@bsatu.by*

## **ACCEPTABLE HYDRAULIC PARAMETERS OF WATER SUPPLY SYSTEM OF FERTILIZER EQUIPMENT AND SPRINKLING MACHINE**

*Abstract.* The article presents mathematical dependencies that allow us to calculate the required pressure at the entrance to the water supply system and identify the acceptable hydraulic and structural parameters of the hydraulic transport system and fertilizer equipment of the piston and ejection types.

*Keywords:* fertilizing irrigation, equipment, metering device, sprinkling machine, pressure, hydraulic losses.

### **Введение**

В условиях Республики Беларусь получать высокие и стабильные по годам урожаи сельскохозяйственных культур практически невозможно без оросительных мелиораций. Резервом дальнейшего повышения их эффективности является применение удобрительного орошения. Вместе с тем важно учитывать, что главным в этой технологии является стабильная дозированная подача раствора удобрений в поток поливной воды в течение всего цикла орошения. Данный вопрос остается проблемным, в том числе и ввиду отсутствия необходимых методов расчета гидравлических параметров водопроводящей системы удобрительного оборудования и дождевальной машины.

### **Основная часть**

Анализ исследований технологических особенностей различных видов дозирующих устройств, применяемых в удобрительном орошении, позволил установить, что для эффективной эксплуатации удобрительного оборудования его целесообразно размещать на полуприцепе (т. е. использовать в виде передвижного модуля) (рис. 1, а). В сравнении с навесными (монтируемыми) схемами (рис. 1, б) основное преимущество такого технического решения – удобство эксплуатации: снижение затрат времени на монтаж или демонтаж оборудования, в случае если систему необходимо переустановить с одной дождевальной машины на другую. Кроме того, нет необходимости транспортировать к месту орошения все удобрительное оборудование вместе

с дождевальными машинами, в случае когда нужно произвести только чистый полив, без внесения удобрений.

Водопроводящая система удобрительного оборудования и дождевальной машины должна обеспечить подачу оросительной воды с удобрениями к дождеобразующим устройствам с минимальными гидравлическими потерями. Необходимо определить такие значения гидравлических параметров на выходе из системы перед дождеобразующим устройством, при которых будут обеспечиваться параметры процесса (характеристики дождя, концентрация удобрений в поливной воде), соответствующие агротехническим требованиям. Очевидно, что эти значения будут соответствовать рациональному режиму работы удобрительной системы, так как требуют минимальных затрат мощности на единицу производительности [1].

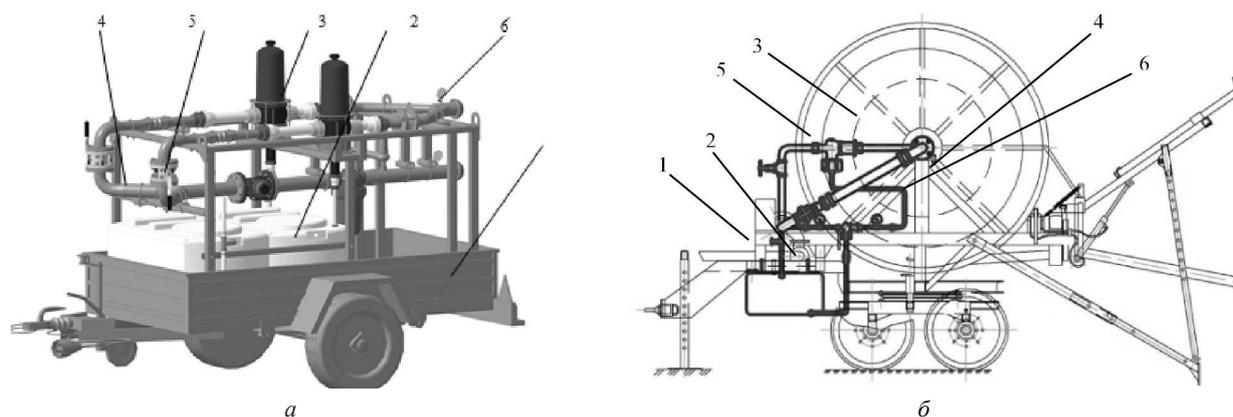


Рис. 1. Удобрительное оборудование: *a* – в виде передвижного модуля; *б* – монтируемое;  
 1 – прицеп грузовой (дождевальная установка); 2 – емкость для маточного раствора; 3 – дозирующее устройство;  
 4 – водопроводящая система; 5 – вентили; 6 – контрольно-измерительные приборы

Общий напор на входе в водопроводящую систему, необходимый для стабильного процесса удобрительного орошения, можно определить по формуле

$$H = H_0 + \Delta h_{\text{в}}, \quad (1)$$

где  $H_0$  – напор в выходном сечении дождеобразующего устройства, м;  $\Delta h_{\text{в}}$  – потери напора в водопроводящей системе, м.

Потери  $\Delta h_{\text{в}}$  будут складываться из потерь в оборудовании для удобрительного орошения в гидротранспортной системе и потерь, идущих на ее привод:

$$\Delta h_{\text{в}} = \Delta h_{\text{у}} + \Delta h_{\text{общ}} + \Delta h_{\text{п}}, \quad (2)$$

где  $\Delta h_{\text{у}}$  – потери напора в оборудовании для удобрительного орошения, м;  $\Delta h_{\text{общ}}$  – общие потери напора в гидротранспортной системе, м;  $\Delta h_{\text{п}}$  – потери напора в приводе гидротранспортной системы, м.

Здесь также необходимо сказать о перспективной тенденции, которая наметилась в орошаемом земледелии: применении гибких трубопроводов (полиэтиленовых, плоскосворачиваемых и др.) с намоткой на барабан. Такие гидротранспортные системы позволяют более рационально использовать поливную воду, применять новые прогрессивные схемы удобрительного орошения, увеличивать расстояние между трубопроводами и гидрантами закрытых оросительных систем, автоматизировать процесс полива, а также снизить его трудоемкость и энергоемкость. Ниже приведем методику определения гидравлических потерь применительно к таким гидротранспортным системам.

Формула (1) с учетом (2) примет вид:

$$H = H_0 + \Delta h_{\text{у}} + \Delta h_{\text{общ}} + \Delta h_{\text{п}}. \quad (3)$$

Гидравлические потери в гидротранспортной системе с намотанным гибким трубопроводом определяются как сумма потерь на преодоление сопротивления по длине и дополнительных потерь, возникающих от намотки гибкого трубопровода на барабан:

$$\Delta h_{\text{т}} = \Delta h_{\text{дл}} + \Delta h_{\text{б}}, \quad (4)$$

где  $\Delta h_{\text{дл}}$  – потери напора по длине трубопровода гидротранспортной системы, м;  $\Delta h_{\text{б}}$  – потери напора, возникающие от намотки гибкого трубопровода на барабан гидротранспортной системы, м.

Следует сказать, что режим движения жидкости в трубопроводе гидротранспортной системы, намотанном по винтовой линии, будет несколько отличаться от режима движения в прямом трубопроводе. Так, переход к неупорядоченному, вихревому движению, характеризующемуся всеми признаками турбулентности, происходит при больших значениях  $Re$ , чем это имеет место при движении в прямом трубопроводе [2]. Тем не менее в работе [3] показано, что в таких системах имеет место движение жидкости с сильно развитой турбулентностью.

Далее определим потери напора по длине гибкого трубопровода. Надо сказать, что данные по гидравлическому расчету гидравлически гладких труб достаточно противоречивы и в настоящее время нет исчерпывающих сведений для определения их гидравлических характеристик. Наименьшие отклонения расчетных значений от экспериментальных имеет формула П. К. Конова:

$$\lambda_{\text{пр}} = \frac{1}{(1,81gRe - 1,5)^2}, \quad (5)$$

где  $\lambda_{\text{пр}}$  – коэффициент гидравлического сопротивления в прямом трубопроводе;  $g$  – ускорение свободного падения  $\text{м/с}^2$ .

Следовательно, расчет потерь напора на прямолинейных участках гибкого трубопровода будем вести по ней.

Тогда потери напора по формуле Дарси – Вейсбаха с учетом (5) составят

$$\Delta h_{\text{дл}} = \frac{0,08l_p Q^2}{d_p^5 \left( 9,49 + 0,78 \ln \frac{Q}{d_p} \right)^2}, \quad (6)$$

где  $l_p$  – длина размотанного (прямого) гибкого трубопровода гидротранспортной системы, м;  $Q$  – расход оросительной воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $d_p$  – расчетный диаметр гибкого трубопровода, м.

Перейдем к определению местных потерь напора, которые будут возникать в трубопроводе гидротранспортной системы. Отметим, что изучению гидравлического сопротивления в таких трубопроводах посвящены некоторые работы [4–6]. Однако до настоящего времени данный вопрос остается мало исследованным и потому весьма актуальным.

Конструктивные параметры гидротранспортной системы будут зависеть, в том числе, от количества слоев и витков намотки гибкого трубопровода на барабан. Радиус намотки  $i$ -го слоя можно определить по формуле

$$R_{\text{н}i} = R_{\text{б}} + \frac{k_1 d_{\text{н}}}{2} + (i-1)k_1 d_{\text{н}}, \quad (7)$$

где  $R_{\text{б}}$  – радиус барабана гидротранспортной системы, м;  $k_1$  – радиальный коэффициент овальности гибкого трубопровода, равный 0,99 [7].

Тогда средний радиус осевой линии намотки

$$R_{\text{н}} = \frac{\sum_{i=1}^m \left( R_{\text{б}} + \frac{k_1 d_{\text{н}}}{2} + (i-1)k_1 d_{\text{н}} \right)}{m} = \frac{k_1 d_{\text{н}} m^2 + 2m R_{\text{б}}}{2m} = R_{\text{б}} + \frac{k_1 d_{\text{н}} m}{2}, \quad (8)$$

где  $m$  – количество слоев намотки гибкого трубопровода;  $k_1$  – радиальный коэффициент овальности гибкого трубопровода.

Особо следует отметить работу И. З. Аронова [5], который установил, что в области развитого турбулентного режима кривые  $\lambda = f(\text{Re})$  для изогнутых и прямых труб идут параллельно, а общий коэффициент гидравлического сопротивления в изогнутых трубах состоит из суммы коэффициентов, учитывающих трение основного потока и поперечную циркуляцию. На основании своих исследований И. З. Аронов, в зависимости от отношения  $R_n/d_p$ , рекомендует значения  $C$ , которые были аппроксимированы нами зависимостью

$$C = \frac{1,82}{(R_n / d_p)^{0,16}}. \quad (9)$$

Тогда потери напора в гибком трубопроводе гидротранспортной системы, намотанном по винтовой линии, по формуле Дарси – Вейсбаха с учетом (6) и (10) составят:

$$\Delta h_T = \frac{0,08 l_c Q^2 C}{d_p^5 g \left( 9,49 + 0,78 \ln \frac{Q}{d_p} \right)^2}, \quad (10)$$

где  $l_c$  – длина намотанного гибкого трубопровода, м.

Тогда с учетом формул (8) и (9) получим:

$$\Delta h_T = \frac{1,47 l_c Q^2}{d_p^5 g \left( 9,49 + 0,78 \ln \frac{Q}{d_p} \right)^2 \left( \frac{R_6 + \frac{1}{2} k_1 d_n m}{d_p} \right)^{0,16}}. \quad (11)$$

Формула (11) позволяет рассчитать гидравлические потери в конце цикла удобрительного орошения (при полностью намотанном гибком трубопроводе гидротранспортной системы). В действительности общие гидравлические потери будут состоять из потерь в намотанном трубопроводе и потерь на прямолинейном участке трубопровода:

$$\Delta h_{\text{общ}} = \Delta h_T + \Delta h_{\text{дл}}. \quad (12)$$

После подстановки формул (6) и (11) в (12) и преобразований получим:

$$\Delta h_{\text{общ}} = \frac{Q^2 \left( 1,47 l_c + 0,73 l_p \left( \frac{2R_6 + k_1 d_n m}{d_p} \right)^{0,16} \right)}{d_p^5 g \left( 9,49 + 0,78 \ln \frac{Q}{d_p} \right)^2 \left( \frac{R_6 + \frac{1}{2} k_1 d_n m}{d_p} \right)^{0,16}}. \quad (13)$$

Далее определим потери напора в приводе гидротранспортной системы [8, 9]:

$$\Delta h_{\text{п}} = \xi_{\text{др}} \xi_{\text{п}} \frac{8Q^2}{0,25 \pi^2 d_p^4}, \quad (14)$$

где  $\xi_{\text{др}}$  – коэффициент, учитывающий степень закрытия дросселя;  $\xi_{\text{п}}$  – коэффициент гидравлического сопротивления в гидротурбине,  $\text{с}^2/\text{м}$ .

Как правило, в мобильных дождевальных установках регулирование частоты вращения барабана достигается посредством дросселирования потока жидкости перед гидротурбиной, что уменьшает расход через нее и, соответственно, ее обороты. В позиционных дождевальных машинах для привода гидротранспортной системы чаще всего используется электропривод. Следовательно, расчет гидродинамических параметров водопроводящей системы будем вести применительно к первому варианту (гидромеханический привод), поскольку обоснованные гидравлические параметры обеспечат работоспособность и второго варианта (гидротранспортная система с электроприводом).

Теперь перейдем к определению гидравлических потерь в удобрительном оборудовании  $\Delta h_y$ . В соответствии с принятой конструктивно-технологической схемой водопроводящая система оборудования представляет собой систему трубопроводов, гидравлически связывающих основные узлы оборудования. Ввод оросительной воды обеспечивается двумя трубопроводами, присоединенными к насосам-дозаторам (см. рис. 2, участок 4–5).

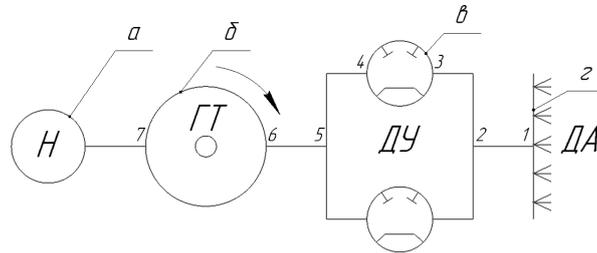


Рис. 2. Схема мобильной удобрительной системы: *a* – насос (гидрант закрытой оросительной сети); *б* – гидротранспортная система; *в* – дозирующее устройство (насос-дозатор); *г* – дождеобразующее устройство (дождевальная установка); 1–7 – участки

Следовательно, в общем виде гидравлические потери оборудования можно определить по формуле

$$\Delta h_y = \Delta h_{ly} + n\Delta h_d, \quad (15)$$

где  $\Delta h_{ly}$  – общие потери напора в системе трубопроводов удобрительного оборудования, м;  $n$  – количество дозирующих устройств в удобрительном оборудовании;  $\Delta h_d$  – потери напора в дозирующем устройстве, м.

Таким образом, определены все составляющие, входящие в выражение (2).

Рассмотренные выше схемы удобрительного оборудования (см. рис. 1) могут использоваться с различными конструкциями дозирующих устройств как поршневого, так и эжекционного типов. Ниже остановимся на параметрах схемы с эжекционным устройством.

Потери в удобрительной системе эжекционного типа можно выразить зависимостью

$$\Delta h_{yэ} = \frac{(H_э + H_п)Q_y + 2H_пQ_{гэ}\eta}{Q_y + Q_{гэ}\eta}, \quad (16)$$

где  $H_э$  – напор на входе в эжектор, м;  $H_п$  – напор подсосываемой жидкости, м;  $Q_y$  – расход маточного раствора удобрений, м<sup>3</sup>/ч;  $Q_{гэ}$  – расход поливной воды в проточной части эжектора, м<sup>3</sup>/ч;  $\eta$  – КПД эжектора.

Допустимые потери напора при  $H_p = H$  можно определить из неравенства

$$\Delta h_{доп} = \Delta h_{yэ} + \Delta h_п + \Delta h_т \leq H_p - H_0, \quad (17)$$

где  $H_p$  – рабочий напор, м;

или с учетом формул (11), (14), (16) после преобразований:

$$H_p \geq H_0 + \frac{(H_э + H_п)Q_y + 2H_пQ_{гэ}\eta}{Q_y + Q_{гэ}\eta} + \frac{Q^2 \left( 3,242d_p\xi_{др}\xi_{п} + \frac{1,472l_c}{g \left( \frac{0,5k_1d_пm + R_б}{d_p} \right)^{0,156}} \cdot \left( 9,489 + 0,782 \ln \frac{Q}{d_p} \right)^2 \right)}{d_p^5}. \quad (18)$$

Отметим, что допустимые потери напора здесь определены для намотанного трубопровода гидротранспортной системы (в конце цикла удобрительного орошения), так как последняя будет иметь большее гидравлическое сопротивление.

Таким образом, выражение (18) связывает гидравлические параметры удобрительного оборудования эжекционного типа с конструктивно-технологическими параметрами гидротранспортной системы и дождевальной машины.

### Заключение

Для эффективной эксплуатации удобрительного оборудования наиболее приемлема схема в виде передвижного модуля, который может применяться как с поршневыми, так и с эжекционными типами дозирующих устройств.

Получены математические выражения, позволяющие рассчитать требуемый напор на входе в водопроводящую систему и установить допустимые гидравлические и конструктивные параметры гидротранспортной системы и удобрительного оборудования, при которых обеспечивается стабильное выполнение технологического процесса удобрительного орошения в соответствии с агротехническими требованиями.

### Список использованных источников

1. Дашков, В. Н. Обоснование оптимальных выходных гидравлических параметров водопроводящей системы барабанно-шланговой дождевальной установки / В. Н. Дашков, А. Н. Басаревский // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграрн. наук. – 2007. – № 3. – С. 93–100.
2. Квитковский, Ю. В. Гидравлическое сопротивление плавно изогнутых труб / Ю. В. Квитковский // Сб. науч. тр. / Московский ин-т инженерного железнодорожного транспорта. – М., 1963. – Вып. 176. – С. 61–63.
3. Дашков, В. Н. Определение гидравлических потерь в водопроводящей системе барабанно-шланговой дождевальной установки / В. Н. Дашков, Н. Ф. Капустин, А. Н. Басаревский // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2008. – № 4. – С. 120–124.
4. Аронов, И. З. О движении жидкости в изогнутых трубах-змеевиках / И. З. Аронов // Изв. высш. учеб. заведений. Энергетика. – 1961. – № 3. – С. 65–74.
5. Аронов, И. З. О гидродинамическом подобии при движении жидкости в изогнутых трубах-змеевиках / И. З. Аронов // Изв. высш. учеб. заведений. Энергетика. – 1962. – № 4. – С. 130–132.
6. Савушкин, С. С. К вопросу о дополнительном сопротивлении, возникающем при движении жидкости в полиэтиленовом шланге, навитом на барабан / С. С. Савушкин, С. Б. Хроль, Т. М. Некрасова // Основные направления технического прогресса в области механизации и техники полива : сб. науч. тр. / ВНИИГиМ. – М., 1983. – С. 134–140.
7. Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия : ГОСТ 18599-2001. – Введ. 01.01.03. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2003. – 21 с.
8. Vromandt, G. Enroulers et automatismes / G. Vromandt // Cultivar 2000. – 1987. – Т. 216. – Р. 135–141.
9. Шерстюк, А. Н. Радиально-осевые турбины малой мощности / А. Н. Шерстюк, А. Е. Зарянкин. – М. : Машиностроение, 1976. – 208 с.

**В. Б. Ловкис<sup>1</sup>, В. А. Колос<sup>2</sup>, В. А. Ружьев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: vlovkis@tut.by

<sup>2</sup>ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»  
г. Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup>ФГБОУ «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

## **К ВОПРОСУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА**

*Аннотация.* В статье представлены методика и показатели, позволяющие дать исчерпывающую характеристику энергетической эффективности производства продукции растениеводства с использованием менее энергоемкого варианта технологии.

*Ключевые слова:* энергоемкость, энергозатраты, технология, ресурсы, урожайность, критерий, модель, потенциал энергосбережения.

**V. B. Lovkis<sup>1</sup>, V. A. Kolos<sup>2</sup>, V. A. Rouzhev<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: vlovkis@tut.by

<sup>2</sup>FSBSI "Federal Scientific Agroengineering Center VIM"  
Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>FSBEI "Saint Petersburg State Agrarian University"  
Saint Petersburg, Russian Federation

## **ON THE ISSUE OF ENERGY ASSESSMENT OF TECHNOLOGY EFFICIENCY CROP PRODUCTION**

*Abstract.* A methodology and indicators are presented that make it possible to give an exhaustive characteristic of the energy efficiency of crop production using a less energy-intensive technology option.

*Keywords:* energy intensity, energy consumption, technology, resources, yield, criterion, model, energy saving potential.

### **Введение**

Состояние отрасли растениеводства в Республике Беларусь определяет необходимость всестороннего совершенствования применяемых технологий и комплексов машин, обеспечивающих снижение материально-энергетических затрат. Глубокая проработка возможных путей снижения ресурсопотребления позволит значительно повысить эффективность как технологии в целом, так и отдельных технологических операций.

Для определения уровня энергетических затрат при производстве продукции растениеводства необходимо:

- провести дифференцированную оценку энергоемкости базового варианта с фиксацией составляющих прямых, овеществленных и совокупных энергозатрат;
- выполнить анализ структуры энергозатрат. Сначала исследуются наиболее энергоемкие составляющие затрат с целью оценки возможностей их снижения за счет применения различных энергосберегающих технических и технологических мероприятий, затем аналогичным образом рассматриваются остальные виды затрат. В первую очередь следует добиваться уменьшения

расхода топлива, исключать или заменять компоненты производства, отрицательно влияющие на его экологическую чистоту;

– разработать новый (ресурсоэнергосберегающий) вариант, в котором учтены конкретные способы сокращения энергозатрат по каждой составляющей и определены их новые количественные значения;

– провести оценку энергоемкости перспективного варианта;

– проанализировать эффективность предлагаемой разработки с помощью интегрального и частных коэффициентов энергетических затрат.

Основными направлениями снижения ресурсопотребления при производстве продукции растениеводства являются: повышение урожайности, унификация технологий (сокращение перечня операций), повышение технического уровня машин (производительности, надежности, снижение энергозатрат и материалоемкости), универсализация машин (сокращение их номенклатуры), специализация производства.

### Основная часть

Применяемые в настоящее время стоимостные методы оценки технологий производства сельскохозяйственных культур в ряде случаев неприемлемы, поскольку связаны с показателями, имеющими существенные колебания в связи с политикой ценообразования, и не позволяют определить уровень необходимых затрат энергии на производство продукции.

Выбор и обоснование энергосберегающего варианта технологии и соответствующего комплекса технических средств применительно к конкретным природно-производственным условиям позволят значительно сократить затраты материально-энергетических ресурсов и повысить эффективность их использования.

Допуская аналогию между структурой технологических операций производства продукции растениеводства и структурой больших систем, данный процесс можно рассматривать как сложную многопараметрическую систему, в которой критериальные свойства (информационные параметры) производственного процесса являются ее системообразующими элементами. Основой и стратегией таких систем служит системный анализ [1], позволяющий комплексно рассматривать все этапы их функционирования. При этом в качестве метода исследования используется математическое моделирование с применением вычислительной техники, а основным принципом является декомпозиция сложной системы на более простые подсистемы (принцип иерархии системы) [2]. Тогда формальная процедура комплексной оценки эффективности технологий производства продукции растениеводства (принятия решения или выбора оптимального варианта) на основе системного подхода может быть сведена к следующей математической модели [3]:

$$M_0 = \langle D_0; Y; F \rangle, \quad (1)$$

где  $D_0$  – описание цели оптимизации (интегральный критерий эффективности технологии производства продукции растениеводства);  $Y$  – системообразующие элементы (множество критериальных свойств производственного процесса;  $Y = y_1; \dots; y_n$ );  $F$  – функция выбора отношений между системообразующими элементами (метод классификации критериальных свойств производственного процесса с учетом  $D_0$  и  $Y$ ).

Для системной оценки эффективности технологий в соответствии с моделью (1) и обоснования выбора частных и обобщенных критериев этой оценки необходимо сначала разработать систему группировок свойств (параметров) технологии производства продукции растениеводства (ТППР) по установленному признаку, т. е. установить взаимосвязь критериальных свойств по некоторой заданной системе правил или принципов (методов классификации). С этой целью используют различные типы критериальных структур в зависимости от известности (определенности) взаимосвязи критериальных свойств.

В случае взаимосвязи критериальных свойств, имеющей четко выраженную многоуровневую структуру, применяют иерархическую структуру [4]. Такая критериальная структура классификации свойств характерна и для ТППР. При этом для каждого свойства ТППР введем иерархи-

ческое (многоуровневое) упорядоченное отношение степеней подробности его описания. На самом верхнем уровне находятся простые (дифференциальные) свойства, а свойства, находящиеся на нижестоящих  $(j - 1)$ -уровнях, определяются свойствами  $j$ -го уровня. Одновременный учет на нижестоящих уровнях групп агрегированных свойств, состоящих из совокупности свойств, находящихся на вышестоящем уровне с более подробной степенью их детализации, позволяет получить новое, более «качественное» свойство [5].

Таким образом, иерархическая классификация критериальных свойств ТППР может быть представлена в виде системы с иерархической структурой, состоящей из  $h$ -уровней [6]. При этом учтем следующие замечания.

1. Каждый уровень иерархии отражает степень сложности  $h$  (или подробности) описания свойств  $Y$ ;  $Y^h$  означает свойства  $Y$  в  $h$ -й степени сложности;
2. Свойства  $(j - 1)$ -уровня могут быть представлены в виде совокупности свойств более высокого  $j$ -го уровня.

Рассмотрим критериальную структуру ТППР более подробно на примере обобщенной (гипотетической) технологии, учитывающей все операции и задействованные в них машины и технические средства механизации. Иерархическая схема классификации критериальных свойств технологии представлена на рисунке. В основу построения этой схемы положен принцип энергетической оценки эффективности ТППР, поскольку экономия энергетических ресурсов, сырья и материалов в ограниченных условиях Республики Беларусь является актуальной задачей сельскохозяйственного производства.

В соответствии с вышеизложенным подходом и структурной схемой (см. рисунок) эффективность ТППР (уровень 0) характеризуется интегральным комплексным критерием  $D_0$ , в качестве которого мы приняли коэффициент энергозатрат  $K_{\varepsilon_0}$ .  $D_0$  определяется агрегированными группами (комплексами) свойств (уровень 1): коэффициентами энергозатрат прямых  $K_{\varepsilon_{1пр}}$  ...  $K_{\varepsilon_{1сп}}$  и овещественных  $K_{\varepsilon_{1ов}}$  ...  $K_{\varepsilon_{1сов}}$ . Эти параметры являются выходными свойствами уровня 1, который определяет эффективность ТППР с учетом свойств, проявляемых на различных этапах:

$D_1 = \varepsilon_{п.п_1}$  – совокупные энергозатраты на этапе подготовки почвы ( $D_{11} = \varepsilon_{п_1}$  и  $D_{12} = \varepsilon_{п_2}$  – совокупные энергозатраты на этапе основной и предпосевной подготовки почвы соответственно);

$D_2 = \varepsilon_{в.у}$  – совокупные энергозатраты на этапе внесения удобрений;

$D_3 = \varepsilon_{п.к}$  – совокупные энергозатраты на этапе посева (посадки);

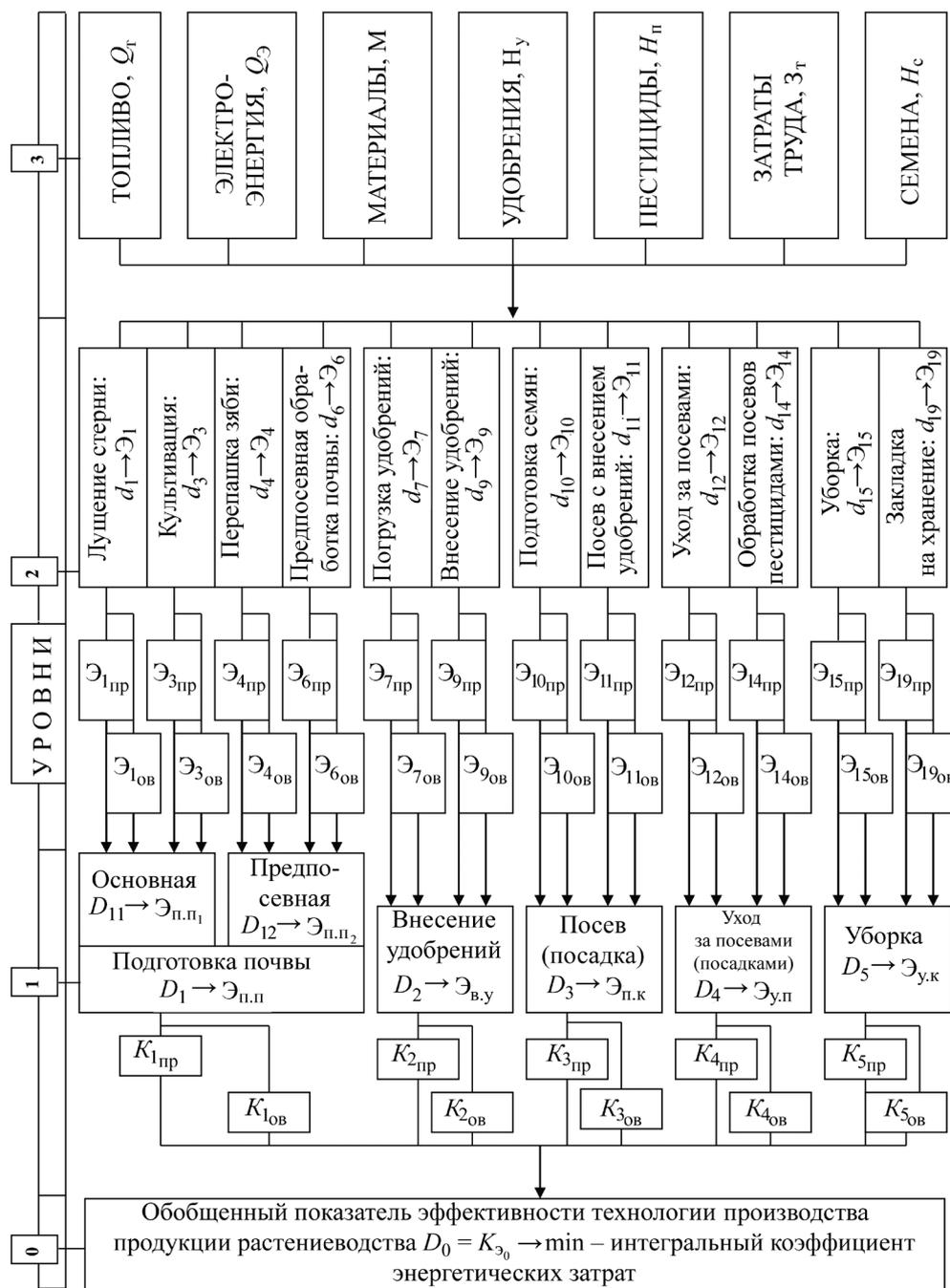
$D_4 = \varepsilon_{у.п}$  – совокупные энергозатраты на этапе ухода за посевами (посадками);

$D_5 = \varepsilon_{у.к}$  – совокупные энергозатраты на этапе уборки и послеуборочной обработки сельскохозяйственной культуры.

Подсистемные этапные критерии  $D_1 \dots D_5$  определяются соответствующими комплексами свойств  $\varepsilon_{1пр} \dots \varepsilon_{19пр}$  и  $\varepsilon_{1ов} \dots \varepsilon_{19ов}$ , являющихся выходными свойствами уровня 2 и проявляемых на различных технологических операциях, которые составляют конкретные этапы ТППР – от вспашки почвы, характеризуемой критерием  $d_1$ , до закладки на хранение, характеризуемой критерием  $d_{19}$ , включительно. В качестве операционных критериев  $d_1 \dots d_{19}$  мы выбрали совокупные энергозатраты  $\varepsilon_1 \dots \varepsilon_{19}$ , состоящие из прямых  $\varepsilon_{1пр} \dots \varepsilon_{19пр}$  и овещественных  $\varepsilon_{1ов} \dots \varepsilon_{19ов}$  затрат, соответствующих технологических операций (см. рисунок).

На уровне 3 агрегированные группы свойств описываются с большей степенью детализации в виде перечня простых свойств: расхода топлива  $Q_T$ , потребления электроэнергии  $Q_э$ , нормы внесения удобрений  $H_y$ , расхода пестицидов  $H_p$ , материалоемкости  $M$ , затрат труда  $Z_T$ , расхода семян  $H_c$ . Параметры  $Q_T \dots H_c$  выбраны нами в качестве частных критериев эффективности ТППР, обуславливающих по принадлежности все нижестоящие свойства уровней 2...0. На уровне 3 иерархии находятся показатели простейших свойств, определяемые с помощью различных методов и имеющие в общем случае различную размерность. Эти показатели определяют частные критерии уровня 2.

Установив иерархию критериальных свойств ТППР, необходимо осуществить комплексную оценку эффективности технологии с учетом всех подсистем структуры его функционирования. В соответствии со структурной схемой (см. рисунок) эффективность ТППР полностью определяется



Иерархическая структурная схема определения энергоёмкости производства продукции растениеводства

энергетическими показателями (уровни 0...2), обусловленными частными критериями  $Q_t \dots H_c$  (уровень 3). Поэтому для ее количественной оценки на уровнях 0, 1 и 2 необходимо построить соответствующие им математические модели, устанавливающие детерминированные иерархические связи нижестоящих критериальных свойств с вышестоящими. Построение этих моделей в явном виде предполагает предварительное определение входящих в них неизвестных показателей энергозатрат:  $Q_t \dots H_c, \mathcal{E}_{1пр} \dots \mathcal{E}_{19пр}, \mathcal{E}_{1ов} \dots \mathcal{E}_{19ов}, K_{1пр} \dots K_{5пр}, K_{1ов} \dots K_{5ов}$ . На энергоёмкость производства сельскохозяйственных культур существенное влияние оказывает урожайность, поскольку ее рост связан с увеличением объемов внесения удобрений, уборочных и транспортных работ. К основным технологическим операциям, которые влияют на потребность в материально-энергетических ресурсах при изменении урожайности, относятся погрузка, транспортировка

и внесение минеральных и органических удобрений, уборка и транспортировка продукции, операции по послеуборочной обработке и закладке продукции на хранение [7].

### Заключение

Таким образом, энергетическая оценка, адекватная современным интенсивным агроэкосистемам с их высокими показателями энерговооруженности, энергообеспеченности и энергоемкости, мобилизует на экономию энергетических затрат, поиск энергосберегающих вариантов технологий, повышение их энергетической эффективности. Энергетическую оценку следует рассматривать в качестве мощного, дополнительного аналитического приема, существенно увеличивающего возможности экономического анализа, который раскрывает долю составляющих материальных затрат, наиболее полно характеризует научно-технический уровень производства и его возможности с учетом масштабного фактора.

Большие перспективы применения энергетического анализа открываются при решении оптимизационных задач, разработке ресурсо- и энергосберегающих технологий, технологических комплексов машин и других показателей эффективности сельскохозяйственного производства.

### Список использованных источников

1. Кафаров, В. В. Системный анализ процессов химической технологии. Основы стратегии / В. А. Колос, В. Б. Ловкис. – М. : Наука, 1986. – Т. 1–5.
2. Чулок, А. И. Системный анализ функционирования смазочно-охлаждающих жидкостей в условиях гибких производственных систем / А. И. Чулок. – М., 1986. – 48 с. : ил.
3. Ловкис, В. Б. Модель оптимизации технологии производства картофеля / В. Б. Ловкис, В. А. Колос // Научно-технический прогресс в инженерной сфере АПК России : тез. докл. – М., 1995. – С. 58–63.
4. Березовский, В. А. Бинарные отношения в многокритериальной оптимизации / В. А. Березовский, В. И. Борзенко, Л. М. Кемпнер. – М. : Наука, 1981. – 149 с.
5. Чулок, А. И. Комплексно-структурный метод классификации свойств и оценки качества СОЖ на основе системного подхода / А. И. Чулок // Эффективность и перспективы применения инструмента их сверхтвердых сплавов и керамики. – М. : ВНИИинструмент, 1985. – С. 104–116.
6. Колос, В. А. О критериях энергетической эффективности сельскохозяйственных технологий / В. А. Колос, В. Б. Ловкис // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2008. – Т. 42. – С. 13–19.
7. Методика расчета и минимизации энергоемкости продукции растениеводства / В. А. Колос, Ю. Н. Сапьян, В. Н. Дашков, В. Б. Ловкис // Агропанорама. – 2007. – № 4. – С. 10–15.

**Л. Я. Степук, П. П. Бегун**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: behun@mail.ru*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИЕМОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ АГРЕГАТА АНМ-10 ДЛЯ УДАЛЕНИЯ НАВОЗА ИЗ ПОМЕЩЕНИЙ МОЛОЧНО-ТОВАРНЫХ ФЕРМ И КОМПЛЕКСОВ**

*Аннотация.* В статье представлена целесообразность своевременной уборки навоза на молочно-товарных фермах и комплексах для поддержания комфортного микроклимата внутри помещений, способствующего увеличению продуктивности скота. Разработан новый агрегат для удаления бесподстильного навоза из открытых навозных каналов с беспривязным содержанием животных, способный чисто подбирать навоз, улучшая тем самым фитосанитарную обстановку внутри и вокруг животноводческих помещений. Описано устройство агрегата и его работа. Приведены техническая характеристика, результаты приемочных испытаний и экономической эффективности использования агрегата АНМ-10 в сравнении с существующими аналогами и способами уборки навоза.

*Ключевые слова:* уборка навоза, дельта-скреперное оборудование, бесподстильный навоз, агрегат для удаления навоза, скрепер, бульдозер, вертикальный элеватор.

**L. Y. Stepuk, P. P. Behun**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: behun@mail.ru*

## **RESULTS OF ACCEPTANCE TESTS OF ANM-10 UNIT FOR REMOVAL OF MANURE FROM THE ROOMS OF DAIRY FARMS AND COMPLEXES**

*Abstract.* The article presents the feasibility of timely cleaning of manure on dairy farms and complexes to maintain a comfortable indoor microclimate, which contributes to an increase in livestock productivity. A new unit has been developed for removing litterless manure from open manure canals with loose housing of animals, capable of picking up manure cleanly, thereby improving the phyto-sanitary situation in and around livestock buildings. The device and its operation are described. The technical characteristics, the results of acceptance tests and the economic efficiency of using the ANM-10 unit in comparison with existing analogues and methods of manure removal are presented.

*Keywords:* manure cleaning, delta scraper equipment, bedless manure, manure removal unit, scraper, bulldozer, vertical elevator.

### **Введение**

Удаление навоза из животноводческих помещений является одним из самых сложных процессов во всей технологической цепочке получения продукции. На его долю приходится более 30 % общих затрат на производство молока и говядины.

В то же время общеизвестно, что молоко является одним из важнейших социально значимых продуктов для населения нашей республики. Средства от реализации данной продукции регулярно пополняют счета сельскохозяйственных предприятий. Молоко и молокопродукты в значительных объемах экспортируются в другие страны, что дает возможность субъектам хозяйствования укреплять финансовое и экономическое положение. Однако не все сельскохозяйственные предприятия молочного направления достигли высоких показателей.

Между тем большое молоко можно получить, только обеспечив надлежащие условия содержания коров и полноценное их кормление. На первое место в получении большого молока высо-

кого качества нами поставлены условия содержания животных осознанно. Для доказательства объективности, т. е. справедливости такого подхода, приведем следующую информацию.

В оптимальных условиях содержания не только коров, но и практически всех видов и половозрастных групп животных (температура – 20 °С, влажность воздуха – 65–75 %, свежий воздух, допустимая загазованность по аммиаку – 20 мг/м<sup>3</sup>, по углекислому газу – 0,25 %) энергия кормов суточного рациона распределяется, обуславливая коэффициент полезного действия, равный 0,25–0,30. Таким образом:

- теплотери в зимних условиях в окружающую среду составляют 34–64 %;
- на нагрев потребляемых кормов уходит 5 %;
- на нагрев потребляемой воды – 3 %;
- на нагрев потребляемого воздуха – 2 %;
- на механическую работу – 1 %;
- в навоз – до 25 % энергии кормов (20 % неувоенная энергия, 5 % механические потери).

Получается, что в теплоту превращается от 45 % энергии кормов при оптимальной температуре воздуха и до 75 % – в холодных сырых животноводческих помещениях.

Значит, на продуктивность остается 30 % энергии кормов в оптимальных условиях содержания и практически не остается энергии на продуктивность в холодных помещениях даже при 100%-й обеспеченности суточного рациона. В оптимальных температурных условиях расход кормовых единиц на производство 1 кг мяса в среднем на откорме крупного рогатого скота составляет 7 к. ед. и на 1 л молока – 1,1 к. ед. Согласно данным РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», в настоящее время в среднем по республике расходуется 10,0–12,0 и 1,3–1,5 кг соответственно [1].

Кроме того, что в плохих условиях содержания низкая продуктивность животных и высокие затраты кормов, животноводство несет огромные потери из-за болезней и падежа молодняка, носящих простудно-легочный характер. Приведенные факты убедительно показывают необходимость решения проблемы микроклимата в животноводческих помещениях. Однако эффективность самой совершенной системы микроклимата не будет ожидаемой, если системы, технологии и средства механизации накопления, удаления навоза из помещений будут не эффективны, не совершенны.

Что касается качества молока, то на надлежащем уровне его можно получить от коров при условии их постоянного нахождения в чистых помещениях, на выгульных площадках без навоза. Если корова отдыхала на полу с навозом, то отмыть вымя перед доением, до исключения попадания частиц в молоко, снижающих его сортность, проблематично.

Не удаленный своевременно и качественно навоз из навозных каналов является источником загазованности помещения сероводородом, аммиаком, углекислым газом и создания в нем повышенной влажности. Это влияет на обмен веществ, продуктивность животных и их сопротивляемость заболеваниям.



Рис. 1. Бульдозер для удаления навоза



Рис. 2. Вид на бульдозерное удаление навоза

При этом, по данным областных комитетов по сельскому хозяйству, в целом по нашей стране насчитывается более 500 молочно-товарных ферм и комплексов с удалением из помещений полужидкого навоза дельта-скреперным оборудованием и более 1200 – с бульдозерным удалением.

Применение бульдозеров ухудшает санитарно-эпидемиологическое состояние, ведет к загрязнению территории фермы и окружающей среды, так как в процессе транспортирования из животноводческого помещения к навозосборнику навоз размазывается по площадке, находящейся за торцевой частью коровника. Кроме того, за колесами трактора навоз переносится по территории фермы из одного помещения для содержания животных в другое (рис. 1, 2), что требует привлечения дополнительной рабочей силы для ручной доочистки каналов и прилегающей к помещению территории. По этой причине не представляется возможным считать бульдозерное оборудование перспективным.

### Основная часть

В РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан многофункциональный агрегат для удаления навоза из помещений молочно-товарных ферм и комплексов, способный не только чисто подбирать навоз с открытых навозных каналов, но и отвозить его к местам временного накопления и хранения.

**Устройство и работа агрегата.** На рис. 3 показана технологическая схема многофункционального агрегата для удаления навоза из помещений молочно-товарных ферм и комплексов. Он состоит из следующих основных частей: шасси 1, кузова 2, скрепер-элеватора 3, сннца 4, пульта 7 управления приводами рабочих органов агрегата.

Шасси агрегата представляет собой двухосную балансирующую тележку. Кузов цельнометаллический, сварной; в нижней части – полуцилиндрический, с вертикальными бортами, внутри него помещен выгрузной ленточный шнек. Задняя стенка 8 кузова открывается с помощью гидроцилиндров 9. Сверху кузов закрывается сеткой, что обеспечивает безопасность при техническом обслуживании агрегата. Слева на наружной части кузова, по ходу движения агрегата, располагается лестница 11.

На снице 4 агрегата помещены масляный бак 6 и пульт 7 управления приводами рабочих органов. Сбоку сннца 4 установлена опора 10. В соответствии с рис. 4 скрепер-элеватор состоит из кожуха, разделенного на два канала – подающий А и возвратный Б, внутри которых перемещаются две роликовые цепи с планками, опираясь на подшипниковые опоры ведущего 3 и ведомого 4 валов. В верхней части кожуха элеватора закреплены специальные направляющие 5 и 6

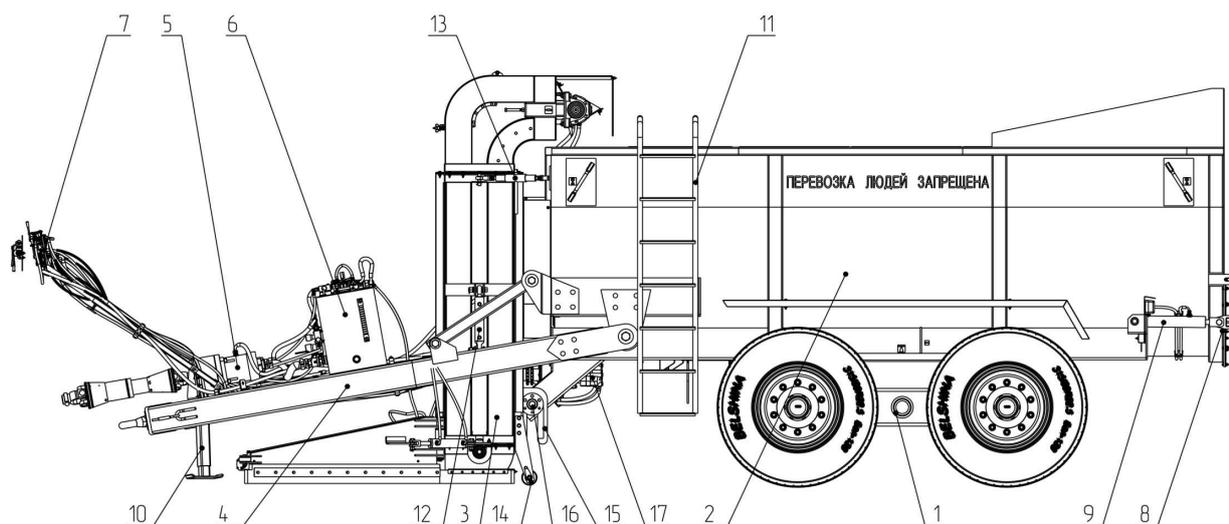


Рис. 3. Технологическая схема агрегата: 1 – шасси; 2 – кузов; 3 – скрепер-элеватор; 4 – сница; 5 – гидронасос; 6 – масляный бак; 7 – пульт управления; 8 – борт задний; 9 – гидроцилиндры закрытия-открытия борта заднего; 10 – опора; 11 – лестница; 12 – гидроцилиндр подъема элеватора; 13 – талрепы; 14 – опора катковая; 15 – кронштейн; 16 – ось; 17 – гидромотор привода шнека выгрузного

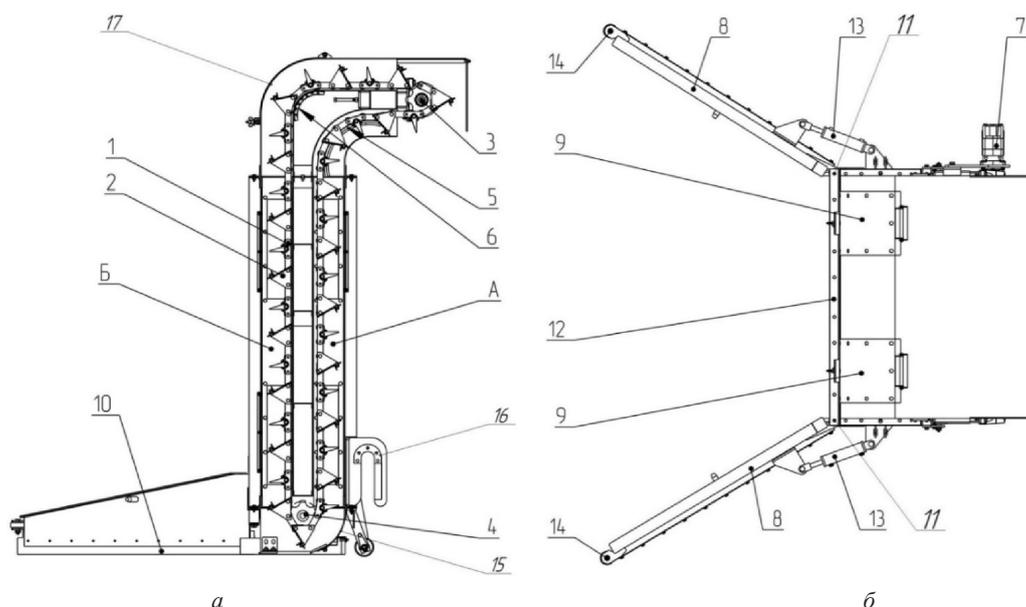


Рис. 4. Скрепер-элеватор в разрезе (а) и вид сверху (б): А – подающий канал; Б – возвратный канал; 1 – цепь роликотая; 2 – планки; 3 – ведущий вал; 4 – ведомый вал; 5 – направляющие подающей ветви; 6 – направляющие возвратной ветви; 7 – гидромотор; 8 – отвал; 9 – крышки откидные; 10 – пластины подчищающие; 11 – оси; 12 – кожух; 13 – гидроцилиндр; 14 – упоры роликотые; 15 – подборщик; 16 – кронштейн специальный; 17 – бокс выгрузной

для опоры роликов цепей подающей и возвратной ветвей соответственно. Благодаря этому скребки в верхней части меняют направление движения из вертикального в горизонтальное, и тем самым обеспечивается освобождение их от несущего материала с подачей его в кузов. Привод элеватора осуществляется гидромотором 7.

Элеватор помещается между продольными лонжеронами сниси и опирается на специальную ось двумя кронштейнами 16 (см. рис. 3, 4). В верхней части элеватор соединяется с передней частью кузова посредством талрепов, с помощью которых регулируется наклон его в ту или иную сторону от вертикали, а следовательно, и эквидистантность отвалов скрепера относительно дна канала.

Скрепер агрегата состоит из двух пассивных отвалов 8 (см. рис. 4), которые соединены посредством вертикальных осей 11 с остовом скрепера, жестко прикрепленным к нижней части элеватора. Рабочая ширина захвата устанавливается соответственно ширине навозного канала с помощью гидроцилиндров 13.

Технологический процесс работы многофункционального агрегата заключается в следующем. Заехав через въездные ворота в помещение, механизатор останавливается в начале навозного канала, разводит отвалы 8 с помощью гидроцилиндров 13 до соприкосновения с его стенками и опускает загрузочное устройство вместе со скрепером до соприкосновения с дном канала. Далее механизатор включает загрузочный элеватор и соответствующую передачу трактора, и агрегат начинает движение вдоль канала. Слой навоза, находящийся в створе пассивных отвалов, сгребается со дна канала, сужается и одновременно увеличиваясь по высоте подается к загрузочному отверстию подающей ветви цепочно-планчатого элеватора, где захватывается его планками и в соответствии с рис. 1 и 2 по той же ветви транспортируется в кузов 2 агрегата. После заполнения кузова навозом выключаются все приводы рабочих органов, складываются отвалы скрепера и загрузочное устройство переводят в транспортное положение. Далее агрегат переезжает к навозохранилищу, открывает задний борт, включает привод донного винтового конвейера и выгружает содержимое кузова в хранилище.

**Результаты испытаний.** Приемочные испытания агрегата АНМ-10 (рис. 5) проведены ГУ «Белорусская МИС» на молочно-товарной ферме «Дещанка» ПРУП «Экспериментальная база имени Котовского» Узденского района Минской области. В процессе испытаний были произведены первичная экспертиза и оценка соответствия опытного образца агрегата требованиям техни-



а



б

Рис. 5. Агрегат АНМ-10: а – в работе; б – в транспортном положении

ческого задания, а также определены функциональные и эксплуатационно-технологические показатели, показатели надежности [2].

Техническая характеристика АНМ-10:

Тип агрегата .....	Полуприцепной
Вместимость кузова, м <sup>3</sup> .....	10,2
Грузоподъемность, т. ....	≤10
Рабочая ширина захвата, м .....	2,2–4,1
Длина отвалов, мм .....	1 640
Ширина приемной части элеватора, мм .....	1 340
Скорость движения цепи скрепер-элеватора, м/с .....	0,3–0,8
Частота вращения выгрузного шнека, мин <sup>-1</sup> .....	30–70
Транспортная скорость, км/ч .....	25
Рабочая скорость, км/ч .....	2–5
Способ выгрузки .....	Через задний борт шнеком выгрузным
Габаритные размеры, мм, не более:	
– в транспортном положении:	
ширина .....	2 600
высота .....	3 350
длина .....	8 250
– в рабочем положении:	
ширина .....	4 100
высота .....	2 800
длина .....	8 250
Масса, кг .....	5 560
Обслуживающий персонал	
(тракторист-машинист), чел. ....	1

За время проведения приемочных испытаний опытного образца агрегата АНМ-10 в ПРУП «Экспериментальная база имени Котовского» общая наработка составила 121,43 ч (4 250 т). Нарботку агрегата осуществляли на подборе полужидкого навоза влажностью 82,9 % в помещениях молочно-товарной фермы из навозных каналов шириной 4,07 и 3,12 м с последующей транспортировкой во временное навозохранилище, расположенное на расстоянии 920 м от последней.

Функциональные показатели агрегата АНМ-10 определяли в сравнении с отвалом коммунальным КО-2 (бульдозером) в агрегате с трактором «БЕЛАРУС-82.1» и агрегатом Honey-Vac 3125 фирмы Loeven (Канада) на молочно-товарных фермах в Республике Беларусь.

При завершении подбора бесподстилочного полужидкого навоза из открытых навозных каналов после выезда агрегата АНМ-10 из помещения молочно-товарной фермы и поднятия цепочно-планчатого элеватора на очищаемой поверхности остаток навоза составил 2,7 кг. В то время как после выезда отвала коммунального КО-2 на протяжении всего расстояния от помещения молочно-товарной фермы до временного хранилища, расположенного на расстоянии 22 м, происходило «размазывание» навоза в количестве 0,75 кг/м<sup>2</sup>, или 62,7 кг (см. рис. 2).

**Экономическая эффективность.** Для подтверждения экономической эффективности разработанного агрегата выполнен расчет экономических показателей в сравнении с зарубежным аналогом Honey-Vac 3125 (Канада).

Показатели сравниваемой экономической эффективности разрабатываемого и базовых агрегатов определены по ГОСТ 23728-88, ГОСТ 23729-88 и ТПК 151-2008 (02150).

На основании результатов проведенных испытаний способов удаления навоза с открытых навозных каналов выполнен расчет суммарных приведенных затрат.

В результате расчетов показателей сравнительной экономической эффективности испытываемой технологии с применением многофункционального агрегата для удаления навоза АНМ-10 в сравнении с зарубежным аналогом Honey-Vac 3125 установлено следующее:

- годовые затраты труда возросли на 7,4 %, или на 11 чел.-ч;
- наблюдается увеличение годового расхода топлива на 6,3 %, или на 55,9 кг;
- годовая экономия себестоимости механизированных работ в сравнении с Honey-Vac 3125 составляет 50 454,27 руб. и тем самым делает абсолютные капитальные вложения окупаемыми за 1,6 года;
- годовой приведенный экономический эффект составляет 105 942,78 руб.

### **Заключение**

Использование агрегата АНМ-10 позволяет обеспечить высокое качество выполнения технологического процесса – очистку навозных каналов от навоза на фермах и комплексах, и отвоз его в навозохранилища для краткосрочного или длительного хранения. Тем самым улучшается фитосанитарная обстановка как внутри помещения, так и вокруг животноводческих комплексов, что способствует повышению продуктивности коров и сортности молока.

Кроме всего прочего, использование агрегата исключает необходимость устройства поперечных навозных каналов, канализационных навозных станций, магистральных трубопроводов для перекачки навоза в основное навозохранилище, что, по данным «Белгипроагропищепром», удешевляет строительство каждого нового и реконструкцию существующего коровника примерно на 100 тыс. рублей.

Конструкторская документация на агрегат АНМ-10 передана ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш» для организации его серийного производства и поставки сельскохозяйственным предприятиям.

### **Список использованных источников**

1. Реконструкция животноводческих помещений / В. Г. Самосюк [и др.]. – Молодечно : Изд-во Лаврова, 2001. – 70 с.
2. Протокол № 038 Д 1/4-2020 приемочных испытаний агрегата для удаления навоза из помещений молочно-товарных ферм и комплексов АНМ-10 / ГУ «Белорусская МИС». – Привольный, 2020. – 114 с.

Л. В. Мисун<sup>1</sup>, В. В. Азаренко<sup>2</sup>, Ал-й Л. Мисун<sup>1</sup>, Ал-р Л. Мисун<sup>1</sup>

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: LLM\_90@mail.ru

<sup>2</sup>Президиум Национальной академии наук Беларуси

г. Минск, Беларусь

E-mail: azarenko@presidium.bas-net.by

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ОПЕРАТОРОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Аннотация.* В статье рассмотрены направления улучшения условий и повышения безопасности труда в кабине транспортного средства сельскохозяйственного назначения (ТССН): предложены инженерно-технические решения для повышения внимательности оператора ТССН, снятия состояния его утомления и усталости при управлении ТССН. Сделан расчет термического сопротивления теплозащитной одежды оператора ТССН.

*Ключевые слова:* оператор транспортного средства сельскохозяйственного назначения, технические решения, работоспособность, тепловой баланс, внимательность.

L. V. Misun<sup>1</sup>, V. V. Azarenko<sup>2</sup>, Al-i L. Misun<sup>1</sup>, Al-r L. Misun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: LLM\_90@mail.ru

<sup>2</sup>Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: azarenko@presidium.bas-net.by

## IMPROVING THE SAFETY OF AGRICULTURAL VEHICLE OPERATORS

*Abstract.* The article considers the directions of improving labor safety in the cabin of an agricultural vehicle. Technical solutions are proposed to increase safety and improve working conditions of operators of agricultural vehicles, which makes it possible to prevent the occurrence of a traumatic situation when driving an agricultural vehicle by increasing efficiency, attention, removing the state of fatigue and fatigue. The thermal resistance of the operator's thermal protective clothing is calculated.

*Keywords:* agricultural vehicle operator, technical solutions, operability, heat balance, attention.

### Введение

Улучшение условий и охраны труда, сохранение жизни и здоровья работающих были и остаются одним из приоритетных направлений социально-экономической политики любого государства. В современном сельскохозяйственном производстве к оператору транспортного средства сельскохозяйственного назначения (ТССН) предъявляются особые требования с учетом его психофизиологических возможностей (эмоциональной устойчивости, скорости реакции, внимания и др.) и условий труда [1]. Так, в период уборочных работ, оператор ТССН должен постоянно воспринимать большой объем информации о состоянии технического средства, параметрах производственной среды, анализировать поступающую информацию и принимать соответствующее решение. Весь процесс – от восприятия до совершения действия – требует определенных затрат времени, которого зачастую может не хватить. В этом случае возможны неправильные действия оператора, вызванные его утомлением, которые могут сопровождаться получением травм при управлении ТССН.

## Основная часть

При определенных условиях утомление, величину которого невозможно измерить только объемом выполненной работы, является причиной возникновения хронического заболевания или даже гибели работника. Особенно опасно при эксплуатации ТССН неожиданное ухудшение состояния здоровья оператора, приводящее к потере сознания или выражающееся в сильных болевых ощущениях. В тяжелых случаях оператор бывает не в силах даже остановить ТССН. Преобразование поступающего на физиологическом уровне сигнала ( $x$ ) в адекватное ощущение его оператором ТССН ( $L$ ) происходит согласно закону Вебера – Фехнера [2]:

$$L = \lg + \frac{x}{x_0}, \quad (1)$$

где  $x_0$  – порог восприятия сигнала анализатором оператора ТССН.

Ощущения оператором сигнала зависят от частоты сигнала, а объем ( $i$ ) и скорость ( $V$ ) информации, обрабатываемой оператором, находятся в зависимости от времени его реакции ( $T_p$ ) [2]:

$$T_p = T_0 + \frac{i}{V}, \quad (2)$$

где  $T_0$  – постоянная времени анализатора оператора ТССН.

При выполнении оператором ТССН работ имеют место «скачки» – переход от устойчивого состояния его нервной системы к неустойчивому («стрессу»), т. е. потере контроля над собой, что, конечно же, сказывается на безопасности труда. Для недопущения таких случаев огромное значение отводится организации режима труда и отдыха с учетом подготовленности и физического состояния работника. Свообразным сигналом организму о необходимости прекратить или снизить интенсивность работы служит показатель усталости оператора. Так, усталый мышечный аппарат, например, глаз, уже не обеспечивает четкого пространственного восприятия и оператор может уснуть за рулем. Для недопущения такой ситуации нами были проанализированы результаты ранее проведенных исследований [1] и предложена конструкция универсального устройства для повышения работоспособности и внимательности оператора за рулем ТССН. Предлагаемое техническое решение основано на использовании диафрагм со сквозными отверстиями в качестве очков-тренажеров и сменных прозрачных и затемненных линз соответствующих диоптрий. При этом пользователь (оператор ТССН) индивидуально производит перемещение диафрагм или линз с целью регулировки расстояния между носовыми упорами, межцентрового расстояния, а также осуществляет регулировку длины дужек за счет перемещения заушин. Это способствует использованию предлагаемого технического устройства для операторов ТССН различного возраста и комплекции. Регулярное применение диафрагм со сквозными отверстиями по 30–40 мин в день снимает излишнее напряжение глазных мышц из-за постоянной их зажатости. Также предлагаемое техническое решение позволяет через сквозные отверстия трубки, покрытые снаружи слоем наполнителя из пористого материала, подавать с возможностью дозирования к носу оператора ТССН пары раствора душицы или эфирных масел хвои, способствующие повышению работоспособности оператора, снятию состояния его утомления и усталости [3].

Для улучшения условий труда при управлении ТССН, предупреждения засыпания оператора может использоваться техническое устройство (рис. 1), содержащее последовательно соединенными источник питания, выключатель, генератор звукового сигнала и датчик угла наклона с регулятором исходного положения. При управлении ТССН, когда оператор держит голову прямо, металлический шар в датчике угла наклона находится в сферическом углублении на нижней грани корпуса датчика. Первая и вторая контактные пластины при этом не замкнуты, электрическая цепь устройства разомкнута, несмотря на включенный источник питания. При засыпании оператора ТССН его голова склоняется вперед или в сторону. В таких случаях в датчике угла наклона металлический шар выкатывается из сферического углубления и попадает на нижний конец второй контактной пластины, прижимая ее к первой аналогичной пластине. Тем самым замыкается электрическая цепь устройства и включается генератор звукового сигнала для пробуждения. Для повышения безопасности труда может использоваться и техническое устройство (рис. 2), установленное внутри рулевого колеса на оси рулевого вала.

Известно [1], что довольно часто оператор подвержен травмированию при спуске с лестницы ТССН или подъеме в кабину. Объяснением этому служит поведенческий фактор, который, в свою очередь, связан с нервным напряжением при выполнении работ, со спешкой, а также подошвой обуви. При выходе из кабины ТССН оператор обычно смотрит только на первые три ступеньки лестницы и не обращает внимания на остальные ступеньки.

Для повышения безопасности перемещения оператора ТССН по ступенькам вертикальной лестницы предлагается запатентованная нами [6] следующая ее конструкция, содержащая две боковины, соединенные между собой ступеньками, выполненными в виде горизонтальных площадок. Нижняя ступенька имеет площадку прямоугольной формы, а верхние выполнены со скосами со стороны подъема на техническое средство. На одной из верхних ступенек, имеется скос с левой стороны, на следующей ступеньке – скос с правой стороны. При подъеме по вертикальной лестнице выполненные по параболе скошенные края ступеней не препятствуют быстрому и удобному подъему и спуску, позволяя располагать ноги в наиболее удобном месте с учетом размера обуви. Имеющиеся в ступеньках отверстия предназначены для удаления грязевых отложений с их верхней поверхности для повышения безопасности труда оператора ТССН при перемещении по ступенькам лестницы (спуске и поднятии).

Для снижения тяжести травмирования большое значение имеют форма подошвы обуви оператора ТССН и ее сцепные свойства. Предлагается съемная универсальная нескользящая подошва обуви [7] (рис. 3), выполненная из износостойкого материала. Такая подошва (галоша) легко одевается на обувь разных размеров и крепится на ней прочными эластичными петлями или ремнями с замками (липучками). Абразивный слой рабочей поверхности подошвы обеспечивает

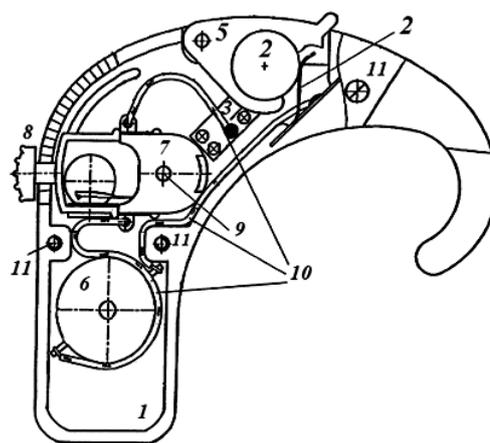


Рис. 1. Устройство для предупреждения от засыпания оператора ТССН [4]: 1 – корпус серповидной формы; 2 – источник питания; 3 – выключатель; 4 – контакт; 5 – держатель; 6 – генератор звукового сигнала; 7 – датчик угла наклона; 8 – рукоятка; 9 – поворотная ось; 10 – провод; 11 – винт

возможность многократного ее использования и безопасность оператора, например на скользких ступеньках ТССН.

Постоянное пребывание работника за рулем может сказываться на кровоснабжении в органах малого таза и приводит к нарушению работы нервной системы. Симптомы такого профессионального заболевания у операторов ТССН разнообразны: тупые либо колющие боли в районе хребта, ощущение сдавленности и неподвижности («каменная спина»), сильные боли в районе органов малого таза. Для снижения проявления этих заболеваний нами предлагается специальная запатентованная накидка-чехол на сидение ТССН [8], которая имеет ортопедические мягкие вставки для поясничной части и органов малого таза. При деформации вставки принимают форму тела оператора [8], а после снятия нагрузки восстанавливают свою исходную конфигурацию, что способствует улучшению кровоснабжения как в поясничной части спины, так и в органах малого таза.

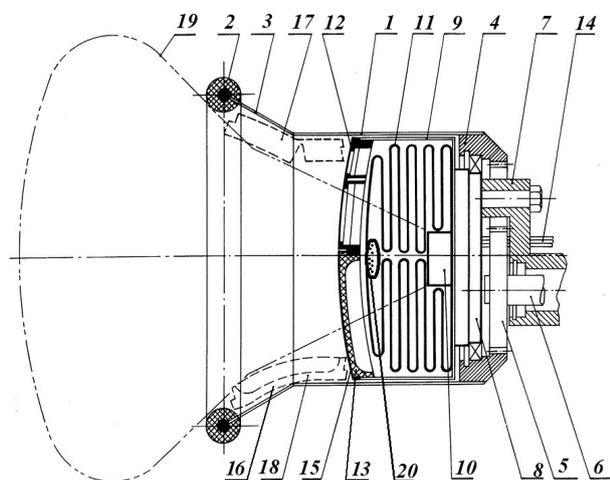


Рис. 2. Техническое устройство механизма рулевого управления ТССН [5]: 1 – корпус; 2 – рулевое колесо; 3 – спица; 4 – венец планетарного механизма; 5 – шестерня; 6 – рулевой вал; 7 – кожух рулевого вала; 8 – разъемная колодка; 9 – корпус подушки безопасности; 10 – взрывное устройство; 11 – подушка безопасности в сложенном состоянии; 12 – приборный щиток; 13 – информационные ячейки; 14 – электрическая коммутация; 15 – крышка корпуса подушки безопасности; 16, 17 – контуры разрыва; 18, 19 – контуры; 20 – капсула, заполненная тонирующим препаратом

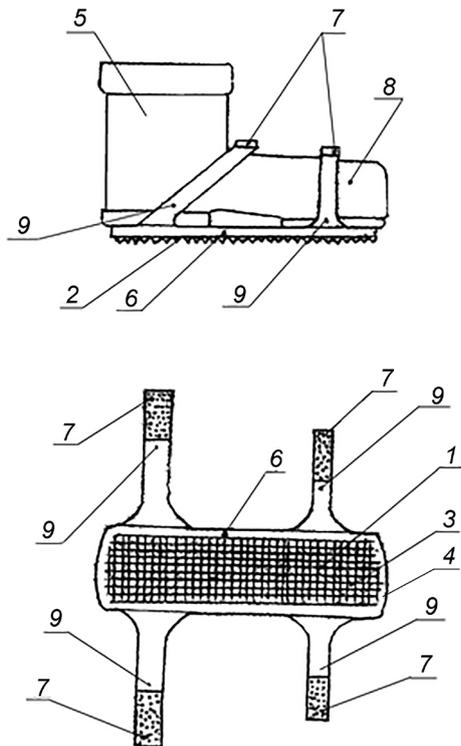


Рис. 3. Съемная универсальная нескользящая подошва обуви:  
 1 – абразивная сетка; 2 – гранулы абразива; 3 – абразивная лента;  
 4 – лента с водостойкой основой; 5 – обувь;  
 6 – пластина эластомера; 7 – липучка;  
 8 – обувной носок; 9 – эластичный ремень

связанными друг с другом стяжкой, которая, в свою очередь, неподвижно прикреплена одним концом к оттяжке, закрепленной своим свободным концом и снабженной зацепом за спинку сидения. Эффективная защита оператора ТССН от выделяемого пота в процессе работы при соприкосновении его спины со спинкой сидения достигается периодической и нетрудоемкой сменной впитывающих элементов, препятствующих перегреву организма оператора ТССН.

Для поддержания требуемого уровня микроклимата производственной среды необходимо сочетание параметров ее тепловой защиты, системы кондиционирования воздуха (вентиляции, отопления), изменяющихся условий эксплуатации ТССН и потока солнечной радиации, поглощаемой телом человека. Кроме этого, оператор ТССН во время рабочей смены периодически покидает кабину и занимается технологическими регулировками, устранением эксплуатационных отказов и прочим, т. е. энергозатраты его непостоянны. Поэтому с учетом климатических условий выполнения работы особое внимание следует уделять правильно подобранной теплозащитной одежде, которая должна соответствовать следующим основным гигиеническим требованиям: обеспечивать оптимальный пододежный микроклимат; не затруднять оператору ТССН дыхание, кровообращение и движение; не смещать и не сдавливать внутренние органы, опорно-двигательный аппарат; быть достаточно прочной, легко очищаться от внешних и внутренних загрязнений; не содержать выделяющихся в производственную среду токсичных химических примесей; иметь сравнительно небольшую массу (до 8–10 % массы тела работника). Для расчета теплозащитных свойств одежды учитывают особенности теплообмена работника, выполняющего физическую работу, поэтому значения энергозатрат, дефицита теплоты, средневзвешенной температуры тела принимаются с учетом тяжести выполняемой работы. Теплопроводность ткани одежды, характеризующая ее тепловое сопротивление ( $Q_{м.р.}$ ), рассчитывается с учетом энергии, затрачиваемой оператором ТССН на механическую работу:

Нередко работа операторов ТССН протекает при неблагоприятных температурных условиях, повышенной влажности. Информация о гигиенических особенностях условий труда в кабине ТССН, а также о неблагоприятных факторах, которые могут возникнуть при работе, позволяет принять необходимые меры по сохранению здоровья и работоспособности операторов ТССН. Так, физиологическая норма реакции тела человека позволяет организму адаптироваться к охлаждающей или нагревающей температуре воздуха, микроклимату. В случае же возникающего перегрева или переохлаждения тела, даже если это и не опасно для жизни оператора ТССН, снижается его трудоспособность [9]. Если изменяются теплофизические условия производственной среды, то система терморегуляции организма приводит в соответствие процессы теплообразования и теплоотдачи, сохраняя при этом температуру тела на одном постоянном уровне ( $36,6 \pm 0,5$ ) °С. Однако при длительном и постоянном изменении температуры производственной среды система терморегуляции организма человека не в состоянии обеспечить комфортное самочувствие и наступает дискомфорт. Задержка в испарении с поверхности тела пота сопровождается смачиванием им спинки сидения ТССН и может способствовать переохлаждению организма. Для устранения такой ситуации рекомендуется использовать техническое устройство [10], содержащее сменные гигроскопические впитывающие элементы, неподвижно закрепленные на спинке сидения в кабине ТССН двумя эластичными кольцами,

$$Q_{\text{м.р.}} = (Q_{\text{эт}} - Q_0) \eta, \quad (3)$$

где  $Q_{\text{эт}}$  – общие энергозатраты, Вт;  $Q_0$  – энергозатраты на основной обмен в организме человека, Вт;  $\eta$  – термический коэффициент полезного действия одежды.

В качестве единицы теплозащитной способности ткани (снижения плотности теплового потока) принята величина «кло» – единица теплоизоляционной характеристики одежды, соответствующая  $0,18 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$ . Одна единица «кло» обеспечивает состояние теплового комфорта, если теплообразование спокойно сидящего человека составляет примерно  $58 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , а окружающий микроклимат характеризуется температурой воздуха, равной  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ , относительной влажностью  $50 \%$  и скоростью движения воздуха  $0,1 \text{ м}/\text{с}$  [10].

Для обоснования теплозащитных свойств одежды оператора ТССН необходимо знать:

– потери теплоты на испарение влаги с поверхности тела и верхних дыхательных путей

$$Q_{\text{исп.}} = 0,2 \left[ (Q_{\text{эт}} + D / \tau_{\text{н.пр.}} - Q_{\text{м.р.}}) \right] = 0,2 \left[ (Q_{\text{эт}} + D / \tau_{\text{н.пр.}}) - (Q_{\text{эт}} - Q_0) \eta \right], \quad (4)$$

где  $D$  – дефицит теплоты в организме, Дж;  $\tau_{\text{н.пр.}}$  – время непрерывного пребывания оператора ТССН в заданных условиях, ч;  $Q_{\text{исп.}}$  – потери теплоты на нагрев вдыхаемого воздуха ( $Q_{\text{дых.}}$ ) в зависимости от температуры производственной среды;

– радиационно-конвективные потери

$$Q_{\text{р.к.}} = (Q_{\text{эт}} + D / \tau_{\text{н.пр.}}) - Q_{\text{исп.}} - Q_{\text{дых.}} - Q_{\text{м.р.}}; \quad (5)$$

– плотность теплового потока на единицу поверхности тела человека

$$q = Q_{\text{м.р.}} / S, \quad (6)$$

где  $S$  – площадь поверхности теплообмена,  $\text{м}^2$ .

Средневзвешенное значение температуры тела человека для теплоощущения «комфортно» находится по формуле [11]:

$$t_{\text{к.т.}} = 36,07 - 0,035 Q_{\text{эт}} / S. \quad (7)$$

Зная плотность теплового потока, а также значения температур для ощущения «комфортно» и производственной среды соответственно, определяются суммарное термическое сопротивление одежды ( $R_{\Sigma} = (t_{\text{к.т.}} - t_{\text{в}}) / q$ ) и снижение ее теплового сопротивления ( $C$ ) в соответствии со скоростью потока воздуха ( $V$ ) и воздухопроницаемостью (ВП) материалов верха одежды ( $C = (0,07 \text{ ВП} + 2) / V$ ).

### Заключение

Рассмотренные в статье инженерно-технические решения, направленные на улучшения условий труда и применяемые для предупреждения травмоопасной ситуации при управлении ТССН, позволяют снизить травматизм работника, повысить работоспособность и внимательность операторов, снять состояние их утомления и усталости.

С целью достижения максимального комфорта оператора ТССН проведен расчет термического сопротивления теплозащитной одежды.

### Список использованных источников

1. Организационно-технические мероприятия для повышения безопасности и улучшения условий труда операторов мобильной сельскохозяйственной техники / Л. В. Мисун [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2012. – 192 с.
2. Мероприятия по обеспечению безопасности дорожного движения при управлении транспортными средствами сельскохозяйственного назначения / И. Н. Мисун [и др.] // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции : сб. ст. IV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 21–22 марта 2019 г. / редкол.: В. Я. Грудунов [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2019. – С. 310–312.
3. Ароматерапия – ароматы вместо... таблетки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.aramaic.ru/Aromaterapiya\\_-\\_aramaty\\_vmesto...\\_tabletki\\_/](http://www.aramaic.ru/Aromaterapiya_-_aramaty_vmesto..._tabletki_/). – Дата доступа: 01.09.2021.
4. Устройство для предупреждения от засыпания оператора транспортного средства сельскохозяйственного назначения : пат. 12302 Респ. Беларусь / А. Л. Мисун [и др.]; заявл. 12.11.2019; опубл. 30.06.2020.

5. Безопасное рулевое управление для транспортного средства сельскохозяйственного назначения : пат. 12366 Респ. Беларусь / А. Л. Мисун [и др.] ; заявл. 20.12.2019 ; опубл. 30.08.2020.
6. Лестница для технического средства : пат. 11743 Респ. Беларусь / Л. В. Мисун [и др.] ; заявл. 14.01.2018 ; опубл. 18.06.2018.
7. Съемная нескользящая подошва обуви : пат. 109377 РФ / В. Е. Евсеевич, А. В. Соломонович ; заявл. 19.04.2011 ; опубл. 20.10.2011.
8. Чехол для кресла транспортного средства : пат. 11800 Респ. Беларусь / Л. В. Мисун [и др.] ; заявл. 26.05.2018 ; опубл. 27.10.2018.
9. Физиологические и медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности : практикум : в 2 ч. / Л. В. Мисун [и др.] . – Минск : БГАТУ, 2009. – Ч. 1 : Физиология человека. – 128 с.
10. Устройство для защиты от пота : пат. 2143937 РФ / В. М. Сорока ; заявл. 05.09.1994 ; опубл. 10.01.2000.
11. Обеспечение безопасности производственной среды в кабине мобильной сельскохозяйственной техники / А. Л. Мисун [и др.] // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2018. – № 11. – С. 24–27.

**В. Н. Дашков, Л. В. Мисун, В. Л. Мисун**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: LLM\_90@mail.ru*

**К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ,  
ГЛАЗ И КОЖИ ПРИ РАБОТЕ С ПЕСТИЦИДАМИ  
В РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ АПК**

*Аннотация.* В статье рассмотрены основные направления и требования, предъявляемые к механизаторам и оборудованию при работе с пестицидами, рассмотрены пути попадания вредных веществ в организм человека, предложено решение для совершенствования индивидуальных средств защиты.

*Ключевые слова:* пестициды, оборудование, средства защиты, приготовление раствора, химические вещества, негативные факторы.

**V. N. Dashkov, L. V. Misun, V. L. Misun**

*EI "Belarusian State Agrarian Technical University"*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: LLM\_90@mail.ru*

**TO THE QUESTION OF APPLICATION RESPIRATORY PROTECTION EQUIPMENT,  
EYES AND SKIN WHEN WORKING WITH PESTICIDES IN THE PLANT INDUSTRY OF AIC**

*Abstract.* The article discusses the main directions and requirements for machine operators and equipment when working with pesticides, considers the ways in which harmful substances enter the human body, and proposes a solution for improving personal protective equipment.

*Keywords:* pesticides, equipment, protective equipment, solution preparation, chemicals, negative factors.

**Введение**

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и Международной организации труда (МОТ) пестициды являются причиной почти 15 % производственных травм в сельском хозяйстве, а также загрязнителем, который сознательно вносится человеком в окружающую среду. Они поражают различные компоненты природных экосистем, распространяются на большие пространства, удаленные от мест их применения, представляют опасность и для самого человека. В то же время методы и приемы, например, опрыскивания и опыливания растений пестицидами, могут быть причиной загрязнения воздуха вредными аэрозолями. Поэтому способы применения пестицидов, кратность обработок посевов сельскохозяйственных культур должны строго соответствовать регламентам препаратов, разрешенным для их использования в сельском хозяйстве. Так, при опрыскивании растений следует следить за тем, чтобы факел распыла не направлялся потоком воздуха на работающих. Для этого учитывают благоприятное направление движения воздуха и прекращают работы при его изменении [1], так как мелкие капли легко выносятся ветром из зоны обработки и испаряются, что приводит к насыщению воздуха препаратами и возможным их проникновением в организм человека. Следует отметить, что человек в состоянии покоя за 1 мин вдыхает 6–8 л воздуха. В процессе работы этот объем увеличивается и может достигать 100–120 л/мин [2], вследствие чего присутствие даже небольших количеств вредных веществ в воздухе рабочей зоны может привести к отравлениям и заболеваниям.

**Основная часть**

Для проведения работ с пестицидами должны использоваться только технология, техника и оборудование, прошедшие в установленном порядке гигиеническую и технологическую оценку

и имеющие соответствующее разрешение учреждений Министерства здравоохранения Республики Беларусь [2]. На машинах должны быть краткие надписи, предупреждающие об опасности работы без средств индивидуальной защиты. Машины следует оборудовать бачком вместимостью не менее 5 л и мылом для мытья рук обслуживающего персонала, аптечкой первой доврачебной помощи. При незначительных поломках машины во время работы ее необходимо остановить и в средствах индивидуальной защиты провести ремонтные работы техники.

Помещения для предпосевной обработки семян, упаковки и хранения протравленных семян (центры протравливания, заводы) оборудуются приточно-вытяжной вентиляцией и (или) местными аспирационными устройствами на рабочих местах. В помещениях для протравливания семян необходимо предусмотреть облицовку стен глазурованной плиткой, покрытие потолка масляной краской, устройство цементированных или выложенных плиткой полов, уклоны для стока воды. Воздух перед выбросом в атмосферу подлежит очистке. К санитарно-техническому оборудованию предъявляются требования согласно Санитарным правилам и нормам содержания и эксплуатации производственных предприятий. Помещения после хранения протравленных семян необходимо убирать с применением обезвреживающих средств. При погрузке (выгрузке), транспортировке и севе протравленных семян следует соблюдать такие же меры предосторожности, как и при работе с пестицидами.

Аэрозоли, пары и газы, содержащиеся в воздухе, как при выполнении технологического процесса, так и при хранении химических веществ, могут проникать в организм человека через органы дыхания, зрения, желудочно-кишечный тракт, кожу и при этом воздействовать на его ткани и биохимические системы, вызывая нарушения процессов нормальной жизнедеятельности. При этом вредные вещества, находящиеся в воздухе в виде аэрозольных частиц размером более 100 мкм в диаметре, обычно быстро оседают под действием силы тяжести и не представляют опасности. Частицы же диаметром менее 10 мкм могут достигать зоны газообмена в легких человека [3]. Учитывая это обстоятельство, все исполнители химзащитных работ должны проходить ежегодное медицинское обследование и иметь медицинскую книжку с отметкой врачей-специалистов о соответствующем допуске. Со всеми работниками в обязательном порядке должен быть проведен инструктаж по охране труда с соответствующей записью в журнале регистрации, организован строгий учет с указанием в специальном журнале вида работ, даты, объекта обработок, применяемых препаратов, их расходуемого количества и др.

Наиболее опасным путем попадания вредных веществ в организм являются органы дыхания. Поверхность легочных альвеол при среднем их растяжении может достигать 100 м<sup>2</sup>, а толщина альвеолярных мембран колеблется в пределах 0,004–0,010 мм, вследствие чего в легких

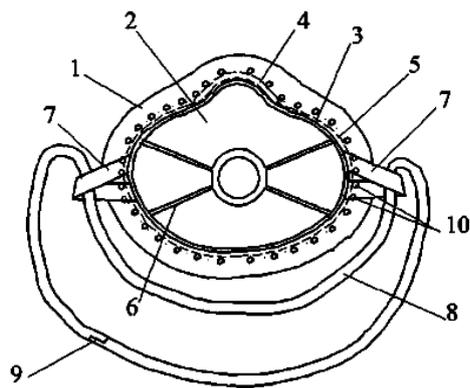


Рис. 1. Противоаэрозольный респиратор для защиты органов дыхания [4]: 1 – полумаска; 2 – сорбционно-фильтрующий материал; 3 – обтюратор; 4 – носовой зажим; 5 – резиновый шнур странгулятора; 6 – фигурная распорка; 7 – крепежная петля; 8 – эластичный шнур; 9 – соединение шнура; 10 – точечное термическое соединение

создаются благоприятные условия для проникания газов, паров и пыли в кровь. Для предотвращения такой ситуации, повышения эффективности использования средства защиты органов дыхания нами предлагается конструкция противоаэрозольного респиратора (рис. 1), на которую получен патент, содержащая полумаску из сорбционно-фильтрующего материала с обтюратором, странгулятором и оголовьем, которое присоединено к полумаске с двух сторон с помощью эластичного шнура. Обтюратор в верхней его части имеет эластичное сеточное полотно, позволяющее охватить поверхности головы и ушей работника, что практически устраняет попадание вредных веществ в виде аэрозолей внутрь организма.

Химические вещества (ароматические amino- и нитро-соединения, фосфорорганические соединения и др.) могут проникать и через кожный покров. Проникновение через кожу считается менее опасным путем отравления организма, поскольку всасывание вещества через кожу происходит достаточно медленно. Количество таких вредных

веществ находится в прямой зависимости от их растворимости, площади поверхности соприкосновения с кожей и скорости кровотока. Эти вещества, как правило, имеют к предельно допустимым концентрациям в воздухе рабочей зоны примечание об опасности их поступления через кожу (например: «Требуется специальная защита кожи и глаз»).

Как было отмечено ранее, аэрозоли, пары и газы могут проникать в организм человека и через органы зрения – важнейшее из чувств, данных человеку от природы. С помощью зрения люди получают порядка 80 % всей информации, поступающей извне [5], видят окружающие объекты, их перемещение и цвет, ориентируются в обстановке и передвигаются в нужном направлении. В то же время воздействие негативных факторов внешней среды (природных, техногенных) на орган зрения может привести к появлению острых и хронических заболеваний, а в некоторых случаях стать причиной полной потери зрения и инвалидизации [6]. Для предупреждения таких последствий производственной деятельности рекомендуются специальные средства защиты. Например, для работников агропромышленного комплекса с пониженной функцией зрения, имеющих по роду своей производственной деятельности контакт с пестицидами (при их приготовлении, обработке посевов сельскохозяйственных культур), предлагается патентное решение конструкции респиратора (рис. 2), включающее фильтрующе-поглощающую систему из пакета эластичных фильтрующего и сорбирующего материалов.

Корпус фильтрующей маски соединен с очками, а также резиновым обтюратором и подмасочником. Изоляция подмасочного пространства от окружающей среды в лобной и подбородочной частях обеспечивается как двумя конструктивными симметричными складками, так и специальной конструкцией очков с пружинными наружными зажимами и возможностью установки

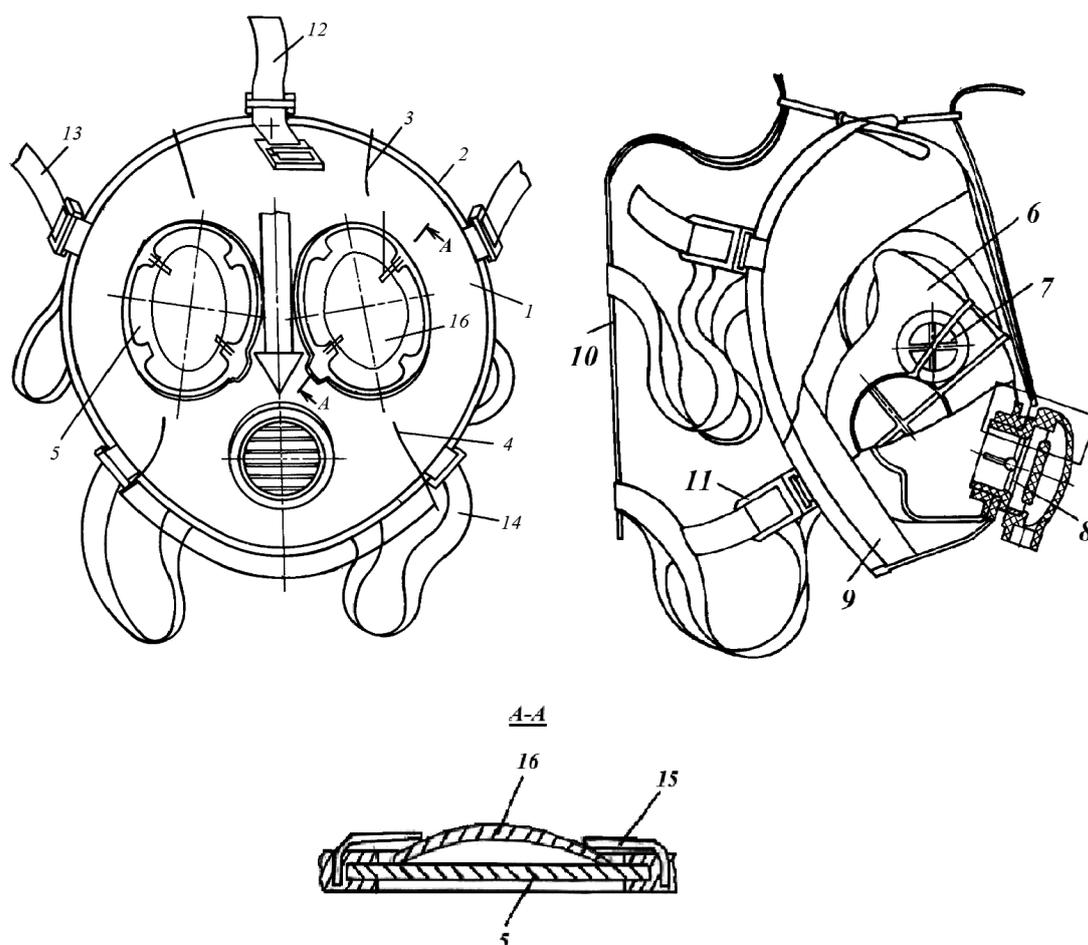


Рис. 2. Респиратор для защиты органов зрения и дыхания работников агропромышленного комплекса от воздействия вредных веществ [7]: 1 – корпус маски; 2 – периметр; 3 – лобная складка; 4 – подбородочная складка; 5 – очки; 6 – подмасочник; 7 – клапан вдоха; 8 – клапан выдоха; 9 – обтюратор; 10 – наголовник; 11 – пряжка; 12–15 – зажимы; 16 – линза

на их наружной поверхности линз различных диоптрий в соответствии со степенью пониженности функции зрения работника. Резиновый подмасочник, служащий для разделения зоны видимости и дыхания и обеспечивающий незапотеваемость очков, предотвращает как увлажнение фильтрующего и сорбирующего материала выдыхаемым воздухом, так и накопление диоксида углерода. Для индивидуального подбора респиратора должна проводиться его инструментальная проверка. При выявленной недостаточной изоляции работник не должен допускаться к выполнению работы, пока для него не будет подобран подходящий респиратор.

### Заключение

Химические вещества, применяемые в сельском хозяйстве при опрыскивании растений, попадают в организм через дыхательные пути, поэтому для защиты от вредных для здоровья аэрозолей рекомендуется использовать средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), в частности респираторы, например: ШБ-1 «Лепесток», «Кама», У-2К, РП-КМ, Ф-62Ш и др.

С целью повышения эффективности использования средства защиты органов дыхания от содержащихся в воздухе вредных веществ в виде аэрозолей при опрыскивании растений предложена усовершенствованная конструкция противоаэрозольного респиратора с фильтрующе-поглощающей системой из пакета эластичных фильтрующих и сорбирующих материалов.

### Список использованных источников

1. Мисун, Л. В. Организация безопасной эксплуатации технических средств защиты растений в промышленном производстве клюквы / Л. В. Мисун, А. А. Зеленовский, В. Л. Мисун. – Минск : БГАТУ, 2011. – 124 с.
2. Правила по охране труда при производстве и послеуборочной обработке продукции растениеводства / Б-ка журн. «Ахова працы». – 2008. – № 9. – С. 125–244.
3. Бураков, А. Е. Применение углеродных нанотрубок для повышения эффективности работы волокнистых фильтров сверхтонкого обеспыливания газов / А. Е. Иванова // Вестн. Тамбовского гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 16, № 3. – С. 649–655.
4. Респиратор для защиты органов дыхания оператора мобильной сельскохозяйственной техники : пат. 12071 Респ. Беларусь / А. Л. Мисун [и др.] ; заявл. 26.10.2018 ; опубл. 30.08.2019.
5. Красильников, И. В. Обучение студентов медицинского вуза навыкам применения средств защиты органов дыхания, глаз и кожи / И. В. Красильников // Вестн. совета молодых ученых и специалистов Челябинской обл. – 2017. – Т. 3, № 3 (18). – С. 46–49.
6. Денисов, Э. И. Профессионально обусловленная заболеваемость и ее доказательность / Э. И. Денисов, П. В. Чесалин // Медицина труда и промышленная экология. – 2007. – № 10. – С. 1–9.
7. Респиратор для защиты органов дыхания и зрения работников агропромышленного комплекса от воздействия вредных веществ : пат. 12362 Респ. Беларусь / А. Л. Мисун [и др.] ; заявл. 24.01.2020 ; опубл. 30.08.2020.

**В. Г. Андруш<sup>1</sup>, Г. И. Белохвостов<sup>1</sup>, В. В. Русских<sup>1</sup>,  
Н. Н. Жаркова<sup>1</sup>, В. И. Володкевич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: v.g.andrush.uot@bsatu.by

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: info@belagromech.by

## **БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ РАБОТЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПОД ЛИНИЯМИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

*Аннотация.* Для предотвращения поражения электрическим током оператора во время работы габаритной сельскохозяйственной техники под линиями электропередач (ЛЭП) предложено устройство, сигнализирующее о приближении техники к ЛЭП на недопустимое расстояние.

*Ключевые слова:* охрана труда, габаритная сельскохозяйственная техника, безопасность оборудования, электрический ток, сигнализация.

**V. G. Andrush<sup>1</sup>, G. I. Belokhvostov<sup>1</sup>, V. V. Russkih<sup>1</sup>, N. N. Zharkova<sup>1</sup>, V. I. Volodkevich<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: v.g.andrush.uot@bsatu.by

<sup>2</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultura Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: info@belagromech.by

## **SAFETY WHEN OPERATING AGRICULTURAL MACHINERY UNDER POWER LINES**

*Abstract.* To prevent electric shock to the operator during the operation of large-scale agricultural machinery under power lines (power lines), a device has been proposed that signals the approach of equipment to power lines at an unacceptable distance.

*Keywords:* labor protection, overall agricultural machinery, equipment safety, electric current, signaling.

Исторически сложилось, что над сельскохозяйственными полями проходят многочисленные линии электропередач (ЛЭП), и в ближайшей перспективе заменить их на кабельные не представляется возможным. Уборка урожая, погрузка и разгрузка тюков соломы, работа самосвалов, кранов, экскаваторов часто выполняются вблизи этих линий, что является одной из причин травмирования работников электрическим током.

Согласно данным, за период с 2017 по 2020 г. произошло девять несчастных случаев, связанных с поражением электрическим током от ЛЭП, в том числе пять – со смертельным исходом [1, 2].

Для обучения работников безопасному ведению работ на комбайнах и других высокогабаритных машинах и механизмах вблизи ЛЭП подготовлен перечень основных требований безопасности, необходимых к соблюдению [3, 4].

Существуют установленные минимальные расстояния от наивысшей точки машины или груза на транспортных средствах до проводов ЛЭП при ее приближении или пересечении [5]. Однако оператору мобильной техники сложно, а порой и практически невозможно визуально определить расстояние до проводов высоковольтной линии (ВЛ) в силу различных причин (провисание, обрывы проводов, отсутствие у оператора мобильной техники средств контроля и измерения, незнание нормативов, отсутствие информации о напряжении ВЛ, плохая видимость, неблагоприятные метеорологические условия и т. п.).

Поэтому, кроме выполнения основных требований безопасности, в рассмотренных выше опасных ситуациях оператору рекомендуется применять специальные технические устройства (сигнализирующие, визуализирующие, регистрирующие и др.).

Расстояние до проводов ЛЭП при приближении техники можно определить по величине электромагнитного поля. В основу методики расчета напряженности электрического поля положена теорема Гаусса, которая применима в случае протяженных проводников линии и однородности ее конфигурации с расстоянием: поле убывает обратно пропорционально кубу расстояния до точки наблюдения [6].

Экспериментальная проверка картины распространения электромагнитного поля ЛЭП в окружающей среде выполнена с использованием сертифицированного в Республике Беларусь измерителя напряженности электрических и магнитных полей ПЗ-80 [7]. Измерения проведены между двумя параллельно проходящими ЛЭП «Минск-Северная» – «Минск-Восточная» с напряжением 110 кВ, одна из которых на металлических, а вторая на железобетонных опорах. Полученные в ходе эксперимента данные имеют нелинейную зависимость, анализ которой показывает, что с увеличением расстояния от проводов ЛЭП величина электромагнитного поля уменьшается по экспоненциальному закону. При измерениях магнитного поля наблюдается значительный разброс показаний прибора, на работу которого оказывают влияние условия измерения в техногенной среде, что необходимо учитывать при разработке устройства обнаружения и сигнализации при приближении к линии электропередач.

Для безопасной работы крупногабаритной техники под ЛЭП необходимо выдерживать минимальные расстояния от наивысшей точки машины до проводов ЛЭП, которые зависят от напряжения в линии. Данные о величине напряжения линии можно получить в местных отделениях электросетей или через глобальную навигационную спутниковую систему (ГНСС), принцип работы которой представлен на рис. 1. Возможность слежения за мобильной техникой обеспечивает специальное оборудование – ГЛОНАСС/GPS-терминал, который с заданной частотой принимает сигналы от ГНСС [8].

Терминал устанавливается на транспортном средстве, географическое местонахождение которого определяется по координатам точки приема сигнала. Пройденный путь и скорость регистрируются по изменению местоположения объекта за время приема и отправки сигнала [9].

Изображение, которое пользователь видит на экране или в видеискателе, улавливается специальным светочувствительным сенсором. Сигнал передается от матрицы (сенсора) в процессор, который преобразует его в изображение и выводит на экран, а также сразу записывает на носитель [10].



Рис. 1. Принцип работы ГНСС

Недостатками известных устройств сигнализации [11] являются низкая надежность, т. е. вероятность ложного срабатывания ввиду недостаточной помехоустойчивости, и информативность, что не позволяет точно определять расстояние до ЛЭП с учетом значения номинального напряжения или при отключении ЛЭП антенна перестанет улавливать ее сигнал.

В работах [12, 13] предлагается на более высоком уровне использовать существующие технические решения в сфере безопасности проведения сельскохозяйственных работ под ЛЭП, дополняя действующие устройства и разрабатывая новые.

Существует методика измерения расстояний и размеров объектов, основанная на принципах фотограмметрии и корреляционной обработке цифровых изображений стереопары, которая в последующем выводится как расстояние до ЛЭП на дисплей оператора. Она включает в себя специально разработанное приложение, которое обрабатывает полученное с камеры изображение и позволяет выводить на дисплей значения расстояний до всех ближайших объектов с высокой точностью [14]. Предлагается использовать данную систему для определения расстояний от движущегося объекта до ближайшей ЛЭП и интегрировать ее в систему управления крупногабаритной техникой.

По результатам проведенных нами исследований разработано «Устройство для обнаружения и сигнализации при приближении к линии электропередач» (рис. 2).

Данное устройство работает следующим образом [15]. В антенне 1 электрическое поле ЛЭП наводит переменное напряжение частотой 50 Гц. Наведенное переменное напряжение и широкополосные импульсные помехи усиливаются широкополосным усилителем 4, напряжение на выходе которого ограничивается ограничителем амплитуды сигнала 5. Широкополосная импульсная помеха в ограничителе амплитуды сигнала 5 ограничивается по амплитуде, а сигнал от ЛЭП остается неизменным.

При уменьшении амплитуды широкополосной импульсной помехи пропорционально уменьшаются амплитуды всех ее спектральных составляющих, в том числе и попадающих в полосу пропускания блока узкополосной фильтрации и усиления 2.

Изображение с фотокамеры 6 передается на блок дальномера 7, который за счет последовательного формирования сигналов изображений и их последующей совместной обработки определяет линейные размеры объектов и расстояние до них. Полученный сигнал через первый выход блока дальномера 7 включает блок спутникового позиционирования 8 и передает данные к блоку задания минимального расстояния в зависимости от напряжения ЛЭП 9. Одновременно данные со второго выхода блока дальномера 7 и с выхода блока задания минимального расстояния в зависимости от напряжения ЛЭП 9 поступают в блок сравнения 10, в котором происходит сравнение с сигналом блока дальномера 7 и передача на устройство цифровой обработки и сигнализации 3. Если значение расстояния до ЛЭП, определенное блоком дальномера 7 станет меньше расстояния, определенного блоком задания минимального расстояния в зависимости от напряжения ЛЭП 9, то на выходе блока сравнения 10 появится сигнал, вызывающий срабатывание устройства цифровой обработки и сигнализации 3, предупреждающий оператора об опасности. Данное устройство также срабатывает и при поступлении сигнала с выхода блока узкополосной

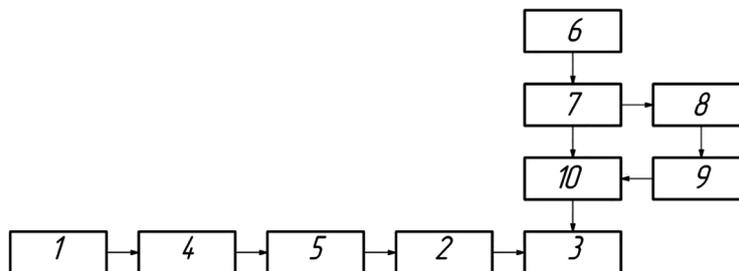


Рис. 2. Схема устройства для обнаружения и сигнализации при приближении к линии электропередач:  
 1 – антенна; 2 – блок узкополосной фильтрации и усиления; 3 – устройство цифровой обработки и сигнализации; 4 – широкополосный усилитель; 5 – ограничитель амплитуды сигнала; 6 – фотокамера; 7 – блок дальномера; 8 – блок спутникового позиционирования; 9 – блок задания минимального расстояния в зависимости от напряжения ЛЭП; 10 – блок сравнения

фильтрации и усиления 2. Сигнал возникает при обнаружении магнитного поля ЛЭП антенной 1, что повышает надежность обнаружения и сигнализации при приближении на недопустимое расстояние.

### Выводы

1. Проанализировано состояние производственной безопасности при проведении работ с использованием габаритной сельскохозяйственной техники вблизи ЛЭП. Проведены необходимые теоретические и экспериментальные исследования.

2. Результаты эксперимента подтверждают, что с увеличением расстояния от проводов ЛЭП величина электромагнитного поля убывает обратно пропорционально кубу расстояния до точки наблюдения. При измерениях магнитного поля наблюдается значительный разброс показаний прибора, на работу которого оказывают влияние условия измерения в техногенной среде, что необходимо учитывать при разработке устройства обнаружения и сигнализации при приближении к ЛЭП.

3. По итогам проведенных исследований разработано «Устройство для обнаружения и сигнализации при приближении к линии электропередач», работающее по двум независимым каналам. Установка предлагаемого устройства позволит своевременно предупредить оператора крупногабаритной техники о приближении к ЛЭП на недопустимое расстояние и тем самым обеспечит его защиту от поражения электрическим током.

### Список используемых источников

1. Интернет-портал Госэнергонадзора [Электронный ресурс] / Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022. – Режим доступа: <https://gosenergogaznadzor.by/novosti/informatsiya-po-neschastnym-sluchayam-/neschastnye-sluchai-ot-pogazheniya-elektricheskim-tokom-naselenie/>. – Дата доступа: 02.03.2022.

2. Интернет-портал Белэнерго Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022. – Режим доступа: <https://belenergo.by/content/infocenter/news/?tag=происшествия>. – Дата доступа: 02.03.2022.

3. Соблюдение требований безопасности при проведении сельскохозяйственных работ вблизи ЛЭП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mshp.gov.by/ohranatruda/b0d6f75a37269b70.html>. – Дата доступа: 02.03.2022.

4. Электробезопасность : пособие / сост.: А. И. Федорчук, В. Г. Андруш, О. В. Абметко. – Минск : БГАТУ, 2012. – 188 с.

5. Правила по охране труда при производстве и послеуборочной обработке продукции растениеводства : Постановление Мин-ва сельск. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, 15 апр. 2008 г., № 36 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2008. – № 8/18787.

6. Электрическое и магнитное поля высоковольтной воздушной линии на удалении от нее / Б. К. Сивяков [и др.] // Вестн. Саратовск. гос. техн. ун-та им. Ю. А. Гагарина. Физ.-матем. науки. Энергетика. – 2015. – № 3. – С. 200–206.

7. Электромагнитное поле. Измерение электромагнитного поля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.eurolab.ru/elektromagnitnoe\\_pole](http://www.eurolab.ru/elektromagnitnoe_pole). – Дата доступа: 02.03.2022.

8. Глобальные навигационные спутниковые системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://d33.infospace.ru/d33\\_conf/tarusa2018/13.pdf](http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2018/13.pdf). – Дата доступа: 02.03.2022.

9. Спутниковый мониторинг транспорта глонасс/gps [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://skrt.biz/monitoring-transporta>. – Дата доступа: 02.03.2022.

10. Определение расстояния до объекта в зоне движения автомобиля, используя анализ видеоданных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1511/1511.07963.pdf>. – Дата доступа: 02.03.2022.

11. Автоматические сигнализаторы опасного напряжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mash-xxl.info/info/700176>. – Дата доступа: 02.03.2022.

12. Андруш, В. Г. Комплекс технических решений, повышающих безопасность работы зерноуборочного комбайна под линиями электропередач / В. Г. Андруш, Г. И. Белохвостов, В. В. Русских // Актуальные проблемы устойчивого развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск 3–4 июня 2021 г. / редкол.: Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2021. – С. 343–346.

13. Русских, В. В. Решения, повышающие безопасность работы габаритной сельскохозяйственной техники под линиями электропередач / В. В. Русских, В. Г. Андруш, Г. И. Белохвостов // Забезпечення цивільної безпеки в сучасних умовах : матеріали I Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., Мелітополь, Україна, 26–30 квіт. 2021 р. / відп. ред. О. В. Яцух. – Мелітополь : ТДАТУ, 2021. – С. 83–87.

14. Измеритель дальности и размерных параметров объектов на основе цифровой фотокамеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/5009/1/09%D0%9A%D0%BE%D0%B7%D0%BB%D0%BE%D0%B2.pdf>. – Дата доступа: 02.03.2022.

15. Устройство для обнаружения и сигнализации при приближении к линии электропередач : положительный результат предварительной экспертизы по заявке на выдачу патента на изобретение : МПК G 01R 31/34 / В. Г. Андруш, Г. И. Белохвостов, В. В. Русских, А. А. Пинчук. – № а 20210180. – Заявлен приоритет по дате: 21.06.2021.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Комлач Д. И., Дашков В. Н., Воробей А. С., Трибуналов М. Н.</b> Обнаружение опасных зон повреждаемости клубней картофеля серийных машин для уборки и послеуборочной доработки с помощью электронного анализирующего устройства . . . . .	3
<b>Комлач Д. И., Голдыбан В. В., Курилович М. И.</b> Исследование адгезионных характеристик минеральных почв . . . . .	8
<b>Комлач Д. И., Азаренко В. В., Григорьев Д. А., Гецман С. А., Жилич Е. Л., Кувшинов А. А., Рогальская Ю. Н., Журко В. С.</b> Выявление половой охоты у коров средствами программно-аппаратного комплекса ИКФС «МАЙСТАР» . . . . .	12
<b>Комлач Д. И., Курилович М. И., Босяков С. М., Голдыбан В. В.</b> Методика оценки рабочего давления пневматической системы отделения автоматической сортировальной машины . . . . .	19
<b>Комлач Д. И., Еднач В. Н., Колоско Д. Н., Жилич Е. Л., Рогальская Ю. Н., Гецман С. А.</b> Анализ причин возникновения проблемы рентабельности молочного скотоводства и обоснование путей ее решения . . . . .	22
<b>Комлач Д. И., Колоско Д. Н., Жилич Е. Л., Рогальская Ю. Н., Гецман С. А.</b> Технологические принципы развития роботизированного доения . . . . .	26
<b>Перепечаев А. Н., Кислов Е. В., Тарима А. И., Карпунин В. И.</b> Оборудование первичной переработки льна . . . . .	30
<b>Голдыбан В. В.</b> Использование бионических принципов при решении отдельных задач земледельческой механики . . . . .	36
<b>Комлач Д. И., Антоненко А. Н., Голдыбан В. В.</b> К разработке дизельных двигателей для тракторов и автомобилей с малотоксичным процессом сгорания. . . . .	41
<b>Передня В. И., Жилич Е. Л., Кувшинов А. А., Рогальская Ю. Н., Злотник А. М.</b> Применение программно-аппаратного комплекса системы идентификации и контроля физиологического состояния животных . . . . .	47
<b>Радчиков В. Ф., Астренков А. В., Гадлевская Н. Н., Передня В. И., Жилич Е. Л., Рогальская Ю. Н.</b> Повышение эффективности выращивания карпа за счет снижения стоимости комбикормов . . . . .	52
<b>Дыба Э. В., Микульский В. В.</b> Обоснование основных параметров граблей-валкователей гребенчатого типа ГВГ-9,5 . . . . .	57
<b>Кошля Г. И., Ляхов А. П., Дыба Э. В.</b> Воздействие устройства движителя и физико-механических свойств почвогрунта на тягово-сцепные свойства тракторов . . . . .	66
<b>Янцов Н. Д., Кошля Г. И., Дыба Э. В.</b> Достоинства и недостатки технологии (no-till) нулевой обработки почвы. . . . .	69
<b>Кошля Г. И., Тимошенко В. Я., Дыба Э. В.</b> Улучшение устройства цистерны для обеспечения безопасности транспортировки наливных грузов . . . . .	72
<b>Юрин А. Н., Кострома С. П., Викторovich В. В.</b> Обзор и анализ известных способов защиты плодовых деревьев от весенних заморозков . . . . .	75
<b>Юрин А. Н., Викторovich В. В., Кострома С. П., Игнатчик А. А.</b> Экспериментальные исследования функционирования системы автоматической ориентации рабочего органа к роботизированной машине для пропалывания питомников . . . . .	82
<b>Юрин А. Н., Викторovich В. В., Игнатчик А. А.</b> Снижение затрат труда применением системы технического зрения при сортировке яблок . . . . .	88
<b>Юрин А. Н.</b> Обоснование параметров активатора универсального ягодоуборочного комбайна. . . . .	96

<b>Юрин А. Н., Кострома С. П.</b> Исследования температурного режима плодовых насаждений . . .	112
<b>Клыбик В. К., Никончук В. В.</b> Пути совершенствования процесса мойки емкостей молокоохладителей . . . . .	117
<b>Лепешкин Н. Д., Клыбик В. К., Мижурин В. В.</b> К обоснованию типа катковых рабочих органов почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях . . . . .	121
<b>Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В.</b> Сошник для разноглубинной укладки посевного материала сеялки СПП-9 . . . . .	128
<b>Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В., Зубенко Д. В.</b> К обоснованию способа и агрегата для основной обработки почвы склоновых земель (в условиях Республики Беларусь) . . . . .	131
<b>Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В.</b> К обоснованию типа рыхлительных рабочих органов почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях . . . . .	138
<b>Лепешкин Н. Д.</b> К обоснованию типа дискового рабочего органа почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях . . . . .	148
<b>Лепешкин Н. Д., Чеботарев В. П., Горный А. В., Яновский Д. А.</b> Направления совершенствования плужных корпусов для условий Республики Беларусь . . . . .	158
<b>Ковалев М. М., Перов Г. А., Тарима А. И., Просолов С. В., Колешко С. П.</b> Повышение эффективности работы льнотеребильных аппаратов с поперечными ручьями на различном льне . . .	164
<b>Шкляр А. П.</b> Земля как основное средство производства в аграрном секторе экономики и факторы, влияющие на эффективность ее использования . . . . .	171
<b>Дунаев А. В., Тарасенко В. Е., Жешко А. А.</b> Обоснование нормативных значений управляющих параметров в техническом сервисе МТП АПК . . . . .	177
<b>Дунаев А. В., Тарасенко В. Е., Жешко А. А.</b> Особенности применения нормативных значений управляющих параметров . . . . .	183
<b>Ленский А. В., Жешко А. А.</b> Методы определения тягового сопротивления сельскохозяйственных машин . . . . .	188
<b>Белевич А. В., Кабанов Д. И., Антошук С. А., Сабзиев Э. Н.</b> Создание беспилотных тракторных агрегатов: тенденции и перспективы . . . . .	199
<b>Захаров А. В., Сапун Л. Г., Захарова И. О., Костенич В. Г.</b> Повышение эффективности тормозной системы трактора класса 5 при работе в составе транспортного агрегата . . . . .	205
<b>Кузьмич В. В., Карпунин В. И., Шункевич В. О., Микульчик С. Ю.</b> Технологический процесс получения биоразлагаемых пленок для нужд сельского хозяйства . . . . .	211
<b>Зык Н. В., Шункевич В. О., Зык В. В.</b> Переработка фосфогипса с получением концентрата редкоземельных элементов на примере ОАО «Гомельский химический завод» . . . . .	214
<b>Немцев А. Е., Вахрушев В. В., Деменок И. В.</b> Обновление машинно-тракторного парка АПК Сибирского федерального округа . . . . .	220
<b>Назаров Н. Н., Некрасова И. В.</b> Основные направления развития технического обеспечения внесения в почву жидких форм минеральных удобрений . . . . .	223
<b>Бобрышов А. В., Фокин Б. П., Гедроить Г. И.</b> Выбор технологических схем полива фронтальными дождевальными машинами в процессе орошения полей . . . . .	227
<b>Кудревич А. А., Михайловский Е. И.</b> Современное состояние и направления развития технического сервиса в АПК . . . . .	231
<b>Комлач Д. И., Воробей А. С., Матмуродов Ф. М., Курилович М. И., Игнатчик А. А.</b> Определение критериев эффективности работы установки для отделения клубней картофеля от камней . . . . .	235
<b>Михайловский Е. И., Перепечаев А. Н.</b> Формирование системы фирменного технического сервиса сельскохозяйственной техники . . . . .	240
<b>Голдыбан В. В., Курилович М. И.</b> Влияние электроосмоса поверхностного типа на полный потенциал почвенной воды . . . . .	245
<b>Голдыбан В. В., Синчук О. В., Ткаченко Г. А., Курилович М. И.</b> Исследование мандибул черного садового муравья в качестве бионической модели для повышения надежности культиваторных лап . . . . .	251

<b>Кольга Д. Ф., Костюкевич С. А., Жилич Е. Л., Назаров Ф. И., Молош Т. В.</b> Влияние качества корма на продуктивность дойного стада . . . . .	259
<b>Корко В. С., Дубодел И. Б., Кардашов П. В.</b> Исследование влияния материала мембраны на процесс электроактивации воды и растворов . . . . .	265
<b>Тарасенко В. Е., Жешко А. А., Мухля О. О.</b> Анализ конструктивных исполнений и комплексное функциональное преобразование диагностического стенда для работы с инжекторами аккумуляторной топливной системы Common Rail . . . . .	268
<b>Мисун А. Л., Азаренко В. В., Мисун Л. В.</b> Направления улучшения микроклиматических условий труда в кабине мобильной сельскохозяйственной техники . . . . .	275
<b>Мисун В. Л.</b> Оценка загрязнения воздуха производственной среды при эксплуатации технических средств для внесения раствора пестицида на растения . . . . .	282
<b>Басаревский А. Н., Ловкис В. Б.</b> Допустимые гидравлические параметры водопроводящей системы удобрительного оборудования и дождевальной машины . . . . .	286
<b>Ловкис В. Б., Колос В. А., Ружьев В. А.</b> К вопросу энергетической оценки эффективности технологий производства продукции растениеводства . . . . .	292
<b>Степук Л. Я., Бегун П. П.</b> Результаты приемочных испытаний агрегата АНМ-10 для удаления навоза из помещений молочно-товарных ферм и комплексов . . . . .	297
<b>Мисун Л. В., Азаренко В. В., Мисун Ал-й Л., Мисун Ал-р Л.</b> Повышение безопасности труда операторов транспортных средств сельскохозяйственного назначения . . . . .	303
<b>Дашков В. Н., Мисун Л. В., Мисун В. Л.</b> К вопросу применения средств защиты органов дыхания, глаз и кожи при работе с пестицидами в растениеводческой отрасли АПК . . . . .	309
<b>Андруш В. Г., Белохвостов Г. И., Русских В. В., Жаркова Н. Н., Володкевич В. И.</b> Безопасность при работе сельскохозяйственной техники под линиями электропередач . . . . .	313

Научное издание

**МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

*Межведомственный тематический сборник*

**Выпуск 55**

Редактор *Н. Т. Гавриленко*  
Художественный редактор *В. В. Домненков*  
Технический редактор *М. В. Савицкая*  
Компьютерная верстка *Н. И. Кашуба*

Подписано в печать 17.05.2022. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 37,2. Уч.-изд. л. 32,0. Тираж 100 экз. Заказ 91.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».  
Свидетельства о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/18 от 02.08.2013, № 2/196 от 05.04.2017.  
Ул. Ф. Скорины, 40, 220141, г. Минск.