



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Республиканское унитарное предприятие
«Научно-практический центр
Национальной академии наук Беларуси
по механизации сельского хозяйства»

И МЕХАНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Межведомственный тематический сборник
Основан в 1968 году

Выпуск 51

Минск
«Беларуская навука»
2018

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 могут быть использованы сотрудниками НИИ, КБ, специалистами хозяйств, студентами вузов и колледжей аграрного профиля.

Редакционная коллегия:

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси
П. П. Казакевич (*главный редактор*);
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
С. Г. Яковчик (*зам. 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. И. Передня, В. Романюк (Республика Польша),
П. А. Савиных (Российская Федерация), Л. Я. Степук,
И. Н. Шило; доктор технических наук, доцент В. П. Чеботарев;
кандидаты технических наук, доценты Н. Г. Бакач, А. Н. Басаревский,
А. А. Жешко, В. К. Клыбик, Н. Д. Лепешкин, А. И. Пунько, Ю. Л. Салапура,
А. Н. Юрин; кандидат экономических наук, доцент В. Г. Самосюк;
кандидаты технических наук И. В. Барановский, В. В. Голдыбан,
Н. Ф. Капустин, И. М. Лабоцкий, А. Л. Рапинчук, В. В. Чумаков;
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, И. Н. Шило;
доктор технических наук, доцент В. П. Чеботарев.

Приказом Председателя ВАК Республики Беларусь от 4 июля 2005 года № 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.

С. Г. Яковчик, Н. Г. Бакач, Ю. Л. Салапура, Э. В. Дыба*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: belagromech@tut.by***ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

В статье представлены основные направления научно-технического прогресса в области механизации сельского хозяйства. Представлены результаты разработки инноваций в данной области в Республике Беларусь на современном этапе.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, производство, экспорт, машины, оборудование, механизация, урожайность, потребность, затраты, точное земледелие.

S. G. Yakovchik, M. G. Bakach, Y. L. Salapura, E. V. Dyba*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization», Minsk, Republic of Belarus
e-mail: belagromech@tut.by***PERSPECTIVE DIRECTIONS OF CREATION OF INNOVATIVE
AGRICULTURAL MACHINERY IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

The article presents the main directions of scientific and technical progress in the field of mechanization of agriculture. The results of the development of innovations in this field in the Republic of Belarus at the present stage are presented.

Keywords: agro-industrial complex, production, export, machinery, equipment, mechanization, yield, need, costs, precise farming.

Введение

Главным условием повышения экономической эффективности аграрной отрасли является наращивание производства сельскохозяйственной продукции при снижении удельных затрат на всех его этапах.

Возделывание сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь ведется на площади порядка 5,8 млн га, около 88 % которой используется сельскохозяйственными предприятиями, что свидетельствует об ориентированности на крупнотоварное производство. Сельское хозяйство республики ежегодно производит свыше 8 млн тонн зерновых и зернобобовых культур при средней урожайности 32–36 ц/га (рисунок 1) [1]. Указанного объема производства зерна достаточно для внутреннего потребления – как для продовольственных, так и фуражных целей.

Одними из основных сельскохозяйственных культур, производимых в Республике Беларусь, являются зерновые, которые, наряду с кормовыми, занимают основные площади (86 %), а также технические – 7 %, картофель и овощи – 6 %.



Рисунок 1. – Посевные площади и валовой сбор зерновых и зернобобовых культур

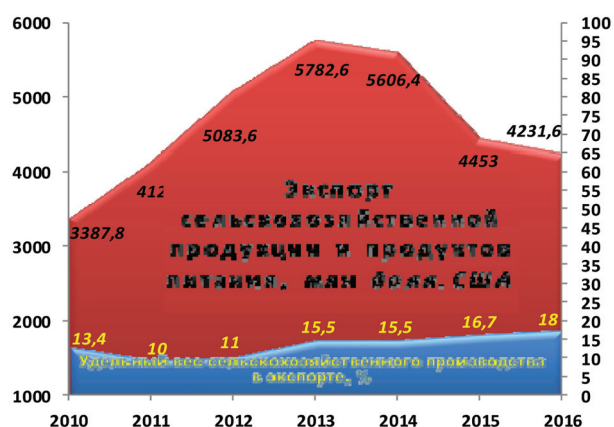


Рисунок 2. — Сельскохозяйственная продукция и продукты питания в общем объеме экспорта Республики Беларусь

питания и имеющим значительный экспортный потенциал (рисунок 2). По производству ряда сельскохозяйственных культур (картофель, сахарная свекла, семена рапса, овес) республика входит в двадцатку, а по производству ржи и льноволокна — в пятерку мировых стран-лидеров [2].

Производство машин и оборудования является наиболее значимым сектором, обеспечивающим технологическое развитие экономики республики и агропромышленный комплекс средствами производства на основе высокоточных автоматизированных информационных технологий, базирующихся на использовании высокопроизводительных средств механизации с широким применением робототехнических устройств, приборов и микропроцессорных систем для управления работой машин и агрегатов, а также с переходом от механических к гидрофицированным и электрифицированным приводам и электрогидравлическим средствам управления ими. В соответствии с существующими, а также внедряемыми перспективными ресурсосберегающими технологиями возделывания сельскохозяйственных культур основную часть подвижной техники составляют тракторы и самоходные сельскохозяйственные машины, парк которых с каждым годом сокращается.

В организациях агропромышленного комплекса республики эксплуатируется более 40 тыс. тракторов различной мощности, из них 5,9 тыс. тракторов мощностью 250 л.с. и более, 8,5 тыс. зерноуборочных и 4,2 тыс. кормоуборочных комбайнов, 3,3 тыс. комбинированных почвообрабатывающих и 4,0 тыс. почвообрабатывающих посевных агрегатов, а также другая сложная сельскохозяйственная техника [3].

Обеспеченность хозяйств техникой с учетом ее изношенности на сегодняшний день составляет в среднем 75 %, а по некоторым позициям не превышает 50 % от научно обоснованной.

Снижение уровня энергетических мощностей приводит к росту нагрузки пахши на один трактор (со 100 га в 2010 году до 120 га в 2016 году — рост на 120 %). В то же время уровень энергетических мощностей в расчете на одного работника вырос с 53,2 л.с. в 2010 году до 68,0 л.с. в 2016 году (рост на 128 %). Рост данного показателя обусловлен снижением численности работников, занятых в сельском хозяйстве, с 370,8 тыс. чел. в 2010 году до 303,2 тыс. чел. в 2016 году (на 18,2 %). При этом снизился также и удельный вес работников, занятых в сельскохозяйственном производстве, до 7,9 %. Обеспеченность механизаторскими кадрами в сельском хозяйстве республики составляет 71,4 % [1].

Основная часть

Основной упор в развитии сельскохозяйственного производства в перспективе должен быть сделан на повышение производительности труда путем более эффективного использования в производстве инновационных разработок ученых-агров, перехода к концепции точного земледелия и точного животноводства, что позволит получать продуктивность сортов растений и пород скота, близкую их биологическому потенциалу. Разработка современной сельскохозяйственной техники для механизации инновационных технологий сельского хозяйства республи-

Повышение экспортного потенциала отрасли — приоритетное направление деятельности отечественного АПК. Республика Беларусь ежегодно экспортирует сельскохозяйственной продукции и продуктов питания на сумму более 4 млрд долл. США, при этом удельный вес сельскохозяйственного производства в экспорте ежегодно растет (с 10 % в 2011 году до 18 % в 2016 году). В настоящее время удельный вес сельскохозяйственного производства в ВВП республики составляет 8,6 %. Беларусь можно отнести к Топ-50 стран с достаточно успешно развивающимся сельским хозяйством, позволяющим обеспечивать внутренние потребности государства в основных продуктах

ки осуществляется в рамках разработанной и одобренной Правительством Республики Беларусь Системы перспективных машин для производства продукции растениеводства и животноводства на каждый пятилетний период.

Механизация обработки почвы и посева. Важнейшими агротехническими приемами земледелия, создающими почвенные условия, в которых произрастают и в дальнейшем развиваются растения, являются обработка почвы и посев.

Поэтому приемы обработки почвы и посева являются наиболее ответственными в системе земледелия. Исходя из состава почв республики уделяется большое внимание созданию специальной техники для выполнения данных операций. В стране разработана практически вся необходимая техника для традиционной технологии обработки почвы и посева сельскохозяйственных культур – создано более 20 наименований техники, включая 3-, 4-, 5-, 6-, 7-, 8-, 9-, 10- и 12-корпусные оборотные плуги (рисунок 3), культиваторы шириной захвата 3–9 метров, комбинированные почвообрабатывающие и почвообрабатывающе-посевные агрегаты с пассивными и с активными (роторными) рабочими органами для обработки различных типов почв, обеспечивающие повышение качества обработки почвы и урожайности возделываемых культур при снижении затрат труда, топлива и себестоимости механизированных работ, высокопроизводительные сеялки шириной захвата 9 метров для работы как по традиционным технологиям, так и технологиям нулевой обработки почвы.



Рисунок 3. – Плуг оборотный ПО-(8+4)-40

Поэтому дальнейший рост производства и снижение себестоимости растениеводческой продукции невозможны без совершенствования существующих технологий обработки почвы и посева, в основу чего должны быть положены:

- минимизация обработки почвы за счет снижения механического воздействия на почву путем совмещения операций;
- создание универсальных многофункциональных широкозахватных почвообрабатывающих и почвообрабатывающе-посевных агрегатов, что позволит в 2..3 раза сократить технологический парк техники в хозяйствах;
- применение универсальных почвообрабатывающих и посевных агрегатов нового поколения, блочно-модульных многоцелевых семейств сеялок высокого технического уровня со сменными блоками рабочих органов и автоматизированными дозирующими системами для различных зональных почвенно-климатических и агроландшафтных условий;
- разработка мехатронных систем для производственных процессов обработки почвы и посева.

Механизация применения удобрений и химических средств защиты растений. Для получения плановых урожаев необходимо своевременно и качественно вносить ежегодно более 50 млн тонн органических удобрений, около 4 млн тонн физического веса минеральных удобрений, вносить не менее 2 млн. тонн известковых материалов, применять около 14 тыс. тонн пестицидов [3]. Это самый эффективный, но в то же время очень дорогостоящий ресурс, грамотное применение которого позволяет обеспечивать высокие результаты в отрасли растениеводства. Для реализации отмеченного потенциала разработана гамма машин для внесения жидких, полу-



Рисунок 4. – Машина для внесения полужидкого навоза МПН-16

жидких (рисунок 4) и твердых органических удобрений грузоподъемностью от 15 до 25 тонн (прицепы для внесения твердых органических удобрений). Высокоточное внесение твердых минеральных удобрений обеспечивает линейка машин (МШВУ-18, РМУ-11000Ш и РШУ-18), неравномерность внесения удобрений которыми не превышает 7 процентов, что позволяет повысить урожайность сельскохозяйственных культур до 4 ц/га.

Однако на практике потенциальные возможности перечисленных выше средств химизации пока используются недостаточно эффективно. Чтобы повысить эффективность использования удобрений и химических средств защиты растений требуется дальнейшее проведение исследований в области их применения и разработка:

- машин для внесения минеральных удобрений и подкормки сельскохозяйственных культур с автоматическим управлением дозирующих и распределяющих рабочих органов с непрерывным контролем норм применяемых удобрений;
- высокотехнологичных штанговых опрыскивателей для химической защиты растений и борьбы с вредителями с регулируемой шириной захвата от 12 до 30 метров.

Механизация заготовки кормов из трав и силосных культур. В ближайшей перспективе в структуре кормового баланса Республики Беларусь останутся традиционные виды кормов, заготавливаемых из трав и силосных культур – это сено полевой сушки, сенаж, заготовленный по различным технологиям, травяной и кукурузный силос, кроме того, на кормовые и технологические нужды животноводства будет использоваться и солома.

В республике разработаны машины для обеспечения технологических процессов заготовки кормов из трав и силосных культур, включая прицепные и навесные косилки-плющилки шириной захвата от 3 до 6 м, пресс-подборщик для заготовки кормов в крупногабаритные прямоугольные тюки, платформу с манипулятором для перевозки тюков и рулонов, агрегат для закладки на хранение и выгрузки кормов из хранилищ на базе самоходного шасси «Амкодор», агрегат для распределения и уплотнения силосной массы в траншеях к тракторам класса 5 и прицепы для перевозки кормов грузоподъемностью 15 и 20 тонн на унифицированном двух- и трехосном шасси (рисунки 5 и 6).

В ближайшие годы предусматривается выполнение работ по созданию высокопроизводительных косилок нового поколения шириной захвата до 12 метров, обеспечивающих ускорение темпов скашивания трав не менее чем в два раза и оснащенных унифицированным режущим



Рисунок 5. – Полуприцеп ПТ-15С



Рисунок 6. – Полуприцеп ПТ-20С

брусом, а также универсальным плющильным аппаратом для обработки бобовых и злаковых трав, что позволит обеспечить скашивание трав в агротехнические сроки с минимальными потерями питательных веществ.

Кроме того, для повышения эффективности технологии заготовки кормов в запрессованном виде намечено создание унифицированного оборудования для внесения консервантов в процессе прессования кормов, а также подборщиков-накопителей рулонов и тюков, применение которых позволит ускорить уборку с полей рулонов и тюков, а также снизить расход топлива на этой операции.

Эффективное использование высокопроизводительных кормоуборочных комбайнов возможно при наличии соответствующего шлейфа транспортных средств (прицепов-емкостей) для отвозки кормовой массы к месту хранения. Поэтому будут продолжены работы по созданию большегрузных грузоподъемностью 20–25 тонн тракторных полуприцепов на унифицированных шасси для перевозки сельскохозяйственных грузов, включая силосную и сенажную массу.

Механизация процессов уборки и доработки зерна и семян. Индикатором развития зернового подкомплекса, предусмотренного Государственной программой развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы, является достижение к 2020 году производства зерна в объеме не менее 10 млн тонн при урожайности зерновых не менее 41 центнера с гектара.

Для доработки зерна и семян в республике имеется порядка 3,0 тыс. зерноочистительно-сушильных комплексов и 7,8 тыс. зерноочистительных машин. При этом затраты на семена составляют до 25 % от общих затрат на производство зерна. Для приготовления семян зерновых, зернобобовых культур и рапса в республике разработан комплекс оборудования КОС-10 (рисунок 7), который предназначен для приема, очистки, сортирования семян зерновых колосовых, зернобобовых, крупяных культур и рапса с протравливанием (при необходимости) и последующим затариванием в мешки.



Рисунок 7. – Комплекс оборудования КОС-10

Для обеспечения своевременной и качественной уборки зерновых культур требуется в ближайшей перспективе провести исследования по разработке и созданию:

- высокопроизводительной зерноуборочной техники повышенной пропускной способности, 16–18 кг/с и 20–24 кг/с, и высокой технической надежности и проходимости;
- необходимой номенклатуры специальных транспортных средств на базе грузовых автомобилей различной грузоподъемности и мощности, включая накопители-перегрузчики зерна;
- по модернизации существующего парка механизированных зернотоков в направлении снижения эксплуатационных издержек – повышения энергоэкономичности, уровня автоматизации технологического процесса, снижения потерь и повышения качества продукции.

Механизация производства картофеля и овощей. Ежегодные объемы производства картофеля и основных видов овощной продукции позволяют обеспечивать потребность внутреннего рынка страны и увеличивать объемы поставок на экспорт.

Для механизации производства картофеля и овощей разработан новейший комплекс машин и оборудования, включая комбайны для уборки капусты и моркови, что позволяет механизировать процессы от посадки до предреализационной их подготовки, минимизировать импорт данной техники и поставлять ее на экспорт.

Концентрация посевов картофеля в крупнотоварных хозяйствах обуславливает необходимость разработки высокопроизводительной техники для его возделывания. В связи с этим стоит задача провести исследования по разработке шести-, восьмирядных культиваторов и сажалок, четырехрядных картофелеуборочных комбайнов, техники для послеуборочной доработки картофеля производительностью от 80 до 200 т/ч, а также современных машин по сортировке и переработке картофеля с внедрением контейнерного способа его хранения и машин для защитно-стимулирующей обработки семенного картофеля, оборудования для регулирования микроклимата и предреализационной обработки картофеля.

Механизация производства плодово-ягодной продукции. Потребление плодов и ягод на душу населения составляет в республике в среднем около 60 кг (60 % от норм, установленных ФАО). В настоящее время во всех хозяйствах Беларуси имеется 104,5 тыс. гектаров плодово-ягодных насаждений, из которых только 20 тыс. гектаров относятся к садам интенсивного типа, предназначенным для индустриального производства плодов и ягод, их хранения, промышленной переработки. Валовой сбор плодово-ягодных культур в стране составляет в среднем 563 тыс. тонн, однако эта продукция, как правило, невысокого качества в связи с неудовлетворительным сортовым и возрастным составом садов.

С целью повышения уровня механизации производства плодов и ягод по всем направлениям и снижения себестоимости продукции разработаны агрегат для уборки плодов и обрезки деревьев АСУ-6, комплекс уборки веток КУВ-1,8 и комбайн полурядный ягодоуборочный КПЯ (рисунк 8).



Рисунок 8. – Комбайн полурядный ягодоуборочный КПЯ

В настоящее время степень механизации работ на уборке плодов по трудозатратам составляет 10...15 %. В связи с этим требуется разработка следующих машин:

- для механизированного сбора плодов косточковых культур и ягод и подбора яблок с земли;
- для ухода за ягодниками (машин для обработки почвы в междурядьях ягодников, вырезки побегов, срезания старых кустов, измельчения в почве корневой системы ягодников и др.);
- для химической защиты садов, обеспечивающих снижение пестицидной нагрузки на 80...90 % и повышение производительности труда за счет одновременной обработки 2 рядов;
- технологических линий сортировки, фасовки плодов и упаковки.

Для механизации и автоматизации технологических процессов в свиноводстве разработан широкий спектр оборудования для содержания технологических групп свиней в секторе доразщивания, откорма и содержания хряков, станочное оборудование, устойчивое к коррозии, автоматизированный смеситель кормов для приготовления и раздачи влажных кормов, комплект оборудования для автоматизированного приготовления и нормированной раздачи жидких кормосмесей, автоматизированная станция индивидуального кормления свиноматок для приготовления и нормированной раздачи сухих кормов и комплект оборудования для многократного

кормления по биофазам животных. Все оборудование работает в автоматическом режиме с возможностью удаленного контроля через сеть Интернет. Разработки позволили значительно сократить импорт аналогичного оборудования из-за рубежа и максимально исключить влияние человеческого фактора на животноводческих фермах и комплексах.

Современные тенденции в развитии животноводческой отрасли Беларуси требуют скорейшего перехода от управления технологическими процессами и установками к управлению рентабельностью животноводческого предприятия с использованием новых инструментов принятия решений и технологий точного животноводства, обеспечивающих за счет максимального использования генетического потенциала животных увеличение продуктивности животных, снижение удельного расхода кормов и электроэнергии.

В ближайшей перспективе роботизация процессов в животноводстве достижима путем разработки базовых принципов и программно-технических средств построения интегрированных систем управления в животноводстве, средств автоматизации и роботизации в молочном и мясном скотоводстве, информационно-коммуникационных систем в свиноводстве, а также разработки и внедрения интегрированных систем энергообеспечения новых технологий в животноводстве на базе возобновляемых источников энергии.

Заключение

Для решения первоочередной задачи, стоящей перед аграриями республики по обеспечению конкурентоспособности производимой продукции в связи с постоянным удорожанием удобрений, средств защиты растений, энергоносителей и в связи с необходимостью удовлетворения возрастающих потребностей в качественном и экологически чистом продовольствии, необходимо широкомасштабное освоение энерго- и ресурсосберегающих технологий в рамках информационно-управляемого земледелия, в том числе системы точного земледелия. В этой связи важной является разработка оборудования и комплексов машин для реализации технологии точного земледелия, включающей в себя системы сбора и регистрации эксплуатационных параметров машинно-тракторных агрегатов, системы точного вождения агрегатов, картирования сельхозугодий, мониторинга урожайности и агрохимического состояния почв.

Необходима разработка оборудования и технических средств нового поколения, использующих современные навигационные системы глобального позиционирования для освоения такого направления, как точное позиционирование и автоматическое вождение широкозахватных агрегатов с точностью до 10 см, что позволит отказаться от использования традиционных маркеров, обеспечить точное вождение агрегатов в условиях сильной запыленности, недостаточной видимости и в темное время суток.

Важным направлением является оценка состояния среды произрастания растений и создание базы данных, в которой будут находиться сведения о площади, урожайности, агрохимических и агрофизических свойствах почвы и уровне развития растений с возможностью их графического отображения с помощью специального программного обеспечения на многослойных электронных картах, что позволит объективно оценивать производственный потенциал каждого поля и предприятия в целом.

Кроме того, в перспективе проведение широкомасштабных исследований по возможности использования дронов и беспилотных летательных аппаратов для выполнения задач анализа почвы и рельефа полей, внесения средств защиты растений, оценки состояния и мониторинга урожая.

Литература

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический сборник. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2017. – 233 с.
2. Беларусь и страны мира. Статистический сборник. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2016. – 389 с.
3. Яковчик, С.Г. Создание инновационной сельскохозяйственной техники в Республике Беларусь / С.Г. Яковчик, Н.Г. Бакач, Ю.Л. Салапура, Э.В. Дыба // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 70-летию со дня образования РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», Минск, 18–20 окт. 2017 г. / редкол.: П.П. Казакевич (гл. ред.), Л.Ж. Кострома. – Минск: Беларуская навука, 2017. – С. 3–9.

Н. Д. Лепешкин, А. А. Точицкий, В. В. Мижурин, Д. В. Заяц

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

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕХАНИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПОСЕВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ ДО 2030 ГОДА

С учетом почвенно-климатических условий Республики Беларусь, а также требований снижения себестоимости производимой продукции в рыночных условиях, снижения парка техники в хозяйствах, защиты почв от эрозии выделены основные направления создания новой техники до 2030 года.

Ключевые слова: урожайность, возделываемые культуры, обработка почвы и посев, себестоимость производимой продукции, почвозащитное земледелие, водная и ветровая эрозия, блочно-модульная конструкция, севооборот, минимальная обработка почвы.

N. D. Lepeshkin, A. A. Tochitskii, V. V. Mizhurin, D. V. Zajac

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization», Minsk, Republic of Belarus
e-mail: mehposev@mail.ru*

THE MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF MECHANIZATION OF SOIL TILLAGE AND SOWING IN THE REPUBLIC OF BELARUS UP TO 2030

Taking into account soil and climatic conditions of the Republic of Belarus, as well as the requirements of reducing production costs in market conditions, reduction of the equipment in the farms, protection of soil from erosion identified four main areas of establishment of the new technology until 2030.

Keywords: yield, cultivated crops, tillage and seeding, the cost of production, conservation agriculture, water and wind erosion, modular design, crop rotation, minimum tillage.

Введение

Рост урожайности возделываемых культур и снижение себестоимости производимой продукции составляют основу роста прибыли хозяйства. В Республике Беларусь в последнее десятилетие наблюдается устойчивый рост урожайности возделываемых культур. И это результат проявления в первую очередь таких факторов, как повышение доз вносимых органических, минеральных удобрений и средств защиты растений, качества семян, обработки почвы и посева. Однако себестоимость производимой продукции все еще остается высокой, что снижает ее конкурентоспособность в рыночных условиях и прибыльность хозяйств.

Одной из основных причин сложившейся ситуации является преобладание традиционной отвалной многооперационной системы земледелия, требующей больших затрат на выполнение механизированных работ и наличия большого количества техники. В результате применения 6- 9-польных севооборотов в хозяйствах имеет место большое многообразие различных агрофонов: зябь, свежая вспашка, стерня, пласт трав, поля после уборки кукурузы, свеклы, картофеля, рапса, льна и т. д. Для обработки почвы на каждом агрофоне требуются специальные рабочие органы, а для них – специальные машины: плуги, дисковые бороны, культиваторы, чизельные агрегаты, агрегаты для предпосевной обработки почвы и другие орудия. Как правило, это орудия узкого функционального назначения, которые используются в течение года непродолжительное время – 10–30 дней, остальное время неэффективно простаивают. В результате хозяйству необходимо содержать большой парк сельскохозяйственной техники и нести амортизационные, ремонтные и другие затраты.

Таким образом, помимо традиционных требований надежности и эффективности создаваемой техники, в рыночных условиях выступают требования высокой универсальности и многофункциональности.

С другой стороны, дальнейший рост производства сельскохозяйственной продукции и уменьшение ее себестоимости в хозяйствах невозможны без существенного снижения ресурсопотребления. Важнейшим резервом здесь является переход на системы минимальной обработки почвы с редким применением отвального плуга, с малым числом проходов агрегатов, неглубоким рыхлением, с применением гербицидов в зависимости от засоренности полей, а также с применением технологий прямого посева.

Еще одним основным направлением развития механизации обработки почвы и посева является создание специальной техники для почвозащитного земледелия, особенно на проблемных почвах.

Первую группу проблемных почв составляют супесчаные, подстилаемые песками и песчаные почвы. Удельный вес этих почв в республике составляет 44,5 %, а в Брестской и Гомельской областях – соответственно 74,2 и 77,4 %. В Полесском регионе постоянно возрастает доля торфяно-минеральных и минеральных почв, образовавшихся в результате деградации маломощных торфяников. В отдельных районах Брестской и Гомельской областей эти почвы занимают уже от 5 до 10 %. Именно легкие по гранулометрическому составу и деградированные почвы наиболее интенсивно подвергаются ветровой эрозии, имеют постоянный дефицит влаги ($600\text{--}700\text{ м}^3/\text{га}$), что ведет к недобору 7–8 ц/га зерна или 50–60 ц/га картофеля. Темпы дефляции в зависимости от компонентного состава почв на разных полях и рабочих участках могут изменяться от 1–3 до 15 т/га и более в год. Общая площадь дефляционно-опасных почв Полесья составляет около 1 млн га [1].

Второй группой проблемных почв в республике являются почвы на склоновых землях. Земли с потенциально возможным проявлением водной эрозии почв на склонах составляют 1,4 млн га. Водная эрозия наносит существенный эколого-экономический ущерб. Проведенные в Институте почвоведения и агрохимии НАН Беларуси исследования (А.Ф. Черныш) показывают, что на пахотных землях склоном $5^\circ\text{--}8^\circ$ и более ежегодно с одного гектара водосборной площади с поверхностным стоком смывается в среднем до 10–15 т твердой фазы почвы, 150–180 кг гумусовых веществ, безвозвратно теряется до 10 кг азота, 4–5 кг фосфора и калия, 5–6 кг кальция и магния, запасы продуктивной влаги на склоновых почвах на 30 % ниже по сравнению с выровненными почвами [2].

Потери гумуса и элементов питания, ухудшение агрофизических, биологических и агрохимических свойств отрицательно сказываются на производительной способности эродированных почв. Средние недоборы урожаев зерна из-за ухудшения свойств почв, подверженных эрозии, составляют, в зависимости от степени их эродированности, 12–40 %; пропашных – 20–60 %; льна – 15–40 %; многолетних трав – 5–30 % [3].

Третью особую группу в Республике Беларусь составляют тяжелые по гранулометрическому составу почвы, которых насчитывается 70,4 тыс. га. К ним относятся средние и тяжелые суглинки, легкие и тяжелые глины, содержащие 25 % и более физической глины (частицы размером менее 0,1 мм).

Тяжелые почвы обладают большими резервами минерального питания, которые потенциально способны обеспечить высокие урожаи возделываемых на них сельскохозяйственных культур. Однако эти почвы характеризуются неудовлетворительными водно-физическими свойствами, которые снижают на 20–30 % урожайность возделываемых культур [4].

Таким образом, почвенно-климатические условия Республики Беларусь наиболее остро требуют применения адаптированных к каждой группе почв технологий и средств механизации обработки почвы и посева.

Следующим важным направлением в развитии перспективной техники является разработка новых рабочих органов и машин, существенно повышающих качество обработки почвы и посева.

Основная часть

Как показывают исследования, применяемые в настоящее время способы обработки почвы и технические средства для их осуществления не в полной мере способствуют получению требуемого качества, что, в свою очередь, ведет к недобору урожая до 10–20 % и более. Особенно

большие потери происходят из-за переуплотнения почвы колесами тракторов и другой тяжелой техники, наличия плужной подошвы и уплотненных слоев почвы после прохода культиваторных, плоскорезных и других лап.

Однако наряду с созданием новой техники необходимо вести работу по модернизации уже созданной, в целях ее совершенствования.

С учетом важнейших направлений развития перспективной техники в 2000–2016 годах в НПЦ по механизации были созданы высокотехнологичные машины для минимальной основной и предпосевной обработок почвы.

Разработаны агрегат для безотвальной обработки тяжелых почв АБТ-4 и агрегаты комбинированные для минимальной обработки почвы АКМ-4 и АКМ-6 (рисунок 1) к тракторам тяговой мощностью 250–300 л.с. Агрегаты включают два ряда дисков, два ряда стрельчатых лап и один ряд катков, содержат в себе лучшие свойства дисковых борон и чизельных культиваторов. В процессе выполнения технологического процесса они качественно мульчируют, рыхлят, выравнивают и подуплотняют обрабатываемый слой почвы.



а



б

Рисунок 1. – Агрегаты комбинированные для минимальной обработки почв АКМ-4 (а) и АКМ-6 (б) производства ГП «Экспериментальный завод» РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

Еще большей универсальностью и функциональностью обладают новые агрегаты почвообрабатывающие многофункциональные АПМ-6 и АПМ-6А к тракторам 300–350 л.с., освоённые в производстве в ОАО «Бобруйсксельмаш» (рисунок 2). Агрегат АПМ-6А является модификацией агрегата АПМ-6 для почвозащитного земледелия.

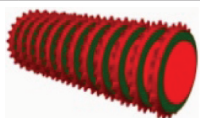
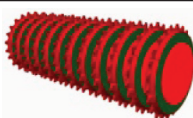
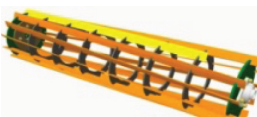
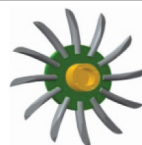
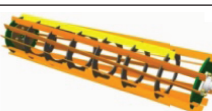


Рисунок 2. – Агрегат почвообрабатывающий многофункциональный АПМ-6 производства ОАО «Бобруйсксельмаш»

Агрегаты разработаны с использованием новых принципов конструирования, суть которых заключается в создании блочно-модульных конструкций.

Агрегаты способны работать на всех типах почв и выполнять все технологические операции обработки почвы в севообороте (кроме вспашки и боронования посевов) как в отвальной, так и почвозащитной системах земледелия. Это достигается благодаря набору рабочих органов (таблица 1) и блочно-модульной конструкции, обеспечивающей путем несложной перестановки блоков рабочих органов местами или замены их сменными блоками возможность составлять

Таблица 1. – Схемы комплектации агрегатов почвообрабатывающих многофункциональных АПМ-6 и АПМ-6А

№ п/п	Технологический процесс	Схема расстановки секций рабочих органов			
В системе традиционного земледелия (АПМ-6)					
1	Лущение жнивья, обработки пласта трав, сидератов и промежуточных культур (глубина обработки 6–12 см)				
		сферический диск	волнистый диск	каток с зубчатыми дисками	
2	Обработка полей на зябь, а также зяби под посев пропашных: свеклы, картофеля, кукурузы (глубина обработки 12–25 см)				
		сферический диск	рыхлительная лапа	выравниватель	каток с зубчатыми дисками
3	Послеуборочная обработка агрофонов высокостебельных культур: кукурузы, рапса, зеленых удобрений				
		спирально-ножевой каток		сферический диск	спирально-планчатый каток
В системе почвозащитного земледелия (АПМ-6А)					
1	Для послеуборочной мульчирующей обработки почвы на глубину 8–10 см, а также обработки почвы по мере прорастания сорняков или предпосевной обработки на глубину 6–8 см				
		волнистый диск игольчатый диск		спирально-планчатый каток	
2	Для мульчирующей обработки стерневых агрофонов на зябь (глубина обработки 12–25 см)				
		игольчатый диск	рыхлительная лапа	выравниватель	спирально-планчатый каток
3	Послеуборочная обработка агрофонов высокостебельных культур: кукурузы, рапса, зеленых удобрений	Схема расстановки секций рабочих органов такая же, как и в системе традиционного земледелия (№ 3)			

конструктивные схемы агрегатов, наиболее полно отвечающие технологическим процессам обработки различных агрофонов. Это основная их отличительная особенность от всех известных почвообрабатывающих орудий с классическим бессменным расположением рабочих органов на раме.

Каждая секция агрегатов состоит из двух блоков рабочих органов, которые крепятся к центральной раме с помощью замкового устройства. Для замены секции требуется всего 10–15 минут.

Универсальность и многофункциональность новых агрегатов АПМ-6 и АПМ-6А обеспечивает высокую эффективность их применения. Эксплуатация их в хозяйствах показывает, что

одним агрегатом можно обработать в севообороте не менее 1500 га пахотной земли в год. При этом в сравнении с существующими комплексами машин для обработки почвы их использование позволяет сократить в 3–4 раза парк необходимой техники, снизить на 34–52 % затраты труда и на 40–49 % – себестоимость механизированных работ.

В целях повышения качества и производительности труда разработана и выпускается на Брестском электромеханическом заводе полунавесная пневматическая сеялка С-9 шириной захвата 9 м к тракторам класса 5 (рисунок 3). Сеялка пневматическая С-9 предназначена для рядового посева семян зерновых колосовых, среднесеменных зернобобовых (горох, люпин), трав и других, аналогичных им по размерам, норме высева и глубине заделки семян, культур. Отличительные особенности: может применяться как в отвальной, так и безотвальной системах обработки почвы; вес равномерно распределяется по всей ширине захвата (независимо от заполнения бункера); имеет давление на сошник 160 кг, оборудована устройством для предпосевного выравнивания почвы.



Рисунок 3. – Пневматическая широкозахватная сеялка С-9

Совмещение предпосевной обработки почвы и посева – основной путь модернизации технологий как в отвальной, так и безотвальной системах земледелия, направленный на повышение качества сева, снижение ресурсопотребления, повышение плодородия почвы и урожайности возделываемых культур. Для этой цели в научно-практическом центре разработан и освоен в ОАО «Бобруйксельмаш» агрегат почвообрабатывающе-посевной со сменными активными и пассивными рабочими органами АППА-6. Агрегат имеет блочно-модульную конструкцию, что позволяет в зависимости от типа почв и системы земледелия оборудовать его различными почвообрабатывающими модулями. Для минимальной обработки почвы предусмотрены 2 модуля: (а) – с ножевидными и (б) – с дисковыми рабочими органами (рисунок 4).



а



б

а) АППА-6-02; б) АППА-6-03

Рисунок 4. – Агрегат почвообрабатывающе-посевной

В целях повышения производительности труда необходимо разработать и освоить в производстве почвообрабатывающее-посевной агрегат шириной захвата 9 м.

Таким образом, в Беларуси созданы основные базовые машины как для традиционной, так и для минимальной обработки почвы. Однако, наряду с необходимостью их дальнейшего совершенствования, требуется решить еще ряд вопросов и проблем в механизации обработки почвы и посева.

Так, требуется разработка нового глубокорыхлителя-щелевателя с послойным рыхлением почвы.

Агрегат необходим прежде всего для основной осенней безотвальной обработки почвы на глубину до 40 см под кукурузу, картофель, свеклу. Может также использоваться для весенней обработки почвы, для чего должен оборудоваться соответствующими блок-модулями рабочих органов.

Агрегат будет эффективен в системе минимальной обработки почвы. Благодаря глубокой (30–40 см) послойной обработке улучшается качество рыхления, а также разрушается плужная подошва и разрыхляются переуплотненные от следов колес тракторов и другой тяжелой техники слои почвы, что, по данным многолетних опытов институтов БелНИИПА и БелНИИМиЛ (1981–1985 гг.), повышает урожайность возделываемых культур на 6–26,3 %.

Особенно эффективен он может быть в системах минимальной и почвозащитной обработок почвы в борьбе с многолетними корнеотпрысковыми сорняками. Глубокое, до 40 см, послойное рыхление почвы позволяет порезать корневища сорняков на отрезки 8–10 см, что обеспечит их удушение и прекращение прорастания с глубины более 20 см (С. В. Сорока, 2005 г., В. Е. Синещев, 2012 г.).

Нерешенными вопросами еще остаются посев трав и их смесей на склоновых землях, сенокосах и пастбищах, их обработка, подкормка и подсев. Требуется разработка специальных многофункциональных сеялок и агрегатов по уходу за сенокосами и пастбищами.

Требуют решения вопросы механизации обработки торфяных почв. Как упоминалось выше, в последнее 10-летие происходит активный процесс их деградации. Для спасения этих почв требуется разработка специальных технологий обработки и посева. В первую очередь требуется разработка специального двухъярусного плуга. Суть его работы состоит в перемещении подстилаемого минерального грунта по профилю в откос борозды на дневную поверхность. При этом создается новый пахотный органоминеральный слой в 20–22 см, а почвенный профиль приобретает слоистое строение из чередующихся слоев торфа и песка, расположенных под углом около 45°. Мероприятие это разовое, а созданная таким образом техногенная почва с успехом может в последующие годы обрабатываться по одной из вышеизложенных систем.

Заключение

Принимая во внимание важнейшие требования к перспективной технике по основным направлениям ее развития до 2030 года, необходимо создать следующий новый комплекс.

Для почвозащитного земледелия на проблемных почвах:

1) агрегат вертикального рыхления почвы шириной захвата 9 м: состоит из двух рядов турбодисков, двух рядов игольчатых дисков и одного ряда спирально-планчатых катков; способен вести мульчирующее рыхление почвы на глубину 5–12 см; предназначен для весеннего закрытия влаги; предпосевной обработки почвы под посев яровых культур; обработки фонов озимых зерновых на корм после их скармливания под посев однолетних трав на корм; обработки пласта многолетних трав после их скашивания под вспашку; лущения жнивья; мульчирующей обработки лущеного жнивья на глубину 8–12 см для уничтожения проросших сорняков;

2) агрегат для послеуборочной обработки агрофонов высокостебельных культур шириной захвата 9 м: состоит из двух рядов спирально-ножевых катков, двух рядов турбодисков и одного ряда спирально-планчатых катков; предназначен для послеуборочного измельчения растительных остатков кукурузы, подсолнечника, люпина, травяных смесей перед дискованием или вспашки фона;

3) агрегат для основной безотвальной обработки почвы на зябь шириной захвата 6–9 м: состоит из двух рядов турбодисков, двух рядов чизельных лап и одного ряда спирально-планчатых катков; предназначен для безотвального мульчирующего рыхления почвы на глубину до 28 см;

4) сеялка зернотукотравяная прямого посева шириной захвата 6 м: состоит из двух рядов турбодисковых сошников, системы высева и загортачей; предназначена для посева зерновых, внесения стартовой дозы удобрений, посева трав и их смесей, а также подсева трав на сенокосах и пастбищах.

Для традиционного земледелия:

1) лушительный дисковый шириной захвата 9 м: состоит из одного ряда сферических дисков, установленных под углом атаки к направлению движения; предназначен для ранневесеннего закрытия влаги, лущения жнивья послеуборки зерновых, зяблевой обработки агрофонов в целях борьбы с сорняками;

2) агрегат блочно-модульный многофункциональный шириной захвата 9 м: состоит из трех основных комплектов рабочих органов: 1 – два ряда сферических дисков, два ряда волнистых дисков, один ряд спирально-планчатых катков; 2 – два ряда сферических дисков, два ряда чизельных лап, один ряд выравнивателей, один ряд спирально-планчатых катков, 3 – два ряда спирально-ножевых катков, два ряда сферических дисков, один ряд спирально-планчатых катков; предназначен для лущения жнивья, обработки пласта трав, сидератов и промежуточных культур на глубину 6–12 см; обработки полей на зябь, а также зяби под посев пропашных (свеклы, картофеля, кукурузы) на глубину 12–25 см; послеуборочной обработки агрофонов высокостебельных культур (кукурузы, рапса, зеленых удобрений);

3) агрегат блочно-модульный для отвально-безотвального глубокого послойного рыхления почвы шириной захвата 4–6 м: состоит из двух сменных блоков: плуга поворотного и глубоко-рыхлителя, одного ряда турбодисков и одного ряда спирально-планчатых катков; предназначен для отвальной пахоты на глубину до 28 см и безотвального глубокого, до 40 см, послойного рыхления различных агрофонов на зябь;

4) сеялка прямого посева шириной захвата 9 м.

Литература

1. Адаптивные системы земледелия в Беларуси / В. С. Антонюк [и др.]. – Минск: БелНИИАЭ, 2001. – 308 с.
2. Валько, В. П. Почва – фундамент биосферы / В. П. Валько // Международный аграрный журнал: Ежемесячный научно-производственный журнал для работников агропромышленного комплекса / В. П. Валько. – Минск, 1999. – С. 18–21.
3. Геаграфія глебаў з асновамі глебазнаўства / В.С. Аношка [і інш.]. – Мінск, 2000. – 329 с.
4. Горбылева, А. И. Почвы Республики Беларусь / А. И. Горбылева. – Минск, 2007. – 184 с.

УДК 631.333:631.862

Поступила в редакцию 31.03.2017
Received 31.03.2017

Л. Я. Степук, Н. Д. Лепешкин, П. П. Бегун, К. М. Рассошенко

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

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ НАВОЗА

Представлена информация о видах, составе и объемах получения навоза в Республике Беларусь, являющаяся первичным материалом для обоснования потребности в машинах для его утилизации, показаны реальные условия его накопления, хранения и применения, описана методика обоснования потребности в машинах для внесения подстилочного навоза, даны некоторые методические аспекты обоснования

потребности в машинах для внесения полужидкого и жидкого навоза. Приведено фактическое наличие машин на текущий момент в сравнении с наличием на 01.01.1991 г.

Ключевые слова: навоз, машины, компост, навозохранилища, комплексы.

L. Y. Stepuk, N. D. Lepeshkin, P. P. Begun, K. M. Rassoshenko

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization», Minsk, Republic of Belarus
e-mail: himvsh@mail.ru*

METHODICAL ASPECTS OF DETERMINING THE REQUIRED NUMBER OF MACHINES FOR IMPROVEMENT

The article provides information on the types, composition and volumes of manure in the Republic of Belarus, which is the primary material for the justification of the need machines for its utilization, the real conditions for its storage, storage and use are shown, the methodology for justifying the need machines for introducing litter manure, aspects of justifying the need for machines for applying semi-liquid and liquid manure. The actual availability of machines for the current time is given in comparison with the availability as of 01.01.1991.

Keywords: manure, machines, compost, manure storage facilities, complexes.

Введение

Навоз является основным источником пополнения гумуса в почве, запасы которого определяют показатель ее плодородия. Республика Беларусь имеет высокоразвитое животноводство, благодаря чему ежегодно накапливается и должно применяться более 40 млн *t* всех видов навоза, или почти 8 *t* на 1 га пашни. Однако в данный период в 70 районах республики отмечается отрицательный баланс гумуса, что не может не вызывать тревогу.

Одной из главных причин сложившейся ситуации, по нашему твердому убеждению, является недостаточная обеспеченность сельскохозяйственных предприятий и районных объединений «Белагросервиса» машинами для внесения твердого, полужидкого и жидкого навоза. Вместе с тем из уст управленцев МСХиП Республики Беларусь, ответственных за техническое обеспечение сельского хозяйства, можно слышать утверждение, что техники достаточно. Несовпадение точек зрения в данном вопросе является следствием отсутствия методически обоснованной информации о наличии и потребности в машинах для применения каждого вида навоза.

Также не способствует повышению содержания гумуса в почве нехватка хранилищ полужидкого навоза, из-за которой весь его объем практически отвозится от ферм, но не вносится в почву, а торфосоломонавозные компосты на его основе не готовятся.

Прежде чем перейти к изложению методических аспектов определения потребного количества машин для внесения всех видов навоза, следует обладать полной информацией о видах, составе и объемах накопления навоза, получаемого в условиях республики, оптимальных агротехнических сроках и дозах его применения.

Целесообразность представления такой информации объясняется еще и тем, что она обнаруживается в ограниченном количестве литературных источников и существуют определенные трудности ее поиска пользователями, занимающимися данной проблематикой.

Основная часть

Виды навоза. В настоящее время общепринято выделять следующие виды навоза: твердый или подстилочный, полужидкий, жидкий, а также различные компосты (торфонавозные, торфопометные, вермикомосты, с использованием соломы, костры льна, растительных остатков, древесных отходов и т.д.).

Твердый навоз (влажность 70–81 %) – это смесь кала, мочи и подстилочного материала. Получается при содержании животных на глубокой подстилке. При этом на одно взрослое животное расходуют в сутки или 4–6 кг соломы, или 3–4 кг сфагнового торфа, или 10–15 кг фрезерной торфокрошки. Его удаляют из помещений при помощи трактора и бульдозерной навески.

Полужидкий навоз (влажность 82–90 %) получается при содержании животных без подстилки или при использовании ее в небольшом количестве (1–1,5 кг на одно взрослое животное).

Из помещений такой навоз удаляют скребковыми транспортерами, скреперными устройствами или через решетчатый пол в каналы или в подвальное навозохранилище.

Жидкий навоз получается при содержании животных на щелевых полах без подстилки и при самотечной и смывной системах гидравлической уборки, содержит 90–94 % воды, может транспортироваться по каналам, трубам или перекачиваться насосами в навозохранилище.

Состав навоза. Содержание элементов питания в органических удобрениях в зависимости от вида подстилки, типа кормления животных может изменяться в широких пределах, что обуславливает необходимость контроля качества удобрений и содержания в них основных элементов питания.

В таблице 1 представлен средний состав органических удобрений (данные РУП «Институт почвоведения и агрохимии») [1].

В среднем по Республике Беларусь поступление элементов питания с органическими удобрениями характеризуется следующими величинами: N–3,5; P₂O₅ – 1,8; K₂O – 3,4; CaO – 2,3; MgO – 0,7; SO₄ – 0,5 кг на 1 т условного навоза [1].

Таблица 1. – Средний состав органических удобрений

Удобрение	Влажность, %	Содержание, кг/т						
		органическое вещество	Нобщ.	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄
Соломистый навоз								
КРС	75	210	5,0	2,5	6,0	4,0	1,1	0,6
свиньи	70	240	5,0	2,0	6,0	1,8	0,9	0,8
овцы	65	300	8,0	2,5	6,5	3,3	1,8	1,5
лошади	70	220	6,0	3,0	6,5	2,1	1,4	0,7
смешанный	75	220	5,0	2,5	6,0	3,5	1,2	1,0
Торфяной навоз								
КРС	75	220	6,0	2,0	5,0	4,5	1,0	0,5
лошади	70	230	8,0	2,5	5,5	4,4	1,2	0,4
Полужидкий навоз								
КРС	90	125	3,5	1,5	4,0	1,3	0,9	0,3
свиньи	90	115	4,5	2,5	3,0	1,9	1,0	0,4
Жидкий навоз								
КРС	95	40	2,0	1,0	2,5	0,5	0,4	0,1
свиньи	95	40	2,5	0,9	1,8	0,6	0,2	0,1
Навозные стоки								
КРС	98	18	0,7	0,4	0,7	–	–	–
свиньи	98	18	0,8	0,5	0,4	–	–	–
Птичий помет								
куры	55	350	16,0	15,0	8,0	24,0	7,0	4,0
утки	70	250	7,0	9,0	6,0	11,0	2,0	3,0
гуси	75	230	5,0	5,0	9,0	8,0	2,0	9,0
индюки	75	230	7,0	6,0	5,0	5,0	2,0	3,0
смешанный	60	320	15,0	14,0	7,0	17,0	5,0	3,0
Подстилочный помет	40	450	20,0	16,5	8,5	18,0	6,0	3,5
Птичий помет полужидкий	85	110	9,0	9,0	3,0	9,0	4,0	2,0
Птичий помет жидкий	95	40	3,0	2,5	1,0	4,0	1,2	0,7

Для определения вместимости навозохранилищ и накопителей, грузоподъемности кузовов и цистерн разбрасывателей удобрений необходимы сведения об объемной массе (плотности) удобрений.

В таблице 2 показаны возможные пределы изменения объемной массы органических удобрений и их составляющих.

Таблица 2. – Объемная масса и влажность органических удобрений и их составляющих [1]

Вид удобрения	Пределы изменения влажности, %	Среднее значение влажности, %	Пределы изменения объемной массы, %	Среднее значение объемной массы, %
Низинный торф	40...86	63,0	0,46...0,79	0,62
Верховой торф	40...86	63,0	0,52...0,73	0,62
Жидкий навоз КРС	88,5...95,1	91,8	0,99... 1,07	1,03
Жидкий навоз свиной	86,7...95,2	90,9	0,89... 1,09	1,04
Соломистый навоз (свежий)	73...85	79,0	0,58...0,92	0,75
Соломистый навоз (полуперепревший)	71...77	74,0	0,58...0,75	0,66
Соломистый навоз (перепревший)	62...70	66,0	0,90...1,000	0,95
Компост свежий (торфосоломистый)	65...75	70,0	0,49...0,72	0,60
Компост зрелый (торфосоломистый)	61...68	64,5	0,55...0,69	0,62

Объемы получения навоза. На 01.01.2015 г. в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь насчитывалось 4230 тыс. голов крупного рогатого скота, в том числе коров – 1433 тыс., свиней – 2466 тыс. и 42,7 млн голов птицы. Общий годовой выход только экскрементов от этих животных составляет примерно 45 млн тонн.

В данных экскрементах содержится не менее 132 тыс. *т* азота, более 81 тыс. *т* фосфора и 180 тыс. *т* калия в действующем веществе. Стоимость только этих питательных веществ (без стоимости микроэлементов) по ценам минеральных удобрений на 01.01.2015 г. составляет более 150 млн *долл. США*.

Кроме того, в экскрементах животных наряду с основными элементами питания растений (NPK) содержатся различные микроэлементы, которыми почвы Беларуси обеспечены слабо. Так, в получаемых объемах экскрементов содержится 690 *т* марганца, 115 *т* меди, 50 *т* бора, 7 *т* кобальта, 76 *т* цинка и ряд других микроэлементов [2].

При сложившейся в сельскохозяйственных организациях республики системе содержания животных и соответствующей механизации удаления навоза из помещений выход твердого (подстильного) навоза составляет 50 %, полужидкого – 20 %, жидкого – 30 % [1]. Исходя из чего в настоящее время в машиностроении существует разделение на машины для внесения твердого, полужидкого и жидкого навоза.

Приведенные данные об объемах и видах получаемого навоза необходимы для расчета потребности в соответствующих машинах для их внесения. При этом надо иметь ввиду, что твердый навоз – это смесь кала, мочи и подстильного материала. Согласно расчетам РУП «Институт почвоведения и агрохимии», сельскохозяйственным организациям необходимы 4500 тыс. *т* соломы и 2880 тыс. *т* торфа для компостирования с полужидким навозом ежегодно [2].

В нашей стране действуют более 210 животноводческих комплексов по производству молока, говядины и свинины. Почти на всех этих комплексах животные содержатся без подстилки. На них используются гидравлические системы удаления навоза, в результате чего получают *жидкий навоз*. Широкое применение этих систем обусловлено минимумом затрат труда на уборку навоза, простотой устройства, безопасностью для обслуживающего персонала и животных по сравнению с механическими, пневматическими установками и их сочетанием.

Вместе с тем эти системы для надежной работы требуют большого количества воды (35–40 л на одну корову и 5–7 л на одну свинью на откорме в сутки).

Выход жидкого навоза подвержен большим колебаниям, так как степень разбавления его водой различна. Это зависит от технологии содержания животных, объемно-планировочных и конструктивных решений в части сбора и хранения сточных устройств боксов и стойл, устройства и размещения кормушек и поилок, а главное – от способа уборки помещения и удаления из него навоза.

Ориентировочный выход экскрементов от одного животного (*кг*) на свиноводческих предприятиях представлен в таблице 3 [2].

Таблица 3. – Среднесуточный выход и влажность экскрементов от различных половозрастных групп свиней

Группа животных	Выход экскрементов, кг/гол.			
	влажность, %	всего	кал	моча
Хряки	89,4	11,1	4,6	6,5
Свиноматки:				
с поросятами	90,1	15,3	5,7	9,6
супоросные	91,0	10,0	5,1	4,9
холостые	90,8	8,8	4,5	4,3
Свиньи на откорме:				
массой более 80 кг	87,5	6,6	2,9	3,7
массой 40...80 кг	87,0	5,1	2,2	2,9
массой до 40 кг	86,6	3,5	1,5	2,0
Поросята-отъемыши	86,0	2,4	1,0	1,4

Средняя влажность экскрементов свиней на комплексах с замкнутым производственным циклом в зависимости от половозрастных групп животных, типов и способов кормления составляет 88,1–90,6 %.

В таблице 4 представлен среднесуточный выход экскрементов от различных половозрастных групп КРС.

Таблица 4. – Среднесуточный выход экскрементов от различных половозрастных групп КРС

Группа животных	Выход экскрементов, кг/гол.		
	всего	кал	моча
Быки-производители	40,0	30,0	10,0
Коровы	55,0	35,0	20,0
Молодняк на откорме в возрасте:			
до 4 месяцев	7,5	5,0	2,5
4...6 месяцев	14,0	10,0	4,0
6...12 месяцев	26,0	14,0	12,0
старше 12 месяцев	35,0	23,0	12,0
Телята до 6 месяцев	7,5	5,0	2,5
Молодняк 6...12 месяцев	14,0	10,0	4,0
Молодняк 12...18 месяцев и нетели	27,0	20,0	7,0

Средняя влажность экскрементов молодняка КРС составляет 86 %, молочных коров – 88 %.

В таблицах 3 и 4 указан ориентировочный выход бесподстилочного навоза без учета добавки воды к смеси кала и мочи при конкретных способах удаления навоза. Выход бывает значительно больше, особенно если боксы для отдыха и проходы размещены неправильно или вода расходуется в большом количестве для уборки и дезинфекции помещений при вспышке инфекционных болезней, а также в том случае, когда непрерывное удаление экскрементов затруднено вследствие неправильного выбора профиля канала или неплотности запорногошибера.

Общий канализационный сток с животноводческого комплекса, состоящий из жидкого навоза, производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод, силосного сока, ливневых вод, образует животноводческие стоки. На объем образующихся на промышленном комплексе стоков влияют системы их уборки и удаления (таблица 5).

Фактический объем стоков может в 2–4 раза превышать объем, указанный в таблице 5. Этот показатель зависит не только от уровня эксплуатации систем навозоудаления, но и от технического состояния автопоилок и других водопроводных узлов.

В Беларуси на долю навозных стоков животноводческих комплексов приходится более 50 % всех органических удобрений. В настоящее время, по разным оценкам, количество бесподстилочного навоза составляет порядка 19 млн м³ в год, из которых на животноводческие стоки приходится 13–14 млн м³.

**Таблица 5. – Объем стоков на промышленных комплексах
с различными системами удаления навоза из помещений [3]**

Вид комплекса	Количество голов единовременного содержания	Выход экскрементов животных, тыс. м³/год	Выход стоков с комплекса, тыс. м³/год	
			при самосплаве	при гидросмыве
Производство свинины				
На 12 тыс. гол.	12 000	36,0	52,4	101,0
На 24 тыс. гол.	24 000	70,5	96,8	195,5
На 54 тыс. гол.	37 000	114,0	181,0	332,5
На 108 тыс. гол.	73 000	239,0	321,0	940,0
Производство говядины				
На 600 коров	600	12,0	14,2	20,8
На 10 тыс. гол.	9 883	94,8	113,0	—
На 20 тыс. гол.	20 000	328,0	—	—
На 30 тыс. гол.	30 000	493,0	—	—
Производство молока				
На 800 коров	800	16	18,9	30,6
На 1200 коров	1 200	24,0	28,5	46,0

В немалой степени это происходит из-за отсутствия на ряде комплексов контрольно-измерительной аппаратуры для учета расхода воды и экономической мотивации работников в рациональном ее расходовании.

В результате утилизация навозных стоков с допустимой нагрузкой на почву (не более 200 кг азота на гектар) становится чрезвычайно энерго-, металло- и трудозатратным процессом.

Кроме того, многократное разведение экскрементов животных на комплексах привело к тому, что отведенные в их непосредственное землепользование площади для утилизации стоков стали не соответствовать фактически получаемым. На комплексах, где предусмотрены транспортировка и внесение навозных стоков мобильными машинами, как правило, не обеспечена полная потребность в последних. Все это не позволяет распределить навозные стоки с допустимой нагрузкой на почву по азоту.

На некоторых комплексах хотя и выполнены стационарные системы орошения полей навозными стоками, но на ограниченных (небольших) участках, что приводит к недопустимо высокому загрязнению в этих местах почвы, воды и воздуха.

Кроме отмеченных выше аспектов, при обоснования потребности в машинах для внесения органических удобрений необходимо также учитывать оптимальные сроки, требования к выполнению технологического процесса и несущую способность почвы в весенний и осенний периоды. Вызывает опасения сама работоспособность большегрузных разбрасывателей, снаряженная масса которых превышает 15–20 тонн.

Потребное количество машин для внесения твердого навоза. Для точного расчета необходимого количества машин для внесения твердых органических удобрений в оптимальные агросроки необходимо знать наиболее напряженные периоды выполнения этих работ. С этой целью строят графики машиноиспользования, в которых в данном случае отражается информация об использовании машин для внесения твердых органических удобрений либо в течение года, либо в самый напряженный период выполнения работ.

При построении графиков использования машины по оси абсцисс откладывают календарный период выполнения технологических операций, а по оси ординат – количество машин, которые запланированы для выполнения этих операций. Каждой операции на графике соответствует один прямоугольник, длина которого равна продолжительности выполнения операций (в днях), а высота – количеству машин, занятых на ее выполнении. Если сроки выполнения операций совпадают, то прямоугольники на графике строят один над другим. В таких случаях общая высота прямоугольников соответствует общему потребному количеству машин.

Таков порядок научного обоснования потребности во всех машинах без исключения, занятых в земледелии нашей страны. Знания о нем получают во всех агроинженерных учебных заведениях в процессе изучения предмета «Эксплуатация машинно-тракторного парка».

Только выполнив эти обязательные расчеты, можно объективно сделать вывод об уровне обеспеченности сельскохозяйственного предприятия той или иной техникой, а следовательно, и о возможном уровне ведения сельскохозяйственного производства в соответствующем предприятии: интенсивном или экстенсивном.

Не имея таких расчетов, не представляется возможным укомплектовать оптимальный состав машинно-тракторного парка соответствующего сельскохозяйственного предприятия. Также невозможно руководителю определиться с тем, какую технику и в каком количестве приобретать в первую очередь, какую – во вторую и т. д. В настоящее время сельскохозяйственные предприятия Республики Беларусь сильно укрупнены, глубокой специализации их не осуществлено. Поэтому эффективно управлять ими в новых условиях, базируясь только на интуиции, опыте руководителей, отдельных специалистов, невозможно.

В настоящее время в сельскохозяйственных предприятиях можно встретить разбрасыватели твердого навоза грузоподъемностью 7, 9, 11, 15, 18, 20 и 24 тонны. Возникают вопросы, какой из них, в каком сочетании, на каком поле, с каким погрузчиком наиболее рационально использовать? Рискнем заявить, что ответа на эти вопросы в хозяйствах не даст никто. Получается – работаем без достаточного экономического обоснования состава машинно-тракторного агрегата. Из чего следует, что отсутствует ясность в обоснованности такого типоразмерного ряда для республики.

Очевидно, что для каждого хозяйства будет рациональным необходимое именно ему количество тех или иных машин. Оно диктуется соответствующим количеством имеющегося навоза в хозяйстве, его размерами, размерами и конфигурацией полей, возделываемыми сельскохозяйственными культурами. Поэтому, не имея объективных исходных данных для расчета общей потребности в машинах для внесения твердых органических удобрений для страны в целом, выполнить его с высокой точностью не представляется возможным.

Для определения *потребного количества машин для внесения полужидкого навоза* надо проанализировать фактическое состояние дел с его накоплением, хранением и применением в сельском хозяйстве республики.

Полужидкий навоз получают в основном на фермах, комплексах, где его удаление из помещений осуществляют механическим оборудованием типа ТСН, дельта-скрепер и др. Накапливается он в прифермских навозохранилищах (если они имеются), в которых хранится длительное время и где происходит в какой-то мере его обеззараживание. Такой полужидкий навоз может быть внесен под соответствующие сельскохозяйственные культуры специальной машиной МПН-16 конструкции РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

Потребное количество машин для внесения жидкого навоза. Методика расчета потребного количества машин для внесения жидкого навоза несколько отличается от методики расчета потребного количества машин для внесения твердого навоза. Во-первых, потому, что годовой объем получаемого твердого навоза, как правило, вносится в тот же год, в основном осенью и в меньшей степени – весной. Во-вторых, его хранение не связано с наличием специальных хранилищ. В-третьих, известно, сколько и в какой период под каждую культуру его надо внести. Это четко прописывается в технологических картах на возделывание сельскохозяйственных культур. Более того, твердый навоз накапливается в стойловый период и в меньшей мере – в пастбищный период. Годовая загрузка машин для внесения твердого навоза на порядок меньше загрузки машин для внесения жидкого навоза.

Жидкий навоз получают практически круглый год, накапливают его в полевых резервуарах осветленных стоков (РОС). В технологических картах на возделывание сельскохозяйственных культур не прописывается: когда, куда и сколько его вносить. Поэтому построить графики машиноиспользования агрегатов для внесения жидкого навоза и достоверно определить полную потребность в них не представляется возможным. Хранение жидкого навоза осуществляют в открытых полевых резервуарах осветленных стоков, которые поочередно должны опорожняться весной и осенью. При этом не всегда ясно, на какие поля и сколько их можно внести. Ибо свободных полей в вегетационный период сельскохозяйственных культур практически не бывает. А освободить полевые РОСы для приема очередных объемов жидкого навоза, непрерывно по-

ступающего от ферм и комплексов, с соблюдением санитарных норм и экологических требований в короткое время (за 1–2 месяца) не представляется возможным. Следовательно, машины для внесения жидкого навоза должны работать почти круглогодично, что невыполнимо из-за занятости полей.

Под сенокосами и пастбищами в Беларуси находятся значительные площади пахотных земель, на которые можно было бы вносить жидкий навоз длительный период. Но из-за отсутствия гарантий, что навоз обеззаражен и нет опасности заражения трав, его внесение на эти посевы пока запрещено. Данное обстоятельство усугубляет проблему утилизации жидкого навоза и усложняет задачу определения потребности в машинах.

За рубежом, например в Дании и других скандинавских странах [4], жидкие органические удобрения используют под все сельскохозяйственные культуры, в том числе ими подкармливают посевы трав. Чтобы избежать загрязнения подземных вод, органические удобрения вносят только в установленных дозах и только в период роста растений – с февраля по май.

В виде исключения в отдельных случаях их можно вносить в ограниченном объеме в августе и сентябре под посевы трав и некоторые озимые культуры.

Нами выполнен расчет потребной площади пашни для утилизации фактического годового объема жидкого навоза, получаемого на комплексах различной мощности, а также определено минимально потребное количество транспортно-технологических единиц различной грузоподъемности для его перевозки и внесения. Результаты расчетов сведены в таблицу 6.

Таблица 6. – Результаты расчета потребной площади пашни для утилизации жидкого навоза и количества машин для его перевозки и внесения

Мощность комплексов	Выход экскрементов с комплекса, тыс. <i>м/год</i>		Содержание общего азота, <i>т</i>	Предельно допустимая доза внесения по азоту, <i>м/га</i>		Потребная площадь, <i>га</i>	Среднее расстояние перевозки, <i>км</i>	Потребность в машинах для перевозки и внесения навоза W=92 %/98 %, <i>ед.</i>		
	W=92 %	W=98 %		W=92 %	W=98 %			МЖТ-6	МЖТ-11	МЖТ-16
производство свинины										
на 12 тыс. голов	54,0	101,2	187,6	52,6	125,0	1876	2,9	6/11	4/6	3/5
на 24 тыс. голов	99,7	195,9	367,4			3674	4,1	13/25	8/14	6/10
на 54 тыс. голов	186,5	333,2	594,2			5942	5,2	31/49	18/28	12/20
на 108 тыс. голов	330,7	941,9	1245,7			12457	7,6	67/203	38/114	26/80
производство молока										
на 800 коров	19,3	30,8	65,9	71,4	166,7	659	1,7	2/3	1/2	1/1
на 1200 коров	29,0	46,2	98,8			988	2,1	3/4	2/3	1/2

Расчет выполнен для комплексов с самосплавной (W = 92 %) и гидросмывной (W = 98 %) системами удаления навоза из помещений при условии внесения его на 1 га в объеме, содержащем максимальную дозу азота 200 кг. Годовая загрузка машины принята равной 1100 часов. При этом потребная для утилизации жидкого навоза площадь находится вокруг комплекса и экскременты не разводятся водой на последующих этапах движения.

Так что результаты расчета потребного количества машин следует считать ориентировочными, минимально необходимыми.

Заключение

Авторы констатируют, что обеспеченность техникой для внесения всех видов навоза в целом по стране недостаточна. Это подтверждают цифры: на 01.01.1991 г. в сельском хозяйстве страны, по официальным данным, насчитывалось 25067 машин для внесения твердого навоза – грузоподъемностью 7, 9 и 11 тонн.

Имеются основания утверждать, что лишних машин для внесения подстилочного и жидкого навоза в то время не было. Машин для внесения полужидкого навоза вообще не производили.

На 01.07.2016 г. наше сельское хозяйство имело всего 5170 исправных машин для внесения подстилочного навоза, то есть в 5 раз меньше в сравнении с 1991 годом [5].

Некоторые оппоненты могут не согласиться с нашими выводами, ссылаясь на то, что в последние годы производят машины грузоподъемностью 15, 18, 20 и 24 тонны, и их требуется меньше. Но на 01.01.2015 г. таких машин выпущено всего 422 ед., что составляет менее 8,2 % от имеющегося парка. Поэтому принять этот довод оппонентов нельзя.

Говоря о потребном количестве машин для внесения полужидкого навоза, следует, прежде всего, отметить, что на ранее построенных фермах навозохранилища или вовсе не были предусмотрены, или к настоящему времени пришли в негодность. Полужидкий навоз из таких помещений удаляют механическими устройствами с одновременной погрузкой в специальные прицепы или даже в прицепы общего назначения, которыми доставляют его практически ежедневно на поле, естественно, необеззараженным. При этом навоз растекается, аммиачный азот улетучивается, чем наносится серьезный ущерб окружающей природной среде.

В условиях практически полного отсутствия возможности для накопления полужидкого навоза на таких фермах выход один – компостировать полужидкий навоз с торфом, соломой, опилками, отходами льняной переработки и т.п. Для этого также может быть использована машина МПН-16, способная послойно укладывать его в бурты. Последние должны перемешиваться аэратором-смесителем АСК-3,5, согласно технологии ускоренного приготовления компостов, разработанной РУП «Институт почвоведения и агрохимии» совместно с РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

Таким образом, потребное количество машин для внесения полужидкого навоза будет определяться именно перспективой внедрения данной технологии.

Фактически потребное количество машин для внесения жидкого навоза из комплексов различной мощности должно быть, по крайней мере, в два раза больше, чем показано в таблице 6. Подтверждением тому являются следующие данные. На 01.01.1991 г. в республике насчитывалось 10059 машин для внесения жидкого навоза грузоподъемностью 6 и 11 тонн, а на 01.01.2016 г. – всего 3300 машин.

В настоящее время в хозяйствах республики работает 205 большегрузных машин (16 и более тонн), что составляет 6,2 %. Такое количество погоды не делает, и оправдывать этим значительное снижение парка машин по сравнению с 1991 годом неправомерно.

Кроме того, с 1991 г. количество животноводческих комплексов существенно увеличилось, соответственно, возросли объемы получения жидкого навоза.

Сравнение же фактически отведенных каждому комплексу площадей для утилизации жидкого навоза с расчетным значением (таблица 6) показывает, что эти площади существенно занижены и не в состоянии принимать получаемые объемы навоза без нанесения ущерба окружающей природной среде.

Литература

1. Методические указания по учету и применению органических удобрений / Институт почвоведения и агрохимии. – Минск, 2007. – 16 с.
2. Рекомендации по применению различных видов органических удобрений под сельскохозяйственные культуры / В. В. Лапа [и др.]; Институт почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 40 с.
3. Современные методы утилизации отходов свиноводческих комплексов: обз. инф. / В. М. Кантес [и др.]. – М., 1973.
4. Степук, Л. Я. Проблемы применения навоза и пути их решения / Л. Я. Степук, А. Н. Ковгареня // Наше сельское хозяйство. – 2010. – № 2. – С. 55–63.
5. Степук, Л. Я. Производство и применение органических удобрений: технологии, техника и экология / Л. Я. Степук, А. Е. Пешко; Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2016. – 242 с.

В. В. Адамчук¹, С. П. Погорелый¹, Р. Е. Черняк², С. В. Дунь²

¹ННЦ «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»
Национальной академии аграрных наук Украины (ННЦ «ИМЭСХ»)
п. г. м. Глеваха, Киевская обл., Украина

²Частное акционерное общество «АвтоКрАЗ»
г. Кременчуг, Украина
e-mail: pogorilyy_sergiy@ukr.net

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОБИЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА МЭС-330 «АВТОТРАКТОР» НА ПАХОТЕ

Представлены экспериментальные исследования мобильного энергетического средства МЭС-330 «Автотрактор» на пахоте. Приведены основные эксплуатационные показатели, полученные при выполнении технологической операции пахотным агрегатом МЭС-330 + плуг Hektor-1000.

Ключевые слова: мобильное энергетическое средство, пахотный агрегат, автотрактор, технологические операции.

V. V. Adamchuck¹, S. P. Pogorelyy¹, R. E. Chernyak², S. V. Dun²

¹NSC «Institute for Agricultural Engineering and Electrification»
National academy of agrarian Sciences of Ukraine (NSC «IAEE»)
Glevakha, Kiev region, Ukraine

²Private joint stock company «AvtoKrAZ»
Kremenchug, Ukraine
e-mail: pogorilyy_sergiy@ukr.net

EXPERIMENTAL STUDIES OF MOBILE POWER EQUIPMENT MES-330 «AVTOTRAKTOR» ON PLOWING

Experimental studies of mobile power equipment MES-330 «Autotractor» on plowing are presented. The main operational indicators obtained during the execution of the technological operation by the MES-330 plow unit of the Hektor-1000 plow are given.

Keywords: mobile power tool, arable unit, automatic tractor, technological operations

Введение

Повышение годовой загрузки энергосредства в значительной степени влияет на себестоимость выполненных им работ, что, в свою очередь, влияет на себестоимость конечного продукта. Для производства сельскохозяйственной продукции технологические операции в поле при выращивании сельскохозяйственных культур выполняются тракторами, уборка урожая – комбайнами, транспортные операции – автомобилями. Одним из путей повышения годовой загрузки энергосредств является использование их как на тяговых (в поле), так и на транспортных операциях.

Использование на транспортных операциях тракторов потребует значительных изменений в их конструкции, в частности: подвески для поглощения неровностей дорог, которая для больших масс требует реализации сложных технических решений; системы управления трактором; увеличения продольной базы трактора; изменения трансмиссии (коробка передач, главная передача, бортовая передача и т.д.); тормозной системы и других. Стоимость такого трактора увеличится в несколько раз по сравнению с существующими моделями.

Использование автомобильного шасси повышенной проходимости на выполнении сельскохозяйственных технологических операций позволит решить упомянутую выше проблему с меньшими затратами.

Наиболее приспособлено к условиям поля (малая несущая способность почвы, высокая запыленность) автомобильное шасси КрАЗ-6322, которое серийно изготавливается в Украине частным акционерным обществом «АвтоКрАЗ».

Расширение сферы применения автомобильных шасси позволит повысить эффективность их использования, увеличить годовую загрузку и уменьшить простой.

По результатам совместной работы ЧАО «АвтоКрАЗ» и ННЦ «ИМЭСХ» было создано мобильное энергетическое средство МЭС-330 «Автотрактор» (рисунок 1).



Рисунок 1. – Мобильное энергетическое средство МЭС-330 «Автотрактор»

МЭС-330 имеет массу 11700 кг, мощность двигателя 243 (330) кВт (л.с.), колесную формулу 6×6, максимальная скорость движения – 80 км/ч. На раму МЭС-330 устанавливаются емкости с технологическим материалом (массой 8–10 т), в задней части установлено навесное устройство типа НУ-3, с помощью которого осуществляется агрегатирование как навесных, так и прицепных сельскохозяйственных машин или орудий. Установлен вал отбора мощности, он имеет скорость вращения 1000 и 540 мин⁻¹. Масса технологического материала дает возможность увеличить сцепные свойства «Автотрактора». МЭС оборудовано централизованной системой контроля давления в шинах колес, которая позволяет снижать давление при выполнении сельскохозяйственных операций в поле в пределах 0,08–0,15 МПа и увеличивать его до рекомендуемых значений на транспортных переездах (0,35–0,5 МПа), а также регулировать его в процессе выполнения технологической операции по мере уменьшения массы технологического материала. МЭС оборудовано 8-ступенчатой механической коробкой передач, что позволяет обеспечивать необходимую рабочую скорость движения машинного агрегата. Трансмиссия МЭС имеет межколесные и межмостовые управляемые дифференциалы, которые дают возможность получить высокие тяговые показатели при их блокировании на тяговых операциях, а разблокирование исключает появление паразитной мощности.

Результаты исследований

Повышению эффективности использования грузовых автомобилей путем их применения на тягово-транспортных технологических операциях посвящено много работ [1–4]. В большинстве указанных источников грузовой автомобиль используют на технологических операциях по внесению технологических материалов, не требующих высоких тяговых показателей. Однако использование грузовых автомобилей на тяговых операциях мало исследовано.

Технологическая операция основной обработки почвы является наиболее энергоемкой, поэтому мы приняли решение исследовать МЭС-330 именно на пахоте. Для проведения экспериментальных исследований был выбран 7-корпусный оборотный плуг Нектор-1000 (рисунок 2).

Для определения эксплуатационных показателей МЭС-330 оснащался измерительно-регистрирующим оборудованием, в частности топливомером, путеизмерительным колесом, датчиками оборотов двигателя и колес автомобиля, блоком регистрации данных.

Условия проведения исследований: фон – стерня после уборки зерновых культур; влажность воздуха составляла 47 %; твердость и влажность почвы в слоях 0–10 см составляла 2,5 МПа и 10 %; 10–20 см – 2,3 МПа и 14 %; 20–30 см – 1,9 МПа и 16 %; длина зачетного участка – 100 м.



Рисунок 2. – Пахотный агрегат МЭС-330 + плуг Hektor-1000

Испытания проводились по следующей методике: МЭС-330 с плугом заезжал на поле, температура охлаждающей жидкости при прогреве двигателя достигала 70 °С; затем он выезжал на разгонный участок (длиной 50 м) и опускал плуг в рабочее положение, а набрав постоянную скорость, проезжал зачетный участок. При этом фиксировались обороты двигателя, обороты колес, время проезда зачетного участка, расход топлива. В процессе исследований менялась скорость движения МЭС (передаточное число коробки передач). МЭС-330 двигался в борозде. Условия и методика испытаний соответствовала требованиям ДСТУ ГОСТ 7057 [5].

Результаты исследования пахотного агрегата МЭС-330 + Hektor-1000 представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты исследований пахотного агрегата МЭС-330 + Hektor-1000

№, передач	Скорость движения, км/ч	Буксование, %	Расход топлива, л/га	Обороты двигателя, мин ⁻¹	Ширина захвата, м	Глубина обработки, см
1 н	5,9	9,5	23,2	2000	2,8	32
2 н	7,3	18	23,5	2000		
1 в	7,5	13,1	22,7	2000		

Как видно из таблицы 1, при увеличении передаточного числа коробки (передача 2 н) фактическая скорость движения агрегата уменьшается по сравнению с расчетным ее значением. При этом буксование агрегата увеличивается с 9,5 до 18 %. Это подтверждает, что у агрегата недостаточно сцепного веса. Температура охлаждающей жидкости двигателя МЭС-330 не превышала 85 °С, что свидетельствует о его недогрузке.

Указанные выше результаты исследований получены на опытном участке без учета разворотов, подъема-опускания плуга, свойственных реальным условиям эксплуатации. Учитывая это, были проведены эксплуатационные исследования упомянутого агрегата в реальных условиях (рисунок 3). При этом условия проведения испытаний были следующими: фон – стерня после уборки рапса; влажность воздуха составляла 52 %; твердость и влажность почвы в слоях 0–10 см составляла 2,3 МПа и 17,2 %; 10–20 см – 2,1 МПа и 16,8 %; 20–30 см – 1,8 МПа и 16,0 %; длина поля – 1038 м.



Рисунок 3. – Эксплуатационные исследования пахотного агрегата МЭС-330 + плуг Hektor-1000

По результатам эксплуатационных исследований было установлено, что при условиях обеспечения ширины захвата 2,8 м, глубины обработки 32 см рабочая скорость составляла 7,5 км/ч, буксование не превышало 15 %, производительность агрегата составила 1,29 га/ч, а расход топлива – 25 л/га. Температура охлаждающей жидкости двигателя МЭС-330 не превышала 90 °С, что говорит о нормальной его работе.

Заключение

Использование мобильного энергетического средства МЭС-330 «Автотрактор» на выполнении сельскохозяйственных операций в поле увеличит его годовую загрузку и уменьшит себестоимость выполнения им работ. Установлено, что пахотный агрегат МЭС-330 + плуг Нектор-1000 при условиях обеспечения ширины захвата 2,8 м, глубины обработки 32 см, скорости движения 7,5 км/ч имеет буксование не более 15 % и обеспечивает производительность 1,29 га/ч при расходе топлива 25 л/га.

Литература

1. Шкель, А. С. Исследование технологии внесения жидких органических удобрений транспортно-технологическим агрегатом сельскохозяйственного назначения / А. С. Шкель, М. А. Козловская, Т. Д. Дзюцендз // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 7. – С. 47–50.
2. Дзюцендз, Т. Д. Функциональное назначение автомобилей для сельских поселений / Т. Д. Дзюцендз, А. Г. Левшин, Н. Е. Евтушенко, М. А. Козловская, А. Е. Мягков // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 4. – С. 8–11.
3. Адамчук, В. В. Использование автомобильного шасси для выполнения технологических операций в агропромышленном производстве / В. В. Адамчук, С. П. Погорелый // Motrol «Commission of motorization and energetics in agriculture». – Lublin-Rzeszow, 2016. – Vol. 18, № 8. – С. 93–98.
4. Машина химизации самоходная МХС-10. Руководство по эксплуатации МХС 00.00.000 РЭ. – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2010. – 51 с.
5. Трактори сільськогосподарські. Методи випробувань: ДСТУ ГОСТ 7057–2003. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 11 с.

УДК 631.362

Поступила в редакцию 05.09.2017

Received 05.09.2017

В. В. Адамчук, А. Н. Прилуцкий

*ННЦ «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»
Национальной академии аграрных наук Украины (ННЦ «ИМЭСХ»)
п. г. т. Глеваха, Киевская обл., Украина
e-mail: vvadamchuk@gmail.com; kb@vibroseparator.ua*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ РЕШЕТ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕПАРИРОВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ СМЕСЕЙ

В статье приведены результаты теоретических исследований влияния колебательного движения решет на эффективность сепарирования зерновых смесей.

Установлено, что в некотором приближении процессы сепарирования плоскими колеблющимися гравитационными и коническими виброцентробежными решетками с вертикальной осью вращения и осевыми колебаниями имеют подобие.

Плоские колеблющиеся гравитационные решета обеспечивают процесс движения слоя сепарируемой смеси по их поверхности при воздействии на него как составляющей силы колебательного движения вдоль поверхности решета, так и действующей в нормальном направлении составляющей этой силы, что создает условия интенсификации внутрислоевого процесса – сегрегации, а в итоге повышается интенсивность просеивания частиц.

Цилиндрические виброцентробежные решета с вертикальной осью вращения и осевыми колебаниями обеспечивают значительное повышение производительности просеивания за счет увеличения силы

прижатия сепарируемого слоя зерновой смеси к поверхности решета, вызванного центробежной силой их вращательного движения. Однако процесс сегрегации в слое происходит только за счет действия силы колебательного движения вдоль поверхности решет, вызванного осевыми колебаниями, что не обеспечивает интенсификации этого процесса подобно процессу сепарирования плоскими колеблющимися гравитационными и коническими виброцентробежными решетками.

Процессы сепарирования плоскими колеблющимися гравитационными и коническими виброцентробежными решетками с вертикальной осью вращения и осевыми колебаниями (поверхность решет в виде участка боковой поверхности усеченного обратного конуса) имеют наибольшее сходство по действию сил на сепарируемый слой зерновой смеси.

Конические виброцентробежные решета обеспечивают слою сепарируемой смеси как прижатие к их внутренней поверхности, так и интенсификацию процесса сегрегации за счет составляющей силы колебательного движения в нормальном направлении, что делает их более эффективными.

Ключевые слова: решета, гравитация, колебания, сегрегация, сепарирование, зерновая смесь, эффективность.

V. V. Adamchuk, A. N. Prilutsky

*NSC «Institute for Agricultural Engineering and Electrification»
National academy of agrarian Sciences of Ukraine (NSC «IAEE»)
Glevakha, Kiev region, Ukraine
e-mail: vvadamchuk@gmail.com; kb@vibroseparator.ua*

THEORETICAL STUDIES OF THE EFFECT OF VIBRATIONAL MOTION OF GRATINGS ON THE EFFICIENCY OF SEPARATION OF SEED MIXTURES

The article presents the results of theoretical studies of the influence of the vibrational motion of gratings on the efficiency of separation of seed mixtures.

It is established that, in some approximation, the processes of separation by plane oscillating gravitational and conical vibrating centrifugal gratings with a vertical axis of rotation and axial oscillations have a similarity.

Flat oscillating gravitational sieves provide the process of movement of a layer of a separated mixture over their surface when exposed to it as a component of the vibrational motion along the surface of the sieve, and acting in the normal direction of the component of this force, which creates conditions for intensification of the interlayer process – segregation, Intensity of particle sifting.

Cylindrical vibrating centrifugal sieves with a vertical axis of rotation and axial oscillations provide a significant increase in sieving performance due to an increase in the force of pressing the separable layer of the seed mixture to the sieve surface caused by the centrifugal force of their rotational motion. However, the process of segregation in the layer occurs only due to the action of the vibrational motion along the surface of the sieves caused by axial oscillations, which does not ensure the intensification of this process, similar to the process of separation by plane oscillating gravitational and conical vibrocentrifugal gratings.

The processes of separation of flat oscillating gravitational and conical vibrating centrifugal gratings with a vertical axis of rotation and axial oscillations (the surface of the sieves in the form of a section of the lateral surface of a truncated cone) have the greatest similarity with respect to the action of forces on the separable layer of the seed mixture.

The conical vibrating centrifugal sieves provide the layer of the separated mixture both by pressing against their internal surface and intensifying the segregation process due to the component of the vibrational motion in the normal direction, which makes them more efficient.

Keywords: sieves, gravity, oscillations, segregation, separation, seed mixture, efficiency.

Введение

Расширение посевов зерновых, зернобобовых, кукурузы и масличных культур и увеличение валовых сборов зерна и семян требуют снижения затрат труда на их послеуборочную обработку, которая является наиболее трудоемким процессом всего комплекса производства этих культур. Успешное решение задачи невозможно без значительного повышения производительности труда за счет использования новых высокопроизводительных сепарирующих рабочих органов зерноочистительных машин с высокими технико-экономическими показателями.

Известные воздушно-решетные зерноочистительные машины с гравитационными рабочими органами, которые выполнены в виде плоских колеблющихся решет, имеют ограниченную ин-

тенсивность сепарирования зерновых материалов, что не позволяет создать, основываясь на принципе их работы, высокопроизводительные машины с обеспечением необходимого качества сепарирования.

Дальнейшее усовершенствование процесса сепарирования зерновых материалов по размерам (ширине и толщине) компонентов зерновой смеси подсевными и сортировальными решетками может быть достигнуто лишь путем интенсификации их работы. Исходя из необходимости обеспечения подобия гравитационному процессу сепарирования зерновой смеси, целесообразным приемом обеспечения интенсификации процесса может быть применение дополнительного прижатия слоя к сепарирующей поверхности, которое возникает в результате вращательного движения решета, выполненного в форме поверхности вращения с вертикальной осью и ее осевыми колебаниями, что характеризует новый вид зерновых сепараторов, которые называют виброцентробежными. Такие зерновые сепараторы в последние три десятилетия широко применяются в агропромышленном комплексе Украины.

Учитывая необходимость дальнейшего совершенствования виброцентробежных решетных сепараторов на основе подобия их процесса сепарирования и процесса сепарирования гравитационными плоскорешетными сепараторами, возникла необходимость дополнительных исследований влияния колебательного движения решет на эффективность сепарирования зерновых смесей с целью установления рационального кинематического режима их работы и использования результатов для совершенствования конструкции зерноочистительных машин.

Результаты исследований

Вследствие большой сложности протекания процесса воздействия колебаний решет на слой зернового материала процесс сепарирования зерновой смеси можно разделить на три тесно связанных друг с другом элемента: колебательное движение решета, характеризующееся амплитудой, частотой и направленностью; взаимодействие колеблющейся поверхности с обрабатываемой средой; внутрислойные процессы перераспределения частиц в зависимости от их физико-технологических свойств (сегрегация).

В результате исследований, выполненных авторами работ [1, 2, 3, 4], установлено, что зерновой слой, находящийся на поверхности плоского колеблющегося решета, может находиться в трех состояниях: уплотненном, разрыхленном и хаотически разрыхленном. Перераспределение частиц зерновой смеси в слое возможно только при разрыхленном состоянии. Для обеспечения наибольшей скорости движения частиц в слое по вертикали целесообразно добиваться необходимого уровня ускорения колебаний среды при возможно меньшей частоте колебаний.

Автором работы [5] установлено, что при «вскруживании» процесс сегрегации происходит без вибрационного воздействия на слой зерновой смеси в результате взаимного горизонтального перемещения частиц в этом слое.

Результаты исследования сепарирования зерновых материалов виброцентробежными цилиндрическими решетками с вертикальной осью вращения [6, 7, 8, 9, 10] показывают, что перемещение материала по сепарирующей поверхности таких решет обеспечивается за счет действия веса и силы колебательного движения частиц, а внутрислойное перераспределение частиц происходит за счет разрыхления зернового слоя силой колебательного движения, передающейся поверхностью решет соприкасающимся с ней частицам, то есть за счет послойного взаимоперемещения частиц в продольном направлении вдоль поверхности решет.

Анализ процесса воздействия колеблющихся поверхностей плоских гравитационных и вертикальных цилиндрических центробежных решет на зерновой слой показывает, что характер взаимодействия поверхностей и слоя зерновой смеси не имеет подобия в полной мере, а именно отсутствует геометрическое подобие и подобие действия сил. В связи с этим применение известных методик расчета движения частиц [8, 9] по поверхностям указанных решет, по нашему мнению, можно считать приемлемыми для тонкого зернового слоя [11], то есть только в части кинетики просеивания частиц решетками.

Применение термина «потенциальное центробежное силовое поле» [12] при рассмотрении аналогий в кинематических режимах плоских гравитационных и цилиндрических виброцентро-

бежных решет зерноочистительных машин нельзя считать объективным, так как геометрическое сложение действующих на частицы сепарируемой смеси сил гравитации и центробежной не позволяет объективно оценить влияние кинематических режимов указанных решет на процесс сепарирования.

Исходя из анализа оптимальных условий процесса сепарирования и учитывая несоответствие действия сил на слой зерновой смеси этим условиям, при сепарировании виброцентробежными цилиндрическими решетками с осевыми колебаниями для снижения влияния повышенной скорости движения зернового слоя вдоль сепарирующей поверхности решет авторы работ [13, 14, 15] предлагают устанавливать на их внутренней поверхности интенсификаторы внутрислойного перераспределения. Необходимо отметить, что такое решение приведет к усложнению конструкции решет и нарушению протекания рабочего процесса.

Результаты исследований процессов сепарирования зерна вертикальными виброцентробежными решетками с конической поверхностью (или участками конических поверхностей) [16, 17] подтверждают повышение эффективности сепарирования зерновых материалов такими решетками, что вызвано, очевидно, благоприятным сочетанием формы сепарирующей поверхности и действия ее колебательного движения, однако такой процесс изучен в недостаточной степени и требует дополнительных исследований.

Целью исследований было определение влияния колебательного движения плоских гравитационных, вертикальных виброцентробежных цилиндрических и конических решет на эффективность сепарирования зерновых смесей для дальнейшей разработки рекомендаций по выбору формы решетных поверхностей зерноочистительных машин и установлению рациональных кинематических режимов их колебательного движения. Исследования проводились аналитическим и теоретическим методами с разработкой механико-математических моделей процессов колебательного движения решет и относительного перемещения слоя зерновой смеси по их поверхностям, в частности кинематики и динамики материальных тел.

Колебательное движение решета определенной формы поверхности и расположения в пространстве характеризуется амплитудой, частотой и направленностью колебаний относительно поверхности решета. Взаимодействие колеблющейся поверхности решета с обрабатываемым зерновым материалом вызывает внутрислойные процессы перераспределения частиц в зависимости от их физико-механических свойств при одновременном перемещении слоя по поверхности решета со скоростью, обеспечивающей оптимальные условия прохождения частиц сквозь отверстия этого решета. В результате колебательное движение решета с оптимальными его параметрами обеспечивает наивысшее качество сепарирования при наименьшей площади поверхности решета, что является отличительной характеристикой оценки его эффективности.

В практике использования решетных колеблющихся поверхностей наибольшее распространение получили плоские гравитационные, цилиндрические и конические центробежные с вертикальной осью вращения, влияние колебательного движения которых на эффективность сепарирования зерновых смесей возможно оценить путем проведения сравнительных экспериментальных исследований. Однако оценить потенциальные возможности влияния колебательного движения указанных решет на процесс сепарирования представляется возможным за счет анализа комбинации составляющих силы нормальной реакции N и результирующей силы R , действующих на частицу зерновой смеси, находящуюся на поверхности указанных решет (рисунок 1).

Принципиальные схемы взаимодействия частиц сепарируемой смеси с поверхностью решет представлены на рисунке 1, где условно обозначены:

m – масса частицы;

$G = mg$ – вес частицы;

$P = me\omega_1^2$ – сила инерции колебательного движения;

$F = mr\omega_2^2$ – центробежная сила;

e – радиус кривошипа – амплитуда колебания решета;

r – радиус поверхности решета;

ω_1 – угловая скорость вращения кривошипа;

ω_2 – угловая скорость вращения поверхности решета;

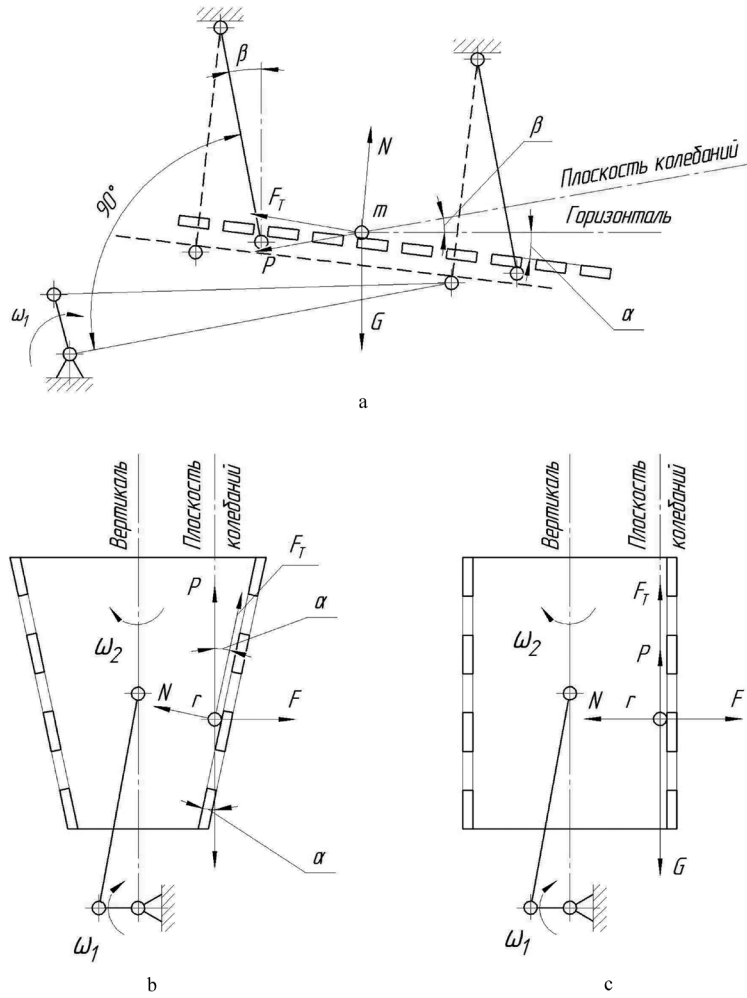


Рисунок 1. – Принципиальные схемы взаимодействия частиц сепарируемой смеси с поверхностью решет:
(а) гравитационного плоского; (b) центробежного конического; (с) центробежного цилиндрического

α – угол наклона плоского решета к горизонту,

образующей конического решета к направлению колебаний;

β – угол направлений колебаний плоского решета;

$F_T = fN$ – сила трения зерна по поверхности решета;

f – коэффициент трения;

R – результирующая сила в плоскости (направления образующей) поверхности решета.

Запишем значения силы нормальной реакции N и результирующей силы R в крайних положениях кривошипа для:

– плоского гравитационного решета:

$$\left. \begin{aligned} N &= \pm P \sin(\alpha + \beta) + G \cos \alpha = \pm m\omega_1^2 \sin(\alpha + \beta) + mg \cos \alpha; \\ R &= G \sin \alpha \pm P \cos(\alpha + \beta) - fN = mg \sin \alpha \pm m\omega_1^2 \cos(\alpha + \beta) \pm \\ &\quad \pm f m\omega_1^2 \sin(\alpha + \beta) + fmg \cos \alpha; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

– конического центробежного решета:

$$\left. \begin{aligned} N &= \pm P \sin \alpha + G \sin \alpha + F \cos \alpha = \pm m\omega_1^2 \sin \alpha + mg \sin \alpha + mr\omega_2^2 \cos \alpha; \\ R &= \pm P \cos \alpha + G \cos \alpha - fN = \pm m\omega_1^2 \cos \alpha + mg \cos \alpha \pm \\ &\quad \pm f m\omega_1^2 \sin \alpha + fmg \sin \alpha + fmr\omega_2^2 \cos \alpha; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

– цилиндрического центробежного решета:

$$\left. \begin{aligned} N &= F = mr\omega_2^2; \\ R &= G \pm P - F_T = mg \pm me\omega_1^2 - fmr\omega_2^2. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Результаты анализа систем уравнений (1), (2) и (3) показывают, что для плоского гравитационного и конического центробежного решет как в вертикальном направлении воздействия колеблющейся поверхности на частицу в слое, так и в плоскости поверхности решета силы N и R имеют переменное значение их величины, что характеризует разрыхляющее действие колебательного движения на слой зерновой смеси. За счет этого обеспечивается интенсивность внутрислоевого перераспределения частиц в зависимости от их физико-механических свойств.

Для цилиндрического центробежного решета переменное воздействие его колеблющейся поверхности на частицу возникает лишь в направлении действия результирующей силы R вдоль образующей поверхности решета за счет составляющей силы колебательного движения, которое обеспечивает разрыхление слоя зерновой смеси, однако в значительно меньшей степени, чем колеблющейся поверхностью конического решета, что подтверждено результатом сравнительных экспериментальных исследований конических и цилиндрических виброцентробежных решет [17].

Заключение

Анализ геометрических форм и действия колебательного движения плоских гравитационных, конических и цилиндрических виброцентробежных решет с вертикальной осью вращения подтверждает аналогии их процессов сепарирования зерновых смесей, однако подобия они не имеют. Колебательное движение плоских гравитационных и конических виброцентробежных решет оказывает более эффективное действие на разрыхление слоя сепарируемой смеси по сравнению с действием цилиндрических виброцентробежных решет за счет составляющей их колебательного движения в нормальном направлении. Учитывая то, что центробежные конические и цилиндрические решета обладают более интенсивным процессом просеивания частиц зерновой смеси, а очистка отверстий конических решет характеризуется сложностью, использование их поверхностей при конструировании новых зерноочистительных машин целесообразно в комбинации конических неперфорированных поверхностей с цилиндрическими перфорированными.

Литература

1. Блехман, И. И. Движение частицы в колеблющейся среде при наличии сопротивления типа сухого трения / И. И. Блехман, В. В. Гортинский, Г. Е. Птушкина // Известия Академии наук СССР. Механика и машиностроение. – М., 1963. – № 4. – С. 31–41.
2. Волик, Р. Н. Некоторые вопросы воздействия вертикальных вибраций на слой зернового материала и экспериментальные исследования / Р. Н. Волик // Труды Всесоюзного НИИ зерна и продуктов его переработки. – 1962. – Вып. 42. – С. 77–90.
3. Гортинский, В. В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / В. В. Гортинский, А. Б. Демский, М. А. Борискин. – М.: Колос, 1980.
4. Машины для послеуборочной поточной обработки семян / З.Л. Тиц [и др.]. – М.: Машиностроение, 1967.
5. Ульянов, А. Ф. Основы сепарации семенных смесей процессом механического вскруживания / А. Ф. Ульянов // Труды Саратовского института механизации сельского хозяйства. – Саратов, 1951. – Вып. 10. – 53 с.
6. Василенко, А. А. Центробежно-вибрационный метод сепарации зерна / А. А. Василенко, Е. С. Гончаров // Вестник сельскохозяйственной науки. Ежемесячный научный журнал МСХ СССР. – 1963. – № 4. – С. 95–100.
7. Гончаров, Е. С. О методике расчета вертикальных цилиндрических центробежно-вибрационных решет / Е. С. Гончаров // Тракторы и сельхозмашины. – 1965. – № 9. – С. 21–23.
8. Гончаров, Е. С. О подобию кинематических режимов работы плоских и вертикальных цилиндрических виброцентробежных решет / Е. С. Гончаров // Проблемы сепарирования зерна и других сыпучих материалов // Труды ВНИИЗ. – М., 1974. – Вып. 78. – С. 47–54.
9. Гончаров, Е. С. О методике расчета параметров движения частиц зерновых материалов по поверхности плоских и вертикальных цилиндрических виброцентробежных решет, совершающих продольные гармонические колебания / Е. С. Гончаров // Мех. и электр. с. х. – К.: Урожай, 1975. – Вып. 33. – С. 13–18.
10. Гончаров, Е. С. Механико-технологическое обоснование и разработка универсальных виброцентробежных сепараторов: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Е. С. Гончаров. – Москва: ВИМ, 1986. – 34 с.

11. Горячкин, В. П. Собрание сочинений / В. П. Горячкин. – М.: Колос, 1968. – Т. 3. – С. 183–185.
12. Волошин, М. І. Про аналогії в кінематичних режимах плоских і відцентрово-вібраційних решіт зерноочисних машин / М. І. Волошин // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 1995. – Вип. 81. – С. 37–40.
13. Прилуцький, А. Н. До обґрунтування раціональної конструкції віброцентрових решіт / А. Н. Прилуцький, С. П. Степаненко, В. С. Зінчук // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2010. – Вип. 10, т. 5. – С. 151–156.
14. Пивень, М. В. Обґрунтування параметрів процесу решітного сепарування зернових сумішей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. – Харків, 2006. – 20 с.
15. Тищенко, Л. Н. Экспериментальное исследование работы модернизированного виброцентробежного решета / Л. Н. Тищенко, М. В. Пивень // Збірник наукових праць Національного аграрного університету: Механізація с.-г. виробництва. Теорія і розрахунок с.-г. машин. – К.: НАУ, 1999. – С. 77–81.
16. Гончаров, Е. С. Ступенчатое решето для виброцентробежных зерновых сепараторов / Е. С. Гончаров // Мех. и электр. с. х. – К.: Урожай, 1984. – Вип. 59. – С. 33–36.
17. Мельников, Б. Н. Исследование процесса разделения зерновой смеси на подсевных центробежно-вибрационных решетках: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Б. Н. Мельников. – Саратов: Саратовский ИМСХ, 1971. – 27 с.

УДК 631.311.5

Поступила в редакцию 27.03.2017
Received 27.03.2017

А. Н. Басаревский, И. Е. Мажугин

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

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАБОЧИХ ОРГАНОВ АКТИВНОГО ТИПА ПЛАНИРОВЩИКА-РЫХЛИТЕЛЯ ДЛЯ ОТКОСОВ МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ

В статье проведен аналитический обзор рабочих органов активного типа планировщика-рыхлителя для откосов мелиоративных каналов. Описана новая конструкция рабочего органа фрезы-планировщика с зигзагообразным расположением роторов и прикатывающим катком с продольными пазами.

Ключевые слова: мелиоративный канал, откосы, планировщик-рыхлитель, активный рабочий орган, почвогрунт, конструктивная схема.

A. N. Basareuski, I. E. Mazhuhin

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: labmkr@yandex.ru*

ANALYTICAL REVIEW OF THE WORKING BODIES OF THE ACTIVE TYPE SCHEDULER-CULTIVATOR FOR SLOPES OF DRAINAGE CHANNELS

In the article an analytical review of the working bodies of the active type scheduler-cultivator for slopes of drainage channels. Describes the new design of the working body of the cutter scheduler with a zigzag arrangement of the rotors and the rear roller with longitudinal grooves.

Keywords: drainage channel slopes, scheduler-ripper, active working body, soil, constructive scheme.

Введение

Общая площадь мелиорированных земель в республике составляет 3,4 млн гектаров, из них 2,9 млн гектаров занимают сельскохозяйственные земли, в том числе пахотные – 1,4 млн гектаров и луговые – 1,5 млн гектаров [1].

Для обеспечения соблюдения проектных норм осушения земель используется сложный комплекс гидротехнических и других сооружений (158,1 тыс. километров каналов и водоприемников, 977,5 тыс. километров закрытой дренажной сети, 3,2 тыс. мостов, 2,2 тыс. шлюзов-регулято-

ров, 24,2 тыс. труб-регуляторов, 54,6 тыс. труб-переездов, 499 насосных станций, 4,8 тыс. километров защитных и ограждающих дамб, 17,7 тыс. километров эксплуатационных дорог, 1074 пруда и водохранилища).

Основная часть мелиорированных земель (63 %) приходится на Брестскую, Гомельскую и Минскую области. В 15 районах республики мелиорированные земли составляют более 50 % площади сельскохозяйственных земель и обеспечивают производство основной доли продукции растениеводства.

На 1 января 2016 г. [1] нуждаются в реконструкции мелиоративные системы на площади 356,6 тыс. гектаров, в том числе в Брестской области – 95,3 тыс. гектаров, Витебской – 63 тыс., Гомельской – 54,1 тыс., Гродненской – 37,2 тыс., Минской – 61,8 тыс. и Могилевской области – 45,2 тыс. гектаров. Преимущественно это мелиоративные системы, построенные в 50–70-х годах XX века, отработавшие нормативные сроки эксплуатации и физически изношенные.

Типичным и важнейшим элементом мелиоративных систем являются различного назначения каналы и водоприемники. От состояния каналов во многом зависит работоспособность всей мелиоративной системы. При неудовлетворительном отведении воды коллекторным или магистральным каналом затрудняется выход воды из дрен, что приводит к повторному заболачиванию осушенных мелиоративной системой площадей. Основными причинами, приводящими к нарушению работоспособности каналов, являются их заиливание, зарастание древесной и травяной растительностью, сползание грунта с откосов.

Поэтому необходимы мероприятия по созданию устойчивого поперечного и продольного профиля осушительных каналов как при новом строительстве, так и при проведении ремонтных работ. Разработка комплексных мероприятий по укреплению откосов каналов с учетом конкретных физико-механических свойств почвогрунтов и произрастающей в канале растительности позволит ликвидировать или предупредить разрушения сооружений мелиоративных систем; укреплять откосы каналов в год их строительства или ремонта, используя при этом механизированные способы укрепления.

Для планировки откосов каналов применяют машины, предназначенные для строительства и содержания осушительной сети: одноковшовые экскаваторы, которые, являясь достаточно универсальными машинами, имеют низкие производительность и качество работ, способны нарушать профиль канала и повреждать крепление дна и откосов. После применения таких машин требуется проведение дополнительных работ по разравниванию кавальеров на берме канала, очистке дна канала.

В связи с этим возникает необходимость проведения анализа конструктивных особенностей машины для поверхностной планировки откосов мелиоративных каналов и обоснования конструктивной схемы рабочего органа планировщика-рыхлителя, обеспечивающего требуемое качество работ.

Основная часть

Откосы каналов большей частью имеют неровную уплотненную поверхность с выступами и впадинами, которые необходимо срезать и засыпать в целях создания благоприятных условий для равномерного посева и прорастания семян откосах, развития корневой системы растений.

Для фрезерования и планировки откосов каналов применяются различные навесные рабочие органы. Кратко остановимся на их конструктивных особенностях.

Шнековый рабочий орган отделяет грунт и перемещает его в осевом направлении вращающимся шнеком, который, как правило, частично охвачен кожухом. На рисунке 1 показана схема шнекового рабочего органа с осью вращения, параллельной откосу, и предназначенного для его профилирования [2].

Для обеспечения подчистки дна к нижней части кожуха крепится пассивный отвал 6, направляющий донные отложения к шнеку. Размещение извлеченных из канала наносов на его берме требует последующего их перемещения и планировки.

Достоинством данной конструкции является ее простота и высокая производительность.

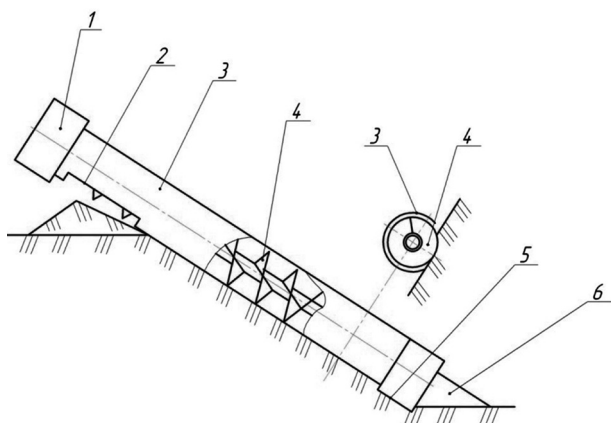


Рисунок 1. – Схема шнекового рабочего органа с осью вращения, параллельной откосу

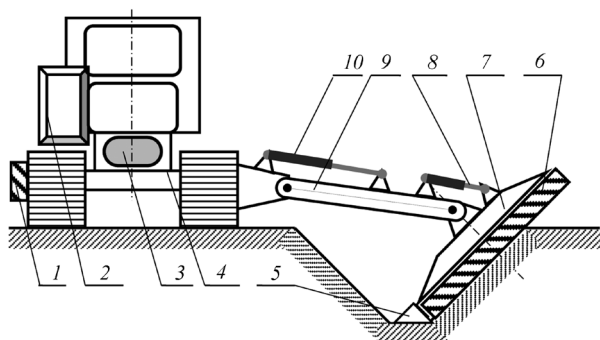


Рисунок 2. – Каналоочиститель с фрезой, имеющей ось вращения, перпендикулярную откосу

Рабочий орган имеет высокую производительность, хорошее качество очистки, не требуются доделочные работы, однако его большая масса и значительный боковой вылет нарушают устойчивость машины [2].

Известна фреза-планировщик на базе гусеничного экскаватора Mine Wolf (рисунок 3) [3].

Фреза представляет собой ротационный рабочий орган с шарнирно прикрепленными к ротору режущими элементами, имеющими вид режущих пластин (ножей). При проходе экскаватора по берме канала ножи измельчают почвогрунт и растительность. Данный вид фрезерного рабочего органа имеет высокие энергозатраты, а также небольшую глубину рыхления, что является существенным недостатком при его использовании в Республике Беларусь.

Почвофреза фирмы John Deere с использованием стрелы и рукояти, навешиваемых на боковую навеску трактора, может быть также применена для фрезерования и планировки откосов мелиоративных каналов (рисунок 4).



Рисунок 3. – Фреза-планировщик на базе гусеничного экскаватора фирмы MineWolf (Германия)

Недостаток шнекового рабочего органа, так же как и одноковшовых экскаваторов, – размещение извлеченного из канала почвогрунта на берме, что требует последующего его перемещения и планировки. Поэтому шнеки зачастую оснащаются метателями, а это влечет за собой увеличение металло- и энергоемкости машины.

Профилирование откосов можно производить роторным каналоочистителем с осью вращения ротора, перпендикулярной плоскости откоса (рисунок 2).

Рабочее оборудование навешивается посредством рамы 9 на трактор 4, дополнительно снабженный боковым противовесом 1, баком гидросистемы 2 и насосной установкой 3. Подъем и опускание рабочего органа производятся гидроцилиндром 10, поворот фрезы 6 с целью требуемой ее установки выполняется гидроцилиндром 8. Во вращение ротор приводится гидромотором. Необходимое направление срезанному ротором грунту обеспечивается кожухом 7, охватывающим фрезу. Частичная подчистка дна канала производится прикрепляемым к кожуху зачистным пассивным устройством 5. Оно подбирает наносы, лежащие на дне, и подает их к фрезе.

Рабочий орган имеет высокую производительность, хорошее качество очистки, не требуются доделочные работы, однако его большая масса и значительный боковой вылет нарушают устойчивость машины [2].

Навесная почвофреза предназначена для разрыхления и перемешивания слоев почвы без оборачивания. Кроме того, фреза взламывает глыбы, подрезает стебли, корневища сорняков, позволяет быстро произвести окончательную подготовку полей после многолетних культур. При этом обеспечивается соблюдение агротехнических требований при фрезеровании откосов каналов.

Однако существенный недостаток такой конструкции фрезы – невозможность использования на участке, засоренном камнями – попадание камня может вызвать поломку ножей.



Рисунок 4. – Почвофреза John Deere



а) рабочий орган с бильными ножами; б) рабочий орган с лопастными ножами

Рисунок 5. – Почвофрезы

На рисунке 5 представлены рабочие органы почвофрез с различными формами ножей.

Известна схема планировщика с фрезерным рабочим органом на базе многороторной косилки (рисунок 6). Фреза-планировщик предназначена для рыхления и выравнивания, уплотнения поверхности почвы на откосах мелиоративных каналов глубиной до 2 м. Она также может быть использована для обработки почвы при пересеве незасеянных участков и на площадках с изреженным травостоем на укрепленных многолетними травами откосах [4].

При выполнении технологического процесса движущийся по берме трактор 1 опускает на дно канала с помощью гидроцилиндров 2 прикрепленное к раме стреловое рабочее оборудование 3 в его нижней части с рабочим органом 4. Рабочий орган 4 фрезерует почвогрунт и срезает растительность. При этом грунт и растительность распределяются на откосе равномерно и не требуют дополнительных работ по разравниванию.

Для уплотнения и профилирования почвогрунта с целью создания препятствия от размыва откосов при гидроподсеве на планировщике с роторным рабочим органом установлен прикатывающий каток.

Многороторная фреза-планировщик является наиболее приемлемой конструкцией для ухода за откосами мелиоративных каналов,

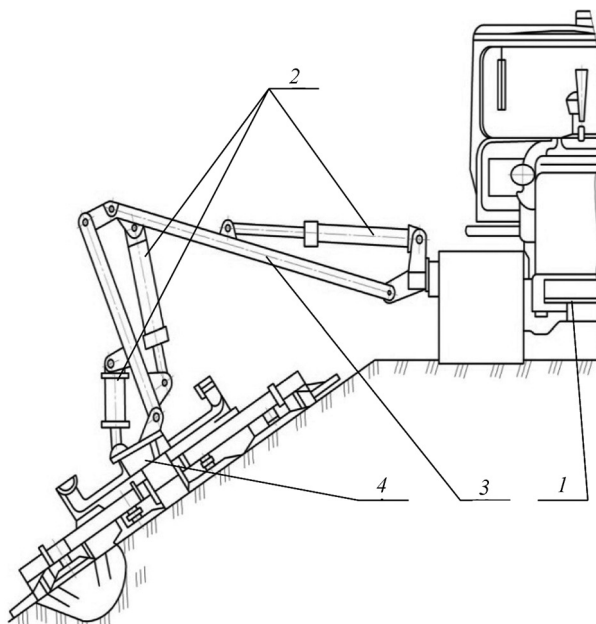
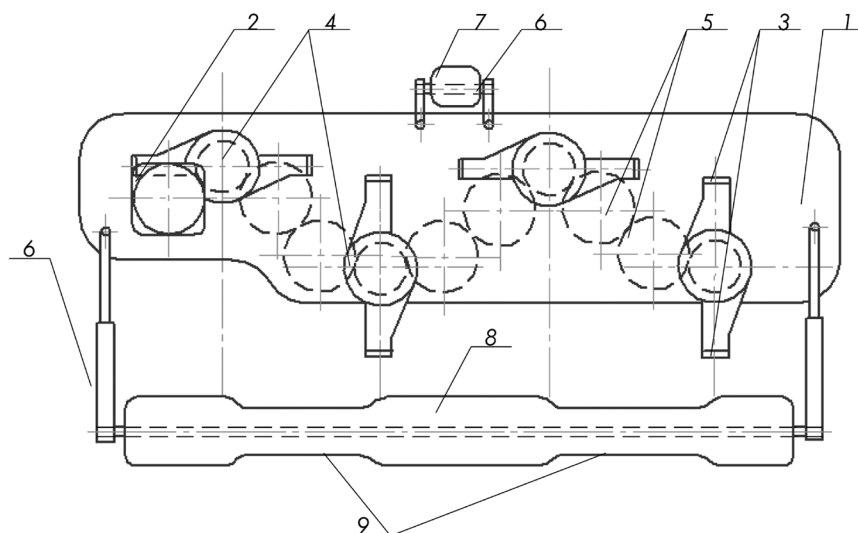


Рисунок 6. – Конструктивная схема планировщика с роторным рабочим органом на базе многороторной косилки

обеспечивающей выполнение технологического процесса в соответствии с агротехническими требованиями. Однако и она не лишена существенных недостатков.

Так, при разрыхлении почвогрунта ножами роторов, расположенных на одной горизонтали, остаются неразрыхленные полосы, поскольку сохраняется зазор между ножами роторов, что влечет за собой снижение качества выполнения операции по разрыхлению почвогрунта на откосе канала. При вращении роторов в одном направлении часть почвогрунта остается неспланированной из-за разбрасывания почвогрунта либо к берме, либо ко дну канала, что ведет к снижению качества выполнения технологического процесса планировки откоса.

На основании анализа конструктивных особенностей рабочих органов разработана схема рабочего органа фрезы-планировщика. Подана заявка (№ и 20170021) на патент на полезную модель «Рабочий орган фрезы-планировщика» (рисунок 7).



1 – редуктор; 2 – гидромотор; 3 – нож; 4 – ротор; 5 – шестерня; 6 – механизм подъема и опускания;
7 – опорный каток; 8 – прикатывающий каток; 9 – продольный паз

Рисунок 7. – Схема рабочего органа фрезы-планировщика с зигзагообразным расположением роторов и прикатывающим катком с продольными пазами

Применение рабочего органа планировщика-рыхлителя предложенной конструкции позволит повысить качество выполнения технологического процесса разрыхления почвогрунта за счет зигзагообразного расположения роторов по длине редуктора, приводимого во вращение от гидромотора. При этом обеспечится перекрытие между ножами роторов, что не допустит неразрыхленных полос на откосах каналов. Установленные между роторами пары шестерен обеспечат парам крайних роторов встречное друг относительно друга вращение, что позволит оставаться разрыхленному почвогрунту между двух крайних роторов, не загрязняя при этом дна и бермы канала. Механизм подъема и опускания позволяет регулировать высоту опускания опорного и прикатывающего катков, установленная высота которых задает глубину фрезерования почвогрунта.

Следует учитывать, что при такой конструктивной схеме из-за попарно вращающихся встречно роторов между двумя крайними роторами будет скапливаться большее количество почвогрунта, чем по краям крайних роторов. Поэтому прикатывающий каток имеет разные диаметры по длине и выполнен с продольными пазами, что позволяет спланировать накопившийся между двумя крайними роторами почвогрунт равномерно по откосу канала.

Заключение

1. Машины с пассивными рабочими органами, применяемые в настоящее время для строительства и содержания осушительной сети (одноковшовые экскаваторы), являясь достаточно универсальными машинами, имеют низкие производительность и качество работ, способны нарушать профиль канала и повреждать крепление дна и откосов, требуют проведения дополнительных работ по разравниванию кавальеров на берме и очистке дна канала.

2. Анализ конструктивных схем существующих рабочих органов активного типа планировщика-рыхлителя для откосов мелиоративных каналов показал, что по сравнению с пассивными рабочими органами каждая из схем имеет более высокие производительность и качество выполнения планировочных работ.

В то же время имеются недостатки:

- размещение извлеченного из канала почвогрунта на берме;
- небольшая глубина рыхления;
- вращение роторов в одном направлении. В результате часть почвогрунта остается неспланированной из-за его разбрасывания либо к берме, либо ко дну канала.

3. На основании анализа конструктивных особенностей машин для поверхностной планировки откосов мелиоративных каналов разработана схема рабочего органа фрезы-планировщика с зигзагообразным расположением роторов и прикатывающим катком с продольными пазами. Применение разработанного рабочего органа позволит повысить качество выполнения технологического процесса планировки почвогрунта.

Литература

1. О государственной программе развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы и внесении изменений в постановление Совета Министров Республики Беларусь от 16 июня 2014 г. № 585: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 11 марта 2016 г. № 196 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2016. – 5/41842.

2. Мажугин, Е. И. Машины для эксплуатации мелиоративных и водохозяйственных объектов: учеб. пособие / Е. И. Мажугин. – Горки: БГСХА, 2010. – 333 с.

3. Фирма Mine Wolf SYSTEMS [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.minewolf.com/>. – Дата доступа: 10.04.2017.

4. Кондратьев, В. Н. Теоретические исследования работы горизонтально вращающейся фрезы, определение мощности на ее привод / В. Н. Кондратьев // Мелиорация. – 2008. – № 1 (59). – С. 75–83.

УДК 631.311.5

Поступила в редакцию 03.05.2017

Received 03.05.2017

А. Н. Басаревский, С. П. Кострома

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: labmkr@yandex.ru

АНАЛИЗ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ И СПОСОБОВ ПОСЕВА МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ НА ОТКОСАХ МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ

В статье проведен анализ средств механизации и способов посева многолетних трав на откосах мелиоративных каналов. Даны предложения по наиболее эффективным способам посева.

Ключевые слова: откосы мелиоративного канала, многолетние травы, способы посева.

A. N. Basareuski, S. P. Kostroma

RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: labmkr@yandex.ru

ANALYSIS OF MEANS OF MECHANIZATION AND METHODS OF PERENNIAL GRASSES SOWING ON THE SLOPES OF DRAINAGE CHANNELS

The analysis of mechanization means and methods of perennial grasses sowing on the slopes of drainage channels are shown in the article. There were made proposals for the most efficiency irrigation methods.

Keywords: slopes of drainage channels, perennial grasses, sowing methods

Введение

В Республике Беларусь площади сельхозугодий составляют около 8,99 млн га. Из них около 2,9 млн га земель подвергнуто осушению, в том числе польдерных – 250 тыс. га. Земли, охваченные осушительно-увлажнительными системами, имеют площадь более 700 тыс. га, а орошаемые составляют около 30 тыс. га. На мелиорированных землях имеется до 800 тыс. км коллекторно-дренажной сети, более 15 тыс. водорегулирующих сооружений, около 35 тыс. переездных сооружений, свыше 10 тыс. км дамб и дорог [1].

Мелиоративные осушительные и осушительно-увлажнительные системы представляют собой сложный комплекс технических сооружений и устройств. В целом он включает в себя около 136,3 тыс. гидротехнических сооружений. В условиях длительной эксплуатации мелиорированных земель значительно ухудшилось их состояние, на многих каналах происходят эрозионные разрушения откосов, характеризующиеся высокой активностью. Смыв грунтов с откосов за весенне-осенний период одного года достигает 15–20 дм^3 с 1 м^2 поверхности откоса, что в 10–20 раз больше, чем, например, потери при сельскохозяйственной эрозии [2]. Одновременно со смывом грунта размываются поверхности откосов, которые покрываются густой сетью промоин глубиной от нескольких сантиметров до 1 м и более. Эрозионные процессы на неукрепленных откосах имеют незатухающий и даже прогрессирующий характер во времени, что объясняется распределением стока в углубляющихся промоинах и, соответственно, увеличением скорости и механического воздействия на грунт стекающих потоков воды. Активность и незатухающий характер эрозионных деформаций обусловили обязательность и срочность укрепления откосов земляного полотна. Из-за обрушения откосов каналов выходят из строя мелиоративные системы, дренажные линии, насосно-силовое оборудование, что ведет к повторному заболачиванию и изменению состояния поверхности почвы.

В настоящее время применяют биологические способы укрепления каналов в сочетании с капитальными. При этом биологические способы составляют 60–70 % от объема работ по укреплению откосов [3].

Наиболее распространенным биологическим способом укрепления откосов является их засев многолетними травами.

Положительная роль растительности в обеспечении водоэрозионной защиты откосов каналов (земляных сооружений) связана с тем, что корневая система, создавая густую сеть, армирует почву, повышая устойчивость на размыв и механическую прочность поверхностного слоя грунта откоса. Густая и глубоко распространенная корневая система растительного покрова выдерживает скорость потока размыва до 2,5–3,0 м/с. Эффективность защиты откосов травяным покровом проявляется также в повышении фильтрационной способности почвы и снижении поверхностной испаряемости.

При соблюдении определенных агротехнических и агробиологических условий за короткие сроки (3–4 месяца) непосредственно на откосах можно получить густой травяной покров, который по своим защитным качествам не уступает укреплению одерновкой и, следовательно, может применяться вместо нее.

Однако при всех преимуществах биологического способа укрепления проблемным местом является техническая сторона вопроса. Анализ состояния машин и оборудования для подготовки почвы и механизированного посева семян многолетних трав на откосах мелиоративных каналов показывает, что ранее созданные машины не удовлетворяют агротехническим требованиям по распределению семян многолетних трав. Поэтому изыскание способов для посева семян многолетних трав на откосах мелиоративных каналов, обеспечивающих качественные показатели распределения семян, остается актуальной задачей.

Основная часть

В настоящее время существуют различные способы посева семян на откосах мелиоративных каналов. Это гидропосев, посев механическими сеялками и посев при помощи геотекстиля и геоматов.

Гидроподсев – это распределение суспензии с семенами и удобрениями по поверхности участка. Технологический процесс защиты откосов сооружений гидропосевом трав включает: поверхностную планировку и рыхление откосов, подготовку компонентов рабочих растворов с последующей заправкой их в гидросеялку, нанесение рабочих растворов, содержащих семена многолетних трав, на подготовленную поверхность откоса сооружения. Важнейшей технологической операцией является предохранение засеянной поверхности откоса от ее водной эрозии до образования травяного покрова. Для этой цели суспензии гидропосева изготавливают на основе водных растворов латексных или битумных эмульсий, обладающих структурирующими в почвенном слое свойствами. Основными требованиями к таким растворам являются: недефицитность, биологическая нейтральность (т. е. отсутствие отрицательного влияния на рост и развитие травяного покрова), устойчивость к водной эрозии за счет проявления структурирующих для почвы свойств.

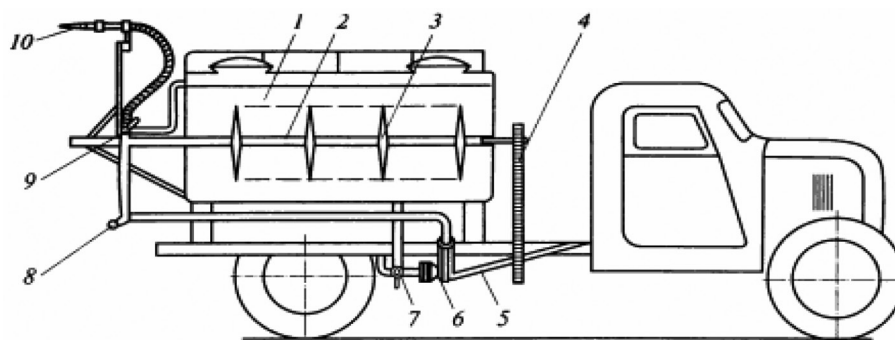
Для гидропосева используют гидросмесь, состоящую из семян многолетних трав, минеральных удобрений и латексных эмульсий. Гидросмесь загружают в автомобильную гидросеялку типа ДЭ-16 (рисунок 1) с лопастной мешалкой для смешивания семян с мульчирующим материалом. Мешалка смонтирована на базе поливомоечного автомобиля типа ПМ-1 ЗОБ грузоподъемностью не менее 5 т. На нем же смонтирован центробежный факельный насос с подачей смеси 46,5 м³/ч. Дальность полета струи достигает 38 м, а высота установки ствола – 2700 мм.

Гидропосев является основным способом укрепления неподтопляемых откосов. Рабочую смесь из семян трав, минеральных удобрений, одного из видов мульчирующих материалов (опилки, старая измельченная солома), воды и битумной эмульсии после тщательного перемешивания наносят гидросеялкой в виде пленки: в дальнейшем мульчирующий материал разлагается, создавая питательную среду.

Рекомендуется рабочую смесь готовить, в отличие от традиционной технологии, в стационарной цистерне-мешалке вместимостью 25–50 м³ с последующей загрузкой гидросеялки готовой смесью. Тем самым устраняется засорение гидрометателя гидросеялки и существенно сокращается время ее заправки.

Основание для посева на откосах мелиоративных каналов готовят по обычной технологии. Поверхность выравнивают по проектным отметкам, существующую почву боронуют, чтобы придать ей шероховатость, которая способствует полноценному налипанию смеси.

Рабочую смесь распределяют по площади за два прохода машины, чтобы избежать стекания жидкой смеси и добиться более равномерного ее распределения по поверхности участка. После нанесения жидкой смеси производят мульчирование участка. В качестве мульчи используют измельченную солому, опилки, торфяную крошку, микробиологические удобрения, ускоряющие образование перегноя. Под слоем мульчи создается микроклимат с оптимальным тепловым и водным режимом, что способствует быстрому прорастанию семян и развитию травостоя. Наносят мульчу на поверхность участка с помощью специальных машин.



1 – цистерна; 2 – вал мешалки; 3 – лопасть; 4 – цепная передача; 5 – карданный вал; 6 – фекальный насос;
7 – трехходовой кран в цистерне; 8 – трехходовой кран «на заправку»;
9 – трехходовой кран «на гидропосев»; 10 – гидрометатель

Рисунок 1. – Гидросеялка ДЭ-16



Рисунок 2. – Гидросеялка АУГ-3

Ниже кратко остановимся на основных технических средствах, используемых для гидропосева.

Полуприцепной агрегат к тракторам класса 1,4...2,0 для ухода за гидротехническими сооружениями АУГ-3 (рисунок 2) состоит из ходовой части, цистерны привода, пневмосистемы, гидросистемы и устройства для гидропосева трав.

Привод агрегата осуществляется от ВОМ трактора посредством карданной передачи и включает: подшипниковую опору, редуктор, муфту, клиноременную передачу привода на-

соса, мешалки внутри цистерны и компрессора.

В качестве пленкообразующих и структурирующих для почвы веществ (структурообразователей) используются латексы и битумные эмульсии, которые не нашли широкого применения из-за их нетехнологичности, связанной с их коагуляцией при смешивании с другими компонентами рабочих растворов и взаимодействием с металлом гидролиний установок для гидропосева.

Также для посева трав на откосах мелиоративных каналов были разработаны механические посевные агрегаты АДТС-2 (рисунок 3), выполняющие следующие операции:

- равномерное высевание смеси минеральных удобрений (с дозированием по нормам);
- перемешивание удобрений с растительным грунтом;
- рыхление комьев растительного грунта на откосе;
- равномерный высеv семян трав (с дозированием по нормам);
- заделку семян трав в растительный грунт;
- прикатывание засеянной поверхности откоса.

Посевной агрегат АДТС-2 навешивается взамен ковша к стреле экскаватора с емкостью ковша 0,5–0,65 м³ или тракторного крана грузоподъемностью 5 т.

Агрегат выполняет равномерный высеv семян трав, но имеет высокую металлоемкость и применяется в основном для посева трав на крупных откосах (от 3 до 6 м).

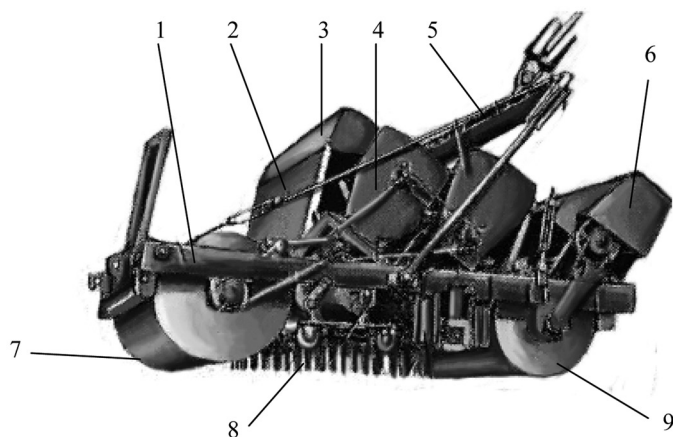
В зарубежной практике при защите откосов мелиоративных каналов часто используются геотекстиль и геоматы. Прочность на сдвиг геотекстиля намного выше, чем у почвы. За счет этого свойства комбинация грунта с геотекстилем выдерживает нагрузку намного больше той, кото-

рую выдерживает сам грунт. Материал очень технологичен при проведении работ, что сокращает сроки и затраты.

Геотекстиль (рисунок 4) – это нетканый материал в рулонах, изготовленный из полипропиленовых и полиэфирных волокон иглопробивным методом. Обладает высокой прочностью и водопроницаемостью, увеличивает несущую способность грунтовых оснований, защищает почву от мороза, предотвращает смешивание слоев при сходах воды, защищает от эрозии.

Основные свойства геотекстиля:

- не поддается воздействию агрессивной среды, морозоустойчив;
- не образует побочных продуктов;
- не подвержен воздействию грибка и плесени;



- 1 – рама тележки; 2 – направляющие лотки;
- 3 – секция сеялки для мелких семян;
- 4 – секции сеялки для крупных семян;
- 5 – подвесная рама; 6 – туковая сеялка;
- 7 – передний каток; 8 – борона; 9 – задний каток

Рисунок 3. – Посевной агрегат АДТС-2

- не гниет, не разлагается;
- воспринимает большие нагрузки за счет упругости и выполняет функцию армирования;
- выдерживает большие растяжения – до 120 %;
- за счет фильтрующей способности исключается попадание грунта в поры ткани;
- не впитывает воду;
- сохраняет проницаемость в грунте даже под давлением и вибрацией.

Кроме того, для борьбы с эрозией почвы и оползнями используют геоматы – полимерный материал, имеющий водопроницаемую структуру. Создается слоями полипропиленовых решеток, наложенных друг на друга и соединенных между собой термическим способом.

Структура геомата защищает верхний слой грунта и закрепляет корни проросших сквозь него растений, которые переплетаются с волокнами материала и образуют вместе с ними прочную систему. В результате укрепляется верхний слой почвы на откосах и склонах, защищенных от гидроэрозии, выветривания и оползней.

Имеется широкий спектр возможностей, связанных с использованием геоматов: засев травами, а также заполнение конструкций щебнем, битумом.

Геомат (рисунок 5) применяют даже на крутых откосах. Использование этого материала позволяет озеленять откосы с углом наклона до 70° . В сочетании с геотекстилем геоматы используются для усиления и повышения несущей способности склонов.

Основные свойства геоматов:

- устойчивы к ультрафиолетовому излучению;
- устойчивы к агрессивным средам и воде;
- сохраняют свойства при температурах от -30°C до $+100^\circ\text{C}$.

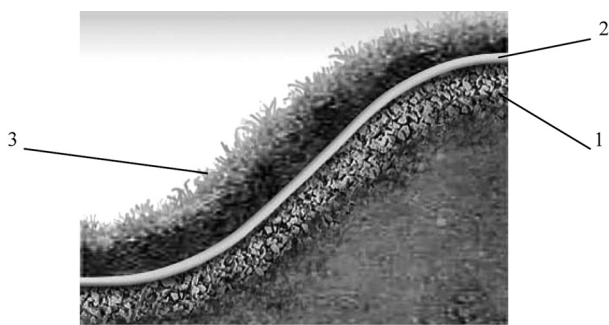
Вместе с тем основной недостаток посева многолетних трав с использованием геотекстиля и геоматов – его дороговизна. Кроме того, такой способ в основном применяется на откосах с углами заложения $50\text{--}70^\circ$, поскольку посев многолетних трав на откосах с указанными параметрами без укладки нетканых материалов будет неэффективен: происходит смыв грунта и семян трав. Угол заложения откосов мелиоративных каналов не превышает 48° , поэтому, учитывая его дороговизну, способ не нашел широкого применения в мелиорации.

Заключение

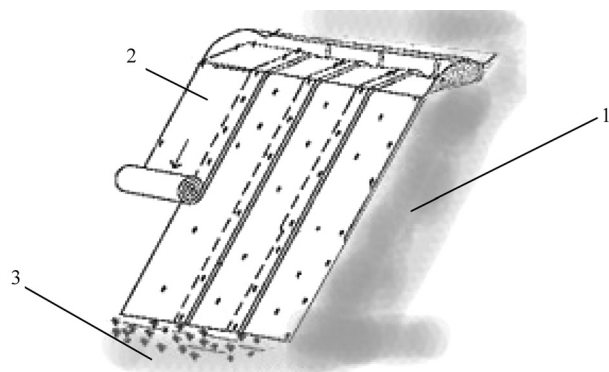
1. В настоящее время применяются различные способы посева семян на откосах мелиоративных каналов: гидропосев, посев механическими сеялками и посев на геотекстиль и геоматы.

2. Для гидропосева в качестве пленкообразующих и структурирующих для почвы веществ (структурообразователей) используются латексы и битумные эмульсии, которые не нашли широкого применения из-за их нетехнологичности, связанной с их коагуляцией при смешивании с другими компонентами рабочих растворов и взаимодействием с металлом гидрوليных установок для гидропосева. Поэтому такой способ посева ограничен в применении.

3. Посев многолетних трав на геотекстиль и геоматы дорогостоящ и применяется в основном на откосах с углами $50\text{--}70^\circ$, ввиду чего способ также не нашел широкого применения на откосах мелиоративных каналов, угол заложения которых не превышает 48° .



1 – грунт, 2 – геотекстиль, 3 – растительность
Рисунок 4. – Геотекстиль



1 – откос канала, 2 – геомат, 3 – дно канала
Рисунок 5. – Геомат

4. На основе анализа способов посева на откосах мелиоративных каналов можно утверждать: способ, наиболее предпочтительный с позиции агротехнических требований, предъявляемых к распределению семян многолетних трав на откосах мелиоративных каналов, – посев трав механическими рабочими органами.

Литература

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 11 марта 2016 г. № 196 о государственной программе развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы и внесении изменений в постановление Совета Министров Республики Беларусь от 16 июня 2014 г. № 585 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2016. – 5/41842.
2. Грицын, В. И. Механизированное укрепление земляного полотна травосеянием / В. И. Грицын, Б. И. Цвелодуб. – М.: Из-во «Транспорт», 1968. – 128 с.
3. Рекомендации по технологии мелкого ремонта откосов каналов без выброса почвогрунта на бермы. – Минск: РУП «Институт мелиорации и луговодства НАН Беларуси», 2004. – 24 с.

УДК 631.311.5

Поступила в редакцию 03.05.2017
Received 03.05.2017

А. Н. Басаревский, И. Е. Мажугин

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

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФРЕЗЫ-ПЛАНИРОВЩИКА С ЗИГЗАГООБРАЗНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ РОТОРОВ

В статье обоснованы конструктивные параметры фрезы-планировщика с зигзагообразным расположением роторов.

Ключевые слова: конструктивные параметры, мелиоративный канал, откосы, фреза-планировщик, активный рабочий орган, почвогрунт.

A. N. Basareuski, I. E. Mazhuhin

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: labmkr@yandex.ru*

JUSTIFICATION OF DESIGN PARAMETERS OF CUTTER-SCHEDULER WITH ZIGZAG LOCATION OF THE ROTORS

In the article justified the design parameters of the cutter-scheduler with a zigzag arrangement of the rotors.

Keywords: design parameters, drainage channel, slopes, cutter-scheduler, active working body, the soil.

Введение

Типичными и важнейшими элементами мелиоративных систем являются различного назначения каналы и водоприемники. От состояния каналов во многом зависит работоспособность всей мелиоративной системы. При неудовлетворительном отведении воды коллекторным или магистральным каналом затрудняется выход воды из дрена, что приводит к повторному заболачиванию осушенных мелиоративной системой площадей. Основными причинами, приводящими к нарушению работоспособности каналов, являются их заиливание, зарастание древесной и травяной растительностью, сползание грунта с откосов.

На 1 января 2016 г. [1] нуждаются в реконструкции мелиоративные системы на площади 356,6 тыс. гектаров, в том числе в Брестской области – 95,3 тыс. гектаров, Витебской – 63 тыс.,

Гомельской – 54,1 тыс., Гродненской – 37,2 тыс., Минской – 61,8 тыс. и Могилевской области – 45,2 тыс. гектаров. Преимущественно это мелиоративные системы, построенные в 50–70-х годах XX века, отработавшие нормативные сроки эксплуатации и физически изношенные.

Поэтому необходимы мероприятия по созданию устойчивого поперечного и продольного профиля осушительных каналов как при новом строительстве, так и при проведении ремонтных работ. В этом плане комплексные технологические операции по укреплению откосов каналов с учетом конкретных физико-механических свойств почвогрунтов и произрастающей в канале растительности позволят ликвидировать или предупредить разрушения сооружений мелиоративных систем; укреплять откосы каналов в год их строительства или ремонта, используя при этом механизированные способы укрепления.

Анализ состояния машин и оборудования для планировочных работ показывает, что ранее созданные машины и планировочные рабочие органы не удовлетворяют необходимым агротехническим требованиям. Поэтому для планировки откосов каналов применяют машины, предназначенные для строительства и содержания осушительной сети: одноковшовые экскаваторы и каналочистители циклического действия, которые, являясь достаточно универсальными машинами, имеют низкие производительность и качество работ, способны нарушать профиль канала и повреждать крепление дна и откосов, требуют проведения дополнительных работ.

Наиболее приемлемой конструкцией для ухода за откосами мелиоративных каналов, обеспечивающей выполнение технологического процесса в соответствии с агротехническими требованиями, является конструкция многороторной фрезы-планировщика [2], однако и она не лишена существенных недостатков.

Так, при разрыхлении почвогрунта ножами роторов, расположенных на одной линии, остаются неразрыхленные полосы, поскольку остается зазор между ножами роторов, что влечет за собой снижение качества выполнения операции по разрыхлению почвогрунта на откосе канала. При вращении роторов в одном направлении часть почвогрунта остается неспланированной из-за разбрасывания почвогрунта либо к берме, либо ко дну канала.

Таким образом, необходима увязка конструктивных и технологических параметров фрезы-планировщика, которая позволит обосновать требуемую схему машины и повысить качество выполнения технологического процесса фрезерования почвогрунта на откосах мелиоративных каналов.

Основная часть

На основании анализа конструктивных особенностей рабочих органов для фрезерования откосов мелиоративных каналов разработана схема рабочего органа фрезы-планировщика с зигзагообразным расположением роторов, которая приводится в действие гидромоторами или через ременную передачу (рисунок 1). При этом роторы могут вращаться с различными скоростями. В таком случае во избежание столкновения ножей окружности траекторий концов ножей не должны соприкасаться или тем более накладываться друг на друга.

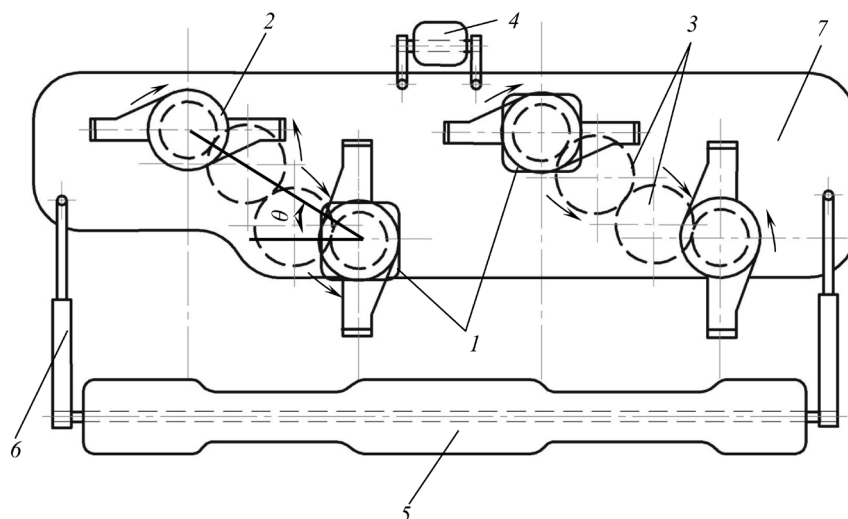
Для предотвращения возможных огрехов (пропущенных растений и неразрыхленных полос почвогрунта) из-за появления зон, неохватываемых ножами роторов, которые частично перекрывают друг друга, центры роторов смещены от перпендикуляра к направлению движения под углом θ (рисунок 1). Таким образом, роторы располагаются зигзагообразно.

Благодаря установленным между роторами зубчатым парам, роторы имеют встречное вращение. При этом разрыхленный почвогрунт накапливается между парами двух крайних роторов и не загрязняет дно и берму канала.

Для уменьшения массы рабочего органа фрезы вместо дисков используются фланцы с консолями. Для упрощения расчетной схемы определим конструктивные параметры на примере двух роторов. Расчетная схема рабочего органа приведена на рисунке 2.

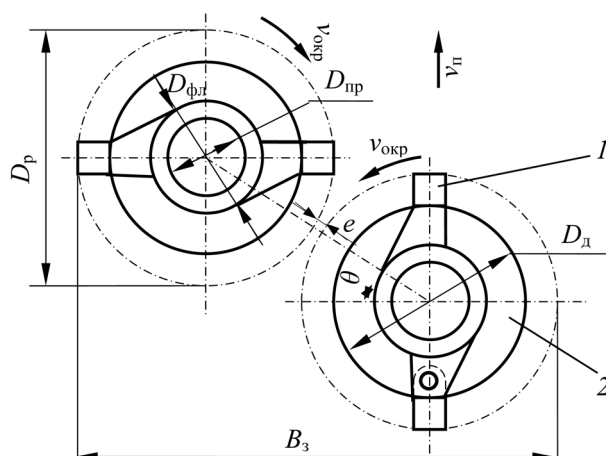
Диаметры привода $D_{пр}$ и его фланца $D_{фл}$ (или диаметр диска D_d) определяются конструктивно.

Фреза-планировщик работает по принципу бесподпорного резания. По данным экспериментальных исследований проф. В. Н. Кондратьева многороторной фрезы-планировщика, окружная скорость роторов $v_{окр}$ для данного типа фрез составляет 14 м/с с оптимальной скоростью перемещения $v_n = 1,01$ км/ч [3].



1 – гидромотор; 2 – ротор; 3 – зубчатая пара; 4 – прикатывающий каток; 5 – опорный каток;
6 – механизм подъема и опускания прикатывающего катка, 7 – редуктор

Рисунок 1. – Схема фрезы-планировщика с зигзагообразным расположением роторов



1 – фланец с консолью; 2 – диск

Рисунок 2. – Схема к определению конструктивных параметров фрезы-планировщика

роторов. На рисунке 3 штриховкой обозначена зона, в которой возможен пропуск неразрыхленных полос почвогрунта [4].

Второй ротор, движущийся параллельно, оставляет такую же зону. Следовательно, минимальная величина перекрытия должна быть равна $2l$.

Тогда легко получить следующую формулу для расчета l_{π} :

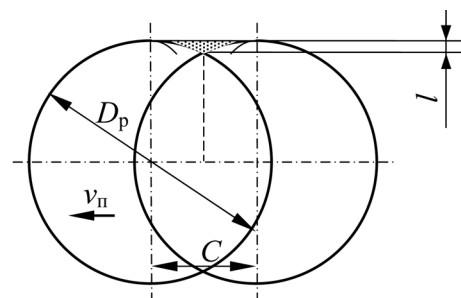


Рисунок 3. – Схема к определению необходимой величины перекрытия

Тогда техническую производительность Π_T , $\text{м}^3/\text{ч}$, можно определить из выражения:

$$\Pi_T = v_n B_3,$$

где B_3 – ширина захвата рабочего органа, м.

Ширина захвата B_3 рабочего органа зависит от ширины фрезеруемого откоса.

Условие несовпадения концов ножей может быть записано в следующем виде:

$$B_3 \geq D_p + D_p \cos \theta,$$

где D_p – диаметр ротора, м.

Траектория ножей описывает циклоиду, которую упрощенно можно заменить окружностями с центрами, смещенными на величину C (рисунок 3). Эта схема используется для определения необходимой величины перекрытия l_{π}

$$l_{\pi} = D_p - \sqrt{D_p^2 - C^2}.$$

На основании рисунка 4 можно получить формулу для расчета необходимого минимального угла отклонения ротора θ :

$$\theta = \arccos[(D_p - l_{\pi} - e) / (D_p + e)] \quad (1)$$

или

$$\theta = \arccos[(B_3 - D_p) / (D_p + e)], \quad (2)$$

где e – минимально допустимое расстояние между траекториями концов ножей, равное 10...20 мм.

Получив выражение для расчета минимальной величины θ и приняв e , можно из (2) вывести следующую формулу для уточненного расчета D_p :

$$D_p = (B_3 - e \cos \theta) / (1 + \cos \theta).$$

Здесь θ должно быть больше или равно значению, рассчитанному по формуле (1) или (2), но при этом находиться в диапазоне $15...30^\circ$ [4].

Рассчитанные и принятые значения D_p , l_n и θ должны обеспечивать требуемое значение ширины захвата B_3 и расстояние между траекториями концов ножей $10...22$ мм.

Заключение

1. Для предотвращения возможных огрехов при обработке откосов каналов ввиду появления зон, неохватываемых ножами роторов, принята схема с зигзагообразным расположением роторов, которая имеет следующие конструктивные особенности:

- центры роторов смещены от перпендикуляра к направлению движения под углом θ , т. е. роторы располагаются зигзагообразно;
- благодаря установленным между роторами зубчатым парам, роторы имеют встречное вращение. При этом разрыхленный почвогрунт накапливается между парами двух крайних роторов и не загрязняет дно и берму канала.

2. Рассчитанные и принятые значения диаметр ротора D_p , зона перекрытия l_n и угол отклонения ротора θ должны обеспечивать требуемое значение ширины захвата B_3 и расстояние между траекториями концов ножей $10...22$ мм.

3. Для обеспечения зоны перекрытия l_n оптимальный угол отклонения роторов θ должен находиться в диапазоне $15...30^\circ$.

Литература

1. О государственной программе развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы и внесении изменений в постановление Совета Министров Республики Беларусь от 16 июня 2014 г. № 585: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 11 марта 2016 г., № 196 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2016. – 5/41842.
2. Кондратьев, В. Н. Теоретические исследования работы горизонтально вращающейся фрезы, определение мощности на ее привод / В. Н. Кондратьев // Мелиорация. – 2008. – № 1 (59). – С. 75–83.
3. Кондратьев, В. Н. Обоснование выбора сменного оборудования к экскаватору ЭО-3223 / В. Н. Кондратьев // Изобретатель. – 2012. – № 4. – С. 21–25.
4. Мажугин, Е. И. Машины для эксплуатации мелиоративных и водохозяйственных объектов: учеб. пособие / Е. И. Мажугин. – Горки: БГСХА, 2010. – 333 с.

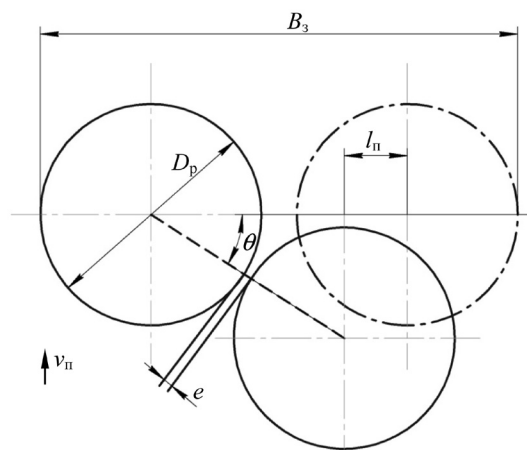


Рисунок 4. – Схема к определению необходимого угла отклонения θ ротора

В. П. Буяшов, А. И. Николаевич, Б. М. Астрахан*УО «Белорусский национальный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь*

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАШИН ДЛЯ УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ

В статье приводятся результаты исследования условий функционирования машин для уборки картофеля. Разработана модель технологического процесса картофелеуборочного комбайна.

Ключевые слова: условия функционирования, методика статистических исследований, модель функционирования, конфигурация картофельных грядок, подача почвы.

W. P. Buyashov, A. I. Nikolaevich, B. M. Astrahan*Educational establishment «Belarusian National Technical University»
Minsk, Republic of Belarus*

INVESTIGATION OF THE CONDITIONS OF MACHINERY FOR POTATO HARVESTING

The article presents the result of the research of the conditions for the operation of machines for harvesting potatoes and developed a model of the technological process of a potato harvester.

Keywords: conditions of operation, methodology of statistical research, the model of functioning, configuration of potato beds, soil supply.

Введение

Для территории Республики Беларусь РНДУП «Институт почвоведения и агрохимии» разработано почвенно-географическое районирование. Выделены Северная (30 % территории), Центральная (43 %) и Южная (27 %) почвенные провинции, которые делятся на 7 почвенно-климатических округов, 20 агропромышленных районов и 12 подрайонов (в составе пяти районов) [1]. В Системе машин бывшего СССР БССР была выделена единой зоной 18, несмотря на такое разнообразие условий. Если в северо-западном округе почвенный покров представлен суглинистыми и супесчаными дерново-подзолистыми почвами, то в юго-восточном почвы песчаные, супесчаные и низинные торфяно-болотные. Минская область имеет 49 % от пашни супесчаных, 33 % – суглинистых и по 9 % – песчаных и торфяно-болотных почв [2], причем 25 % пашни засорено камнями, из них 17 % – с очень слабой засоренностью, где можно возделывать картофель (до 30 т/га камней в пахотном горизонте) [3].

Наиболее засоренные камнями поля находятся в Минской, Витебской и Гродненской областях, в Брестской области – незначительная засоренность, Гомельская и Могилевская области не засорены.

В связи с тем, что природно-климатические условия в республике варьируются в достаточно широком диапазоне, сельскому хозяйству нужен соответствующий им типоразмерный ряд картофелеуборочных машин (КУМ).

Тип, конструкцию и параметры рабочих органов КУМ следует разрабатывать или применять, исходя из условий функционирования: типа почвы, конфигурации и размеров грядок, расположения клубней в гнездах и их урожайности, формы и размеров компонентов картофельной грядки, их физико-механических свойств. Все эти свойства картофельного растения не являются постоянными даже на одном и том же поле, не говоря уже о районе, области, республике; они являются случайными в вероятностно-статистическом смысле. Качественные показатели работы картофелеуборочных комбайнов (КУК) зависят от условий функционирования и их конструкции, а также от рационально подобранных режимов работы (проведенных регулировок).

Раньше КУМ создавались длительным и дорогостоящим опытно-конструкторским путем, исключающим возможность на стадии проектирования научно прогнозировать и тем более оптимизировать технологические, энергетические и технико-экономические показатели работы в типичных почвенно-климатических условиях. В настоящее время в республике они создаются копированием зарубежных аналогов. ПО «Гомсельмаш» выпускает КУК ПКК-2-03 и ПКК-2-05, ОАО «Управляющая компания холдинга «Лидсельмаш» – копатель КСТ-1,4А, а ЗАО «Агропромсельмаш» – копатель КСТ-1,4М.

Основная часть

Для оптимизации компоновочных решений КУК и их технологических процессов (ТП), а также оптимизации параметров рабочих органов возникает необходимость в моделировании ТП.

Модель функционирования КУК можно представить в виде многомерного объекта [4].

Входными воздействиями модели при постоянных рабочей скорости и глубине подкапывания и определенных эксплуатационных регулировках рабочих органов являются:

$Q(t)$ – секундная подача вороха картофельной грядки (почва, клубни, камни, ботва, сорняки);

$W_{\text{вх}}(t)$ – состояние входных компонентов (влажность, размеры и др.);

$R(t)$ – сопротивление движению машины.

Выходными переменными являются:

$q(t)$ – количество отделенных примесей на рабочих органах;

$Q_{\text{кл}}(t)$ – количество клубней в бункере;

$Q_{\text{пр}}(t)$ – количество примесей в бункере;

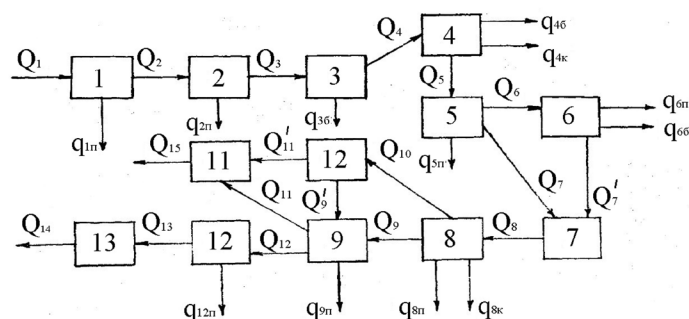
$\Pi(t)$ – потери клубней (сумма потерь на каждом рабочем органе);

$W_{\text{вых}}$ – состояние выходных переменных;

$N(t)$ – мощность, затрачиваемая на выполнение ТП.

КУМ перерабатывает входные воздействия в качественные технологические и энергетические выходные показатели. Условия работы и показатели качества могут быть оценены специальным математическим аппаратом. По тому, как КУМ перерабатывает условия функционирования в выходные показатели, может быть найдена математическая модель, адекватно описывающая работу машины.

Аналогичные модели строятся для отдельных рабочих органов (подкапывающих, сепарирующих, ботвоудаляющих и т. д.) и представляются в виде цепочки. Получается модель ТП конкретного КУК, вновь проектируемого или серийного, например Л-601 (рисунки 1а и 1б). При движении комбайна подкапывающий орган, имеющий конкретные параметры, вырезает картофельную грядку на глубину, ограничиваемую копирующим катком и боковыми вертикальными дисками. В результате на лемех поступает секундная подача массы Q_1 , состоящая из почвы, клубней, ботвы и других растительных примесей, а также камней и комков почвы в определенном соотношении. На лемехе пласт частично разрушается и начинается сепарация почвы. Оставшаяся масса ($Q_2 = Q_1 - q_{1п}$) поступает на первый элеватор 2, где под действием встряхивателей разрушаются почвенные комки и происходит основная сепарация почвы. Далее масса $Q_3 = Q_2 - q_{2п}$ поступает к ботвоудалителю 3, валик которого затягивает под комбайн часть ботвы $q_{3б}$, а оставшаяся масса $Q_4 = Q_3 - q_{3б}$ подается на редкопрутковый (ячеистый) транспортер 4, по которому удаляются крупные примеси (камни, оставшиеся длинные растительные примеси), а клубни, часть почвы, мелкие растительные остатки, камни, размер которых меньше размеров ячеек $Q_5 = Q_4 - (q_{4б} + q_{4к})$, проваливаются на второй элеватор 5, где происходит дальнейшая сепарация почвы. Сход с элеватора 5 поступает на пальчиковые поверхности горки 6 (Q_6) и поперечного транспортера 7 (Q_7). Горка 6 выносит на поверхность поля сзади КУК мелкие примеси $q_{6б}$ и часть почвы $q_{6п}$, а поперечный транспортер направляет массу $Q_8 = Q_7 + Q'_7$ к щеткам 8 камнеотделяющего устройства, часть камней $q_{8к}$ и почвы $q_{8п}$ сходят с поперечного транспортера, а клубни и оставшиеся камни поступают на переборочный стол, на котором рабочие перебрасывают ошибочно попавшие камни из потока клубней в поток камней, а клубни – наоборот. На переборочном столе и транспортере загрузки бункера происходит окончательная сепарация почвы $q_{9п}$ и $q_{12п}$, камни поступают в бункер 11, а клубни определенной чистоты – в бункер 13. При этом на каждом рабочем органе i могут быть потери клубней $q_{ик}$.



6

- Рисунок 1. – Конструктивная схема (а) и модель ТП (б) комбайна Л-601

Для возделывания картофеля наиболее пригодны супесчаные и суглинистые почвы. На более тяжелых суглинках, медленно прогреваемых весной, урожаи обычно ниже. Осенью при

дождливой погоде на таких почвах затрудняется уборка клубней КУК, так как ухудшается сепарация.

Наилучшие показатели качества уборки для суглинистых почв достигаются при влажности почвы 17...24 %, а при влажности более 27 % применение КУК становится практически невозможным из-за низкой несущей способности почвы.

Твердость почвы в картофельной грядке обычно колеблется в пределах 0,8...1,4 г/см³, при твердости до 1,3 г/см³ в почве комки не образуются или легко разрушаются, а при большей твердости образуются прочные комки, которые необходимо разрушать рабочими органами КУК, а более твердые – отделять.

Хотя средняя прочность клубней превосходит среднюю прочность комков суглинистых почв, разрушить все почвенные комки статическим сжатием без повреждения клубней невозможно, так как минимальная прочность клубней и максимальная прочность комков перекрываются. С увеличением твердости почвы уменьшается коэффициент ее сепарации.

Коэффициент трения почвы по металлу влияет на скорость перемещения ее по лемеху и колеблется в значительных пределах: от 0,45...0,50 (супесь) до 0,60...0,70 (глина).

Поступление почвы в КУМ зависит от рабочей скорости, формы и размеров грядок, типа подкапывающих рабочих органов, их ширины, а также глубины подкапывания.

Результаты исследований

Для определения статистических характеристик размеров грядок картофельного поля были проведены исследования на различных полях. На участке длиной 100 м по концам устанавливались вешки точно по оси грядки. Между ними натягивался шнур, который служил базовой линией. От базовой линии через интервал 0,25 м замерялись расстояния (рисунок 2) до соответственно: левого и правого краев вершины первой грядки (размеры a_1 и a_2), левого и правого краев вершины второй грядки (размеры a_3 и a_4), осей первой и второй грядок (размеры b_1 и b_2), левого и правого краев основания первой грядки (размеры c_1 и c_2), левого и правого краев основания второй грядки (размеры c_3 и c_4). Замерялась также глубина первой, второй и третьей борозд (размеры h_1 , h_2 , h_3).

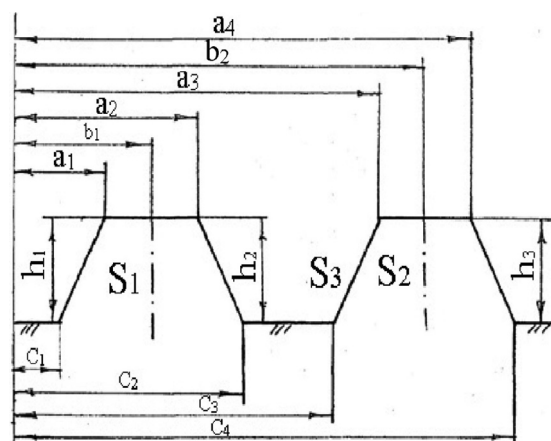


Рисунок 2. – Размеры двух соседних грядок

В результате обработки исходных данных были получены статистические характеристики указанных размеров (параметров грядки): минимальное значение (min), среднее значение (сред.), максимальное значение (max), среднеквадратическое отклонение (с. кв. о.) и коэффициент вариации (коэф. вар.) для конкретного картофельного поля учхоза им. Фрунзе Минского района (таблица 1).

Анализ таблицы 1 показывает, что на длине гона 100 м параметры грядок изменялись в широких пределах: даже минимальное значение коэффициента вариации составляло 18 % (для параметра h_1), а максимальное значение достигало 104 % (для параметра c_1). При этом величина среднего значения междурядий колебалась в пределах 76...81 см, хотя картофель был посажен с междурядьем 70 см.

Занимаясь разработкой систем автоматического вождения (САВ) агрегатов при возделывании и уборке картофеля, для обоснования чувствительного элемента и выбора базовых поверхностей для него необходимо предварительно исследовать условия функционирования объекта вождения.

Как известно, в странах СНГ применяется гребневая посадка картофеля с шириной междурядий 70 см. Необходимо знать параметры грядок картофельного поля на всех операциях возделывания и уборки картофеля.

Таблица 1. – Статистические характеристики размеров картофельных грядок

Параметры	Значения				
	min, см	сред., см	max, см	с. кв. о., см	коэф. вар., %
b_1	0	56	98	32	57
b_2	85	135	173	29	21
a_1	-12	48	93	34	70
a_2	12	65	108	31	47
a_3	70	128	170	30	23
a_4	92	143	184	29	20
c_1	-25	28	69	29	104
c_2	20	81	126	35	43
c_3	54	109	145	27	25
c_4	105	157	199	33	21
h_1	7	10	15	2	18
h_2	6	10	14	2	23
h_3	2	9	14	3	30

Соответствующие статистические исследования проводились по методике, описанной ранее (см. рисунок 2). При этом измерение 1 проводилось весной при нарезке гребней, 2 – при посадке картофеля, 3 – при слепом окучивании, 4 – при культивации с подкормкой, 5 – при уборке ботвы. Кроме вышеуказанных прямых измерений аналитически определялись площади сечений обеих грядок и борозды между ними.

Обработка результатов статистических исследований проводилась по методике [5]. Определялись оценки: среднего значения, дисперсии, коэффициента вариации и спектральные плотности всех процессов: $a_1(l) \dots a_4(l)$, $b_1(l)$, $b_2(l)$, $c_1(l) \dots c_4(l)$, $h_1(l) \dots h_3(l)$, $S_1(l) \dots S_3(l)$, а также взаимные корреляционные функции следующих процессов: a_1-b_1 , a_2-b_2 , a_3-b_1 , a_4-b_1 , a_3-b_2 , a_1-c_1 , a_3-c_3 , a_2-c_2 , a_4-c_4 , a_4-b_2 , b_1-b_2 , h_1-h_2 , h_1-h_3 , h_2-h_3 , S_1-S_2 , S_1-S_3 .

Анализ полученных данных показал, что средние значения измеряемых параметров в период вегетации изменялись в больших пределах. Так, например, $b_1 = 50,1 \dots 66,0$ см; $b_2 = 128,2 \dots 141,1$ см, $a_2 = 59,4 \dots 72,4$ см, $a_3 = 116,4 \dots 139,5$ см, $h_2 = 10 \dots 15,7$ см. При этом коэффициенты вариации соответствующих параметров составляли: $V_{b_1} = 54,7 \dots 60,2$ %, $V_{b_2} = 21,6 \dots 24,2$ %, $V_{a_2} = 46,3 \dots 49,2$ %, $V_{a_3} = 23,3 \dots 27,1$ %, $V_{h_2} = 10,8 \dots 23,3$ %, а значение V_{c_1} в четырех измерениях превышало 100 % и колебалось в пределах 83,4...139,1 %.

Средняя ширина междурядий также существенно изменялась и ни при одном измерении не была равна 70 см; при нарезке гребней – 75,1 см, в момент уборки картофеля – 79,3 см, минимальная ширина – 72,1 см после окучивания, средняя ширина борозды по вершинам соседних грядок – 57,0...67,1 см, причем минимальное значение 57,0 см получено после посадки картофеля и после второго окучивания. Средняя ширина дна борозды после нарезки гребней – 27,7 см и в момент уборки картофеля – 27,8 см (практически одинаковая), а после второго окучивания равна 14,1 см.

Средняя глубина борозд в процессе вегетации картофеля уменьшалась: самые глубокие борозды оставались весной при нарезке $h = 13,8 \dots 15,7$ см, а к моменту уборки $h = 8,9 \dots 10,1$ см при дисперсиях 2,5...3,5 см² и 3,5...7,0 см² соответственно. Форма грядок не оставалась геометрически правильной на всех операциях возделывания, наблюдалось их деформирование не только колесами агрегатов, но и камнями, посторонними предметами, смывом ливневыми дождями и т.д.

Колебания значений параметров грядок и борозд необходимо учитывать при разработке конструкций подкапывающих рабочих органов и датчиков (копиров) САВ, в которых необходимо предусмотреть регулировку расстояния между элементами щупа для обеспечения постоянного контакта с базовой поверхностью. Смятие грядок нарушает непрерывность траектории ориентации, служащей опорой для щупов чувствительного элемента САВ, образуя дополнительные источники помех, что приводит к ложным срабатываниям системы.

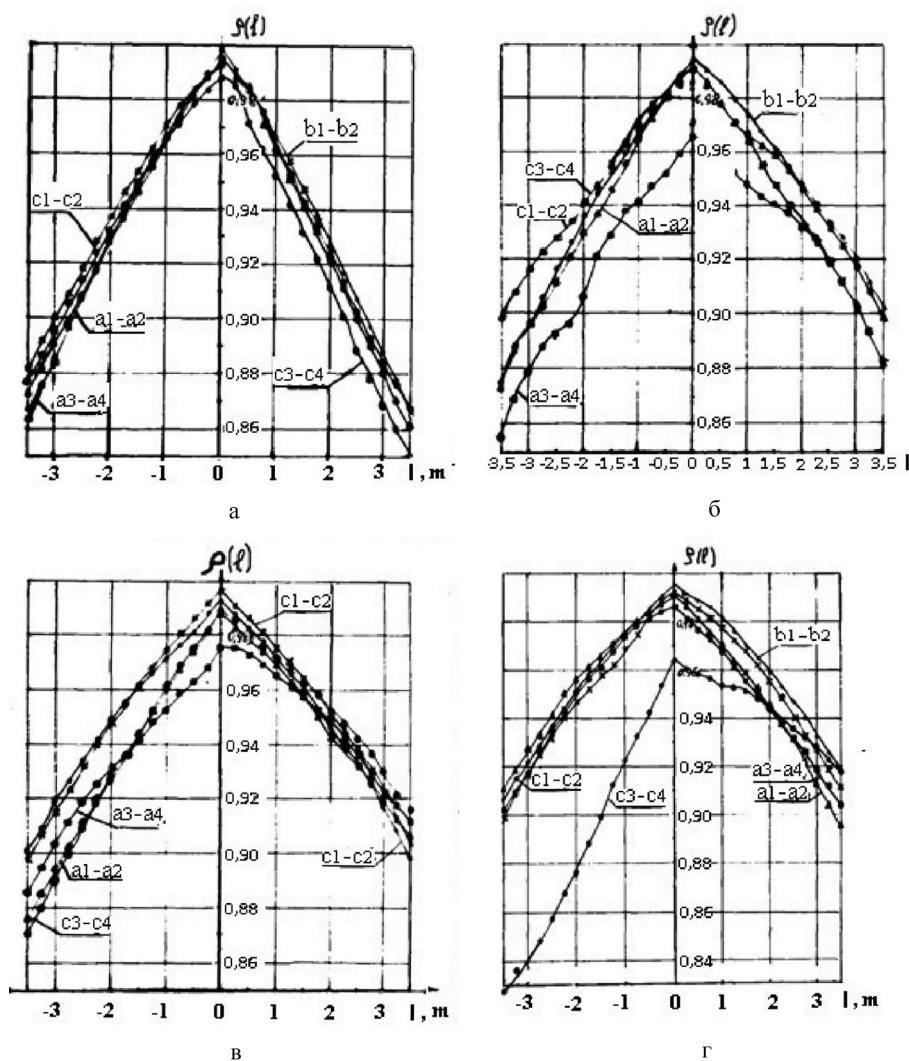
Представляют определенный интерес взаимные корреляционные функции процессов (рисунок 3).

После модернизации приемной части КСТ-1.4А с применением дисковых рабочих органов, установленных выпуклостью внутрь грядки на расстоянии 540 мм, значительно уменьшается количество почвы, поступающей в машину. Такой модернизированный копатель был установлен на первый образец модульного комбайна КМБ-2-01Д, а затем на КМБ-2Д.

По оценкам взаимных корреляционных функций рассматриваемых процессов видно, что максимальные значения коэффициентов корреляции очень высокие $\rho(l) > 0,96$ и приходятся на $l = 0$. При $l = \pm 3$ м коэффициенты корреляции уменьшаются, оставаясь довольно высокими $\rho(l) > 0,84$. После нарезки гребней различие в коэффициентах корреляции всех процессов незначительное, после посадки и слепого окучивания несколько увеличивается, а к моменту уборки $\rho(l) > 0,98$ при $l = 0$ для всех процессов, за исключением c_3-c_4 , где $\rho(l) > 0,96$ при $l = 0$.

Анализ графиков показывает, что рассмотренные процессы изменения параметров конфигурации грядок очень сильно зависимы с положительной корреляцией.

По результатам вышеизложенных исследований параметров грядки определялись статистические характеристики площадей сечения этих же картофельных грядок в момент уборки при заданной ширине захвата подкапывающих рабочих органов для рабочего диапазона значений глубины подкапывания. Расчеты показали, что в диапазоне изменения глубины подкапывания 18...24 см площадь сечения составляла для: однорядного КУК Л-601 – 0,08...0,12 м²; двухрядного



а...г – результаты соответственно 1...4 измерений

Рисунок 3. – Нормированные взаимные корреляционные функции процессов

КПК-2-01 – 0,14...0,20 м², двухрядного копателя КСТ-1,4А – 0,16...0,23 м². Коэффициент вариации площади при одной и той же глубине подкапывания колебался в пределах 4...7 %. Следовательно, подкапывающие рабочие органы комбайнов КПК-2-01 обеспечивают меньшее поступление почвы на сепарирующие рабочие органы, чем КСТ-1,4А.

Большая площадь сечения подкапывающего пласта получена из-за небольшой высоты грядок (среднее значение – 9...10 см). Высота грядок к моменту уборки может быть 20 см. Это зависит от типа почвы, технологии возделывания и количества осадков за срок вегетации.

Заключение

1. Условия функционирования КУМ сложны и многообразны: в РБ по почвенно-географическому районированию выделено три почвенных провинции: Северная (30 % территории), Центральная (43 %) и Южная (27 %); имеются песчаные, супесчаные, суглинистые и торфяно-болотные почвы, причем 10 % территории засорено камнями, а в Минской области 25 % каменистой пашни. Разрабатывать необходимо картофелеуборочную технику, учитывая разнообразие условий функционирования.

2. Современная практика конструирования КУМ должна базироваться на научно обоснованном банке исходных данных, определяющих условия функционирования машин. В основу решения данной концепции могут быть положены результаты исследований, представленные в статье в виде статистических характеристик процессов изменения конфигураций и профилей картофельных грядок, описанных экспериментально-аналитическими зависимостями, позволившими с помощью научных гипотез, разработанных математических моделей, методик с применением компьютерной техники обосновать, разработать, исследовать, оптимизировать параметры и внедрить конструкции рабочих органов, компоновочные и технологические схемы машин, обеспечивающих надлежащие показатели качества уборки.

3. Качество работы КУМ регламентировано агротехническими требованиями, и основой их эффективного использования является обеспечение высокого качества управления ТП с целью более полного использования конструктивных возможностей для получения качества работы, удовлетворяющего этим требованиям. Управление ТП неосуществимо без создания простых средств контроля за качеством выполнения ТП каждым рабочим органом, позволяющих оперативно выявлять причины неоптимальности его выполнения и, проводя соответствующие регулировки, улучшать показатели работы КУМ. А разработка этих средств позволит создать предпосылки для перехода к автоматическому управлению режимами работы рабочих органов машин, начало чему уже положено.

Литература

1. Природа Белоруссии: Популярная энциклопедия. – Минск: Бел СЭ, 1989. – 599 с.
2. Почвы БССР. Минская область (по материалам II тура почвенных обследований колхозов, госхозов, лесничеств). – Минск, 1990. – 430 с.
3. Государственный земельный кадастр Республики Беларусь: по состоянию на 4 января 1992 г. – Минск, 1992. – 53 с.
4. Ресурсосберегающие технологии уборки корнеплодов и луковичных культур / В. П. Буяшов [и др.] // Изобретатель. – 2015. – № 10. – С. 37–39.
5. Методика статистической обработки на ЭВМ результатов испытаний и исследований сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления / Е. А. Абелев [и др.]; под ред. А. Б. Лурье. – Ленинград: ЛСХИ, 1983. – 37 с.

**И. С. Крук¹, Д. Н. Колоско¹, Ф. И. Назаров¹, Ю. В. Чигарев¹,
А. А. Тиунчик¹, Н. Г. Бакач², Д. С. Мазур¹**

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: kruk_igar@mail.ru

ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ УПЛОТНЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ КОЛЬЧАТО-ПРУТКОВЫХ КАТКОВ

В статье приведены теоретические исследования взаимодействия цилиндрических уплотняющих элементов кольчато-прутковых катков с почвой, на основе которых получены зависимости для определения их рациональных конструктивных и технологических параметров. Из условий прочности конструкции на изгиб и срез получена формула для определения рационального диаметра цилиндрических прутков в зависимости от требуемой их длины, используемого для изготовления материала и заданных условий работы.

Ключевые слова: каток, уплотняющий элемент, диаметр, длина, прочность, воздействие, напряжение, изгиб, срез.

I. S. Kruk¹, D. N. Kalasko¹, F. I. Nazarau¹, U. V. Chigarau¹, A. A. Tiunchick¹, N. G. Bakach², D. S. Mazur¹

¹Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»

²RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: kruk_igar@mail.ru

STRENGTH CALCULATION OF PARAMETERS OF SEALING ELEMENTS OF TILLER RING-AND-ROD ROLLERS

The article presents theoretical studies of the interaction of cylindrical sealing elements of ring-and-rod rollers with soil, on the basis of which dependences were obtained to determine their rational design and technological parameters. From the strength conditions of the structure for bending and shearing, a formula is obtained for determining the rational diameter of cylindrical rods, depending on the required length used to fabricate the material and the specified operating conditions.

Keywords: roller, sealing element, diameter, length, strength, impact, stress, bending, shear.

Введение

Для обеспечения требуемого качества основной обработки почвы, усадки и дополнительной обработки пласта в конструкциях плугов используются катковые приставки [1–4]. На качество выполняемого технологического процесса и надежность агрегата влияют конструкция, геометрические размеры катков, кинематические и динамические параметры их работы, а также состояние обрабатываемого агрофона. Наиболее эффективными рабочими органами являются кольчато-шпоровые катки с цилиндрической формой уплотняющих элементов, которые качественно крошат, выравнивают и уплотняют поверхностный слой почвы (рисунок 1) [5–7].

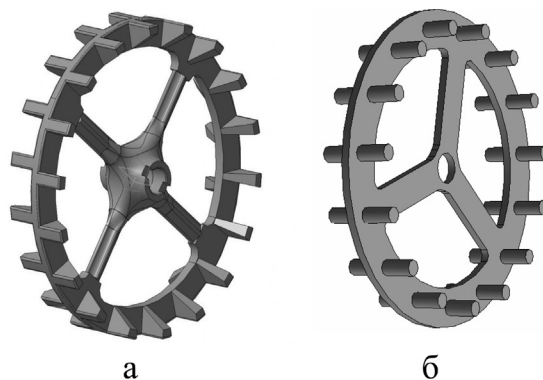


Рисунок 1. – Кольчато-шпоровый (а) и кольчато-прутковый (б) рабочие органы почвообрабатывающих катков

Объекты и методы исследований

Объектом исследований являлись уплотняющие элементы кольчато-прутковых рабочих органов катковых приставок пахотных агрегатов, которые изучали с позиций обеспечения надежности при выполнении технологического процесса поверхностной обработки почвы. При проведении исследований применялись аналитический и графический (построения эпюр) методы с использованием классических теорий прочности сопротивления материалов.

Результаты исследований

При расчете деталей машин на прочность приходится сравнивать фактические напряжения, возникающие в сечении, с некоторыми допускаемыми напряжениями, рассчитанными для данного материала и вида нагружения. Для обеспечения надежности цилиндрических уплотняющих элементов кольчато-прутковых почвообрабатывающих катков необходимо определить из условий прочности сечения рациональное соотношение диаметра прутков $d_{\text{пр}}$ (м) и их длины $l_{\text{пр}}$ (м): $k_{\text{пр}} = \frac{l_{\text{пр}}}{d_{\text{пр}}}$. Величина данного параметра определяет не только работоспособность и долговечность конструкции уплотняющих элементов, но и материалоемкость рабочего органа, конструктивные и технологические параметры их установки на оси приставки, ее вес, а следовательно, и энергоемкость выполнения технологического процесса.

При работе кольчато-пруткового катка на уплотняющие элементы действуют сила тяжести F_T и сила сопротивления почвы внедрению прутка (распределенная нагрузка q) (рисунок 2).

Сила трения равна:

$$F_T = m_{\text{пр}} g,$$

где $m_{\text{пр}}$ – масса прутка, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Массу прутка найдем по формуле:

$$m_{\text{пр}} = \rho_{\text{ст}} V_{\text{пр}} = \rho_{\text{ст}} \frac{\pi d_{\text{пр}}^2 l_{\text{пр}}}{4},$$

где $\rho_{\text{ст}}$ – плотность стали, кг/м³;

$V_{\text{пр}}$ – объем прутка; м³.

Распределенная нагрузка равна

$$q = \frac{N_1}{l_{\text{пр}}},$$

где N_1 – сила воздействия почвы на прутки, Н.

Максимальный момент в опасном сечении прутка определим по формуле (рисунок 2):

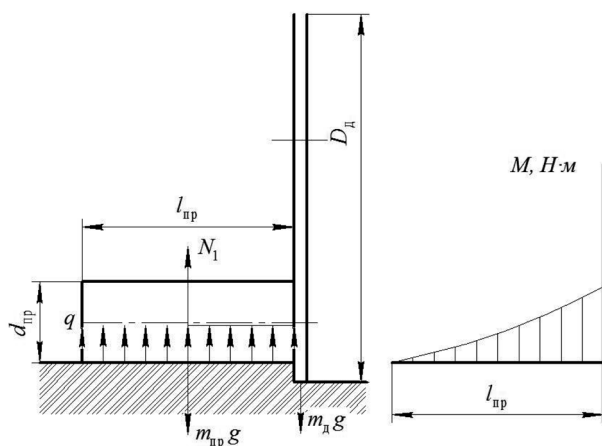


Рисунок 2. – Силы, действующие на кольчато-прутковый рабочий орган

$$M_{\text{max}} = \frac{q l_{\text{пр}}^2}{2} - m_{\text{пр}} g \frac{l_{\text{пр}}}{2}. \quad (1)$$

Во время работы приставок на их уплотняющие элементы действуют постоянная нагрузка N_1 (реакция почвы, определяемая сопротивлением почвы внедрению) и кратковременная N_2 , возникающая при кратковременном взаимодействии с препятствием.

При работе приставок на полях, не засоренных камнями, на прутки в процессе работы действует только постоянная нагрузка N_1 (величина N_2 отсутствует или незначительна, поэтому ей можно пренебречь).

$$N_1 = \frac{\pi k_{\text{см}} l_{\text{пр}} d_{\text{пр}} h}{2}, \quad (2)$$

где h – глубина заглубления прутка в почву, м;

$k_{\text{см}}$ – коэффициент объемного смятия, учитывающий свойства почвы, $H/\text{м}^3$ [8].

Предельные статические нормальные напряжения равны [9, 10]:

$$\sigma_{\text{max ст}} = \frac{M_{\text{max}}}{W_{z \text{ пр}}},$$

где $W_{z \text{ пр}}$ – полярный момент сопротивления прутка, м^3 :

$$W_{z \text{ пр}} = \frac{\pi d_{\text{пр}}^3}{32}.$$

Тогда

$$\sigma_{\text{max ст}} = \frac{l_{\text{пр}}^2 (8k_{\text{см}} h - 4g\rho_{\text{ст}} d_{\text{пр}})}{d_{\text{пр}}^2}. \quad (3)$$

При работе на не засоренных камнями участках прутки работают только на изгиб, тогда

$$\sigma_{\text{max ст}} = \frac{l_{\text{пр}}^2 (8k_{\text{см}} h - 4g\rho_{\text{ст}} d_{\text{пр}})}{d_{\text{пр}}^2} \leq [\sigma_{\text{ст}}], \quad (4)$$

где $[\sigma_{\text{ст}}]$ – допустимое напряжение, Па.

$$l_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{[\sigma_{\text{ст}}] d_{\text{пр}}^2}{8k_{\text{см}} h - 4g\rho_{\text{ст}} d_{\text{пр}}}}.$$

Рассмотрим наиболее приближенный к практике случай, когда плуг с приставками работает на засоренном камнями участке. В процессе работы при наезде катковой приставки на камень весь ее вес приходится на прутки, взаимодействующий с камнем (рисунок 3), что приводит к его срезу.

В данном случае в гранях куба распределения напряжений в основании прутка, помимо нормальных напряжений, возникают касательные (рисунок 4), что свидетельствует о плоском напряженном состоянии. Для проверки прочности в плоском напряженном состоянии необходимо использовать теории прочности [9].

Предельные касательные напряжения равны

$$\tau_{\text{max ст}} = \frac{N_2}{A_{\text{ср}}} = \frac{4N_2}{\pi d_{\text{пр}}^2}, \quad (5)$$

где $A_{\text{ср}}$ – площадь сечения среза прутка, м^2 .

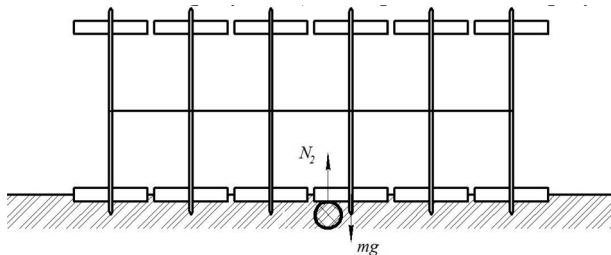


Рисунок 3. – Взаимодействие прутка с почвой

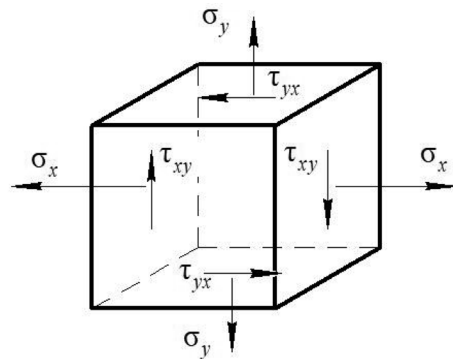


Рисунок 4. – Напряжения, действующие на основание прутка

При известной массе приставки нормальную реакцию N_2 находим по формуле:

$$N_2 = m_{\text{кп}} g, \quad (6)$$

где $m_{\text{кп}}$ – масса катковой приставки, кг.

Масса катковой приставки равна сумме масс всех элементов, входящих в ее состав: почвообрабатывающих рабочих органов, оси, подшипниковых узлов и рамы.

Для изменения физического воздействия на почву в приставках используют грузы (прицепные приставки) и перераспределения веса плуга (приставки, навешиваемые на раму плуга). Поэтому следует учитывать дополнительную силу догружения F_d . Формула (6) примет следующий вид:

$$N_2 = m_{\text{кп}} g + F_d. \quad (7)$$

При условии, что вес катковой приставки выбран минимальный, справедливо равенство:

$$N_2 = m_{\text{кп}} g + F_d = n N_1, \quad (8)$$

где n – количество одновременно уплотняющих почву прутков, шт.

Подставив полученные равенства в формулу (5), имеем:

– при условии, что вес катковой приставки минимальный:

$$\tau_{\text{max ст}} = \frac{2nk_{\text{см}}l_{\text{пр}}h}{d_{\text{пр}}}; \quad (9)$$

– при заданной массе катковой приставки:

$$\tau_{\text{max ст}} = \frac{4(m_{\text{кп}}g + F_d)}{\pi d_{\text{пр}}^2}. \quad (10)$$

Для этого случая определим главные напряжения [9]:

$$\sigma_{\text{max ст}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}; \quad (12)$$

$$\sigma_{\text{min ст}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}. \quad (13)$$

Для рассматриваемого случая $\sigma_y = 0$.

Для проверки прочности прутка из пластичного материала (стали) воспользуемся третьей теорией прочности, которая имеет вид [9, 10]:

$$\sigma_{\text{экв ст}}^{\text{III}} = \sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma_{\text{ст}}], \quad (14)$$

где $\sigma_1 = \sigma_{\text{max ст}}$; $\sigma_3 = \sigma_{\text{min ст}}$.

Подставив в формулу (10) максимальные и минимальные напряжения, получим:

$$\sigma_{\text{экв ст}}^{\text{III}} = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2} \leq [\sigma_{\text{ст}}]. \quad (15)$$

Подставив в уравнение (15) значения из формул (3) и (9), получим неравенство для минимально допустимого веса катковой приставки:

$$\sigma_{\text{экв ст}}^{\text{III}} = \sqrt{\frac{l_{\text{пр}}^4 (8k_{\text{см}}h - 4g\rho_{\text{ст}}d_{\text{пр}})^2}{d_{\text{пр}}^4} + \frac{16n^2k_{\text{см}}^2l_{\text{пр}}^2h^2}{d_{\text{пр}}^2}} \leq [\sigma_{\text{ст}}]. \quad (16)$$

Подставив в уравнение (15) значения из формул (3) и (10), получим неравенство для заданной массы катковой приставки:

$$\sigma_{\text{экв.ст}}^{\text{III}} = \sqrt{\frac{l_{\text{пр}}^4 (8k_{\text{см}} h - 4g\rho_{\text{ст}} d_{\text{пр}})^2}{d_{\text{пр}}^4} + \frac{64(m_{\text{кп}} g + F_{\text{д}})^2}{\pi^2 d_{\text{пр}}^4}} \leq [\sigma_{\text{ст}}]. \quad (17)$$

Наибольшая величина воздействия на пруток происходит при его взаимодействии с камнем (рисунок 5), поэтому необходимо учитывать динамический коэффициент, который определяется по формуле [9, 10]:

$$k_{\text{д}} = \sin \alpha_{\text{пр}} + \sqrt{\sin^2 \alpha_{\text{пр}} + \frac{v_{\text{пр}}^2}{g \Delta_{\text{ст}}}}, \quad (18)$$

где $\alpha_{\text{пр}}$ – угол приложения силы, *рад.*;

$v_{\text{пр}}$ – скорость прутка в момент удара, *м/с*;

$\Delta_{\text{ст}}$ – перемещение прутка при статическом приложении нагрузки, *м*.

Угол приложения силы для нашего случая будет находиться в пределах 0,48–0,5 *рад*. При значении углов менее 0,48 *рад*. пруток с большой вероятностью сдвинет камень, а не сломается о него.

Диск с прутками совершает плоскопараллельное движение, значит, скорость прутка в момент удара будет:

$$v_{\text{пр}} = \sqrt{v_{\text{кп}}^2 + v_{\text{к}}^2 + v_{\text{к}} \cdot v_{\text{кп}} \cdot \cos(90 + \alpha_{\text{пр}})} = \sqrt{v_{\text{кп}}^2 + v_{\text{к}}^2 - v_{\text{к}} \cdot v_{\text{кп}} \cdot \sin \alpha_{\text{пр}}},$$

где $v_{\text{кп}}$ – скорость катковой приставки, *м/с*;

$v_{\text{к}}$ – окружная скорость прутка в точке удара, *м/с*.

$$v_{\text{к}} = \frac{\omega \cdot D_{\text{д}}}{2},$$

где ω – угловая скорость, *с⁻¹*;

$D_{\text{д}}$ – диаметр диска, *м*.

Пруток приварен к диску, поэтому применим формулу для консольной балки [9, 10]:

$$\Delta_{\text{ст}} = \frac{N_2 l_{\text{пр}}^3}{3EI_z},$$

где E – модуль продольной упругости (модуль Юнга), *Па*;

I_z – полярный момент инерции, *м⁴*.

$$I_z = \frac{\pi d_{\text{пр}}^4}{64};$$

$$\Delta_{\text{ст}} = \frac{64 N_2 l_{\text{пр}}^3}{3\pi E d_{\text{пр}}^4}. \quad (19)$$

Динамический коэффициент:

– при минимальном весе катковой приставки получим, подставив в формулу (18) значения из выражений (8) и (19):

$$k_{\text{д}} = \sin \alpha_{\text{пр}} + \sqrt{\sin^2 \alpha_{\text{пр}} + \frac{v_{\text{пр}}^2}{\frac{32 g l_{\text{пр}}^3 n k_{\text{см}} l_{\text{пр}} h}{3 E d_{\text{пр}}^3}}}; \quad (20)$$

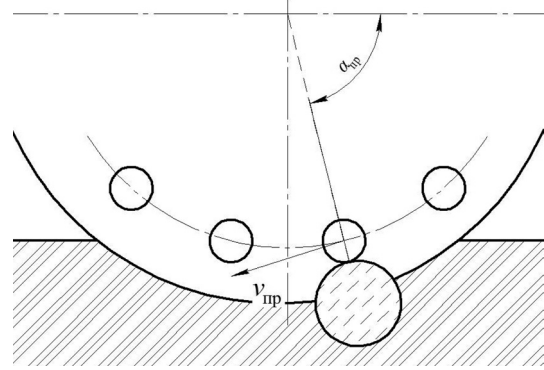


Рисунок 5. – Взаимодействие прутка с камнем в почве

– при заданной массе катковой приставки получим, подставив в формулу (18) значения из выражений (7) и (19):

$$k_d = \sin \alpha_{\text{пр}} + \sqrt{\sin^2 \alpha_{\text{пр}} + \frac{v_{\text{пр}}^2}{\frac{64gl_{\text{пр}}^3(m_{\text{кп}}g + F_d)}{3\pi Ed_{\text{пр}}^4}}}. \quad (21)$$

С учетом динамического коэффициента получим неравенство:

– при минимальном весе катковой приставки:

$$\sqrt{\frac{l_{\text{пр}}^4(8k_{\text{см}}h - 4g\rho_{\text{ст}}d_{\text{пр}})^2}{d_{\text{пр}}^4} + \frac{16n^2k_{\text{см}}^2l_{\text{пр}}^2h^2}{d_{\text{пр}}^2}} \left(\sin \alpha_{\text{пр}} + \sqrt{\sin^2 \alpha_{\text{пр}} + \frac{v_{\text{пр}}^2}{\frac{32gl_{\text{пр}}^4nk_{\text{см}}h}{3Ed_{\text{пр}}^3}}} \right) \leq [\sigma_{\text{ст}}]; \quad (22)$$

– при заданной массе катковой приставки:

$$\sqrt{\frac{l_{\text{пр}}^4(8k_{\text{см}}h - 4g\rho_{\text{ст}}d_{\text{пр}})^2}{d_{\text{пр}}^4} + \frac{64(m_{\text{кп}}g + F_d)^2}{\pi^2d_{\text{пр}}^4}} \left(\sin \alpha_{\text{пр}} + \sqrt{\sin^2 \alpha_{\text{пр}} + \frac{v_{\text{пр}}^2}{\frac{64gl_{\text{пр}}^3(m_{\text{кп}}g + F_d)}{3\pi Ed_{\text{пр}}^4}}} \right) \leq [\sigma_{\text{ст}}]. \quad (23)$$

Решив уравнение (22), найдем допустимый диаметр прутка при условии, что вес приставки минимален:

$$[d_{\text{пр}}] = \frac{2k_{\text{см}}hg\rho_{\text{ст}}l_{\text{пр}}^2 + \frac{l_{\text{пр}}^2 \cdot gnk_{\text{см}}h}{v_{\text{пр}}^2 \cdot 3E} [\sigma_{\text{ст}}^2]}{(g^2\rho_{\text{ст}}^2l_{\text{пр}}^2 + n^2k_{\text{см}}^2h^2)} \pm \sqrt{\left(2k_{\text{см}}hg\rho_{\text{ст}}l_{\text{пр}}^2 + \frac{l_{\text{пр}}^2 \cdot gnk_{\text{см}}h}{v_{\text{пр}}^2 \cdot 3E} [\sigma_{\text{ст}}^2]\right)^2 - 4(g^2\rho_{\text{ст}}^2l_{\text{пр}}^2 + n^2k_{\text{см}}^2h^2)k_{\text{см}}^2h^2l_{\text{пр}}^2} \\ \pm \frac{\sqrt{\left(2k_{\text{см}}hg\rho_{\text{ст}}l_{\text{пр}}^2 + \frac{l_{\text{пр}}^2 \cdot gnk_{\text{см}}h}{v_{\text{пр}}^2 \cdot 3E} [\sigma_{\text{ст}}^2]\right)^2 - 4(g^2\rho_{\text{ст}}^2l_{\text{пр}}^2 + n^2k_{\text{см}}^2h^2)k_{\text{см}}^2h^2l_{\text{пр}}^2}}{(g^2\rho_{\text{ст}}^2l_{\text{пр}}^2 + n^2k_{\text{см}}^2h^2)}.$$

На рисунке 6 показан график, отражающий зависимость допустимого диаметра прутка от его длины.

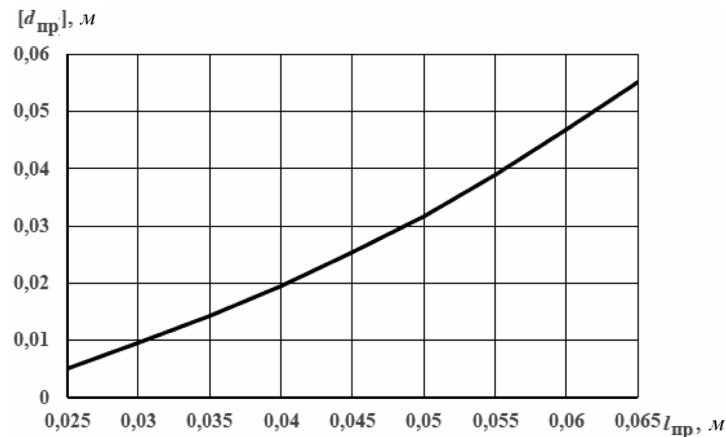


Рисунок 6. – Зависимость допустимого диаметра прутка $[d_{\text{пр}}]$ от его длины $l_{\text{пр}}$

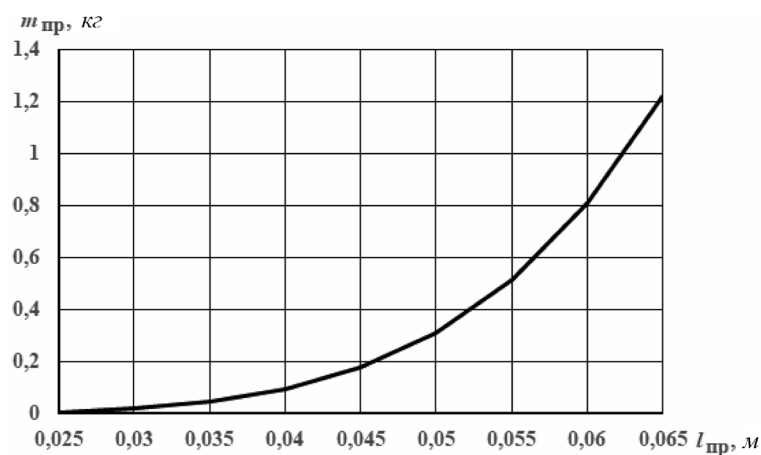


Рисунок 7. – Зависимость массы прутка $m_{пр}$ от его длины $l_{пр}$ при соответствующем допустимом диаметре

Из приведенного графика видно, что с ростом длины прутка его допустимый диаметр увеличивается. На диске обычно устанавливается от 48 до 60 прутков – количество определяется его конструктивными параметрами. Применение прутков с большей длиной приводит к увеличению их массы (рисунок 7), а следовательно, и массы катка. Однако при увеличении длины прутка увеличивается расстояние между катками, и их количество в секции катковой приставки с установленной шириной захвата может быть сокращено без снижения качества выполнения технологического процесса.

Заключение

Для обеспечения требуемого качества основной обработки почвы, усадки и поверхностной обработки пласта в пахотных агрегатах используются приставки с кольчато-прутковыми катками, имеющими цилиндрические уплотняющие элементы. На качество и энергоемкость выполняемого технологического процесса влияют конструкция, геометрические размеры катков, кинематические и динамические параметры их работы, а также состояние обрабатываемого агрофона.

В статье приведены теоретические исследования взаимодействия цилиндрических уплотняющих элементов кольчато-прутковых катков с почвой. Получены зависимости для определения рациональных конструктивных и технологических параметров цилиндрических прутков. Получена формула для определения рационального диаметра цилиндрических уплотняющих элементов, обеспечивающего надежную работу при требуемой их длине, используемом для изготовления материале и почвенных условиях.

Полученные результаты дополняют теорию взаимодействия уплотняющих элементов кольчато-прутковых рабочих органов с почвой, позволяют определить конструкционные и технологические параметры прутков и могут быть использованы при проектировании почвообрабатывающих катков.

Литература

1. Назаров, Ф. И. Повышение эффективности использования катковых приставок в комбинированных пахотных агрегатах / Ф. И. Назаров // Молодежь в науке-2014: прил. к журн. «Вес. Нац. акад. наук Беларусі»: в 5 ч. Ч. 5. – Минск: Беларуская навука, 2015. – С. 125–128.
2. Крук, И. С. Обеспечение требуемого качества подготовки почвы под посев культур при использовании дополнительных почвообрабатывающих устройств в пахотных агрегатах / И. С. Крук, Ф. И. Назаров // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Минск: БГАТУ, 2013. – С. 279–282.
3. Дополнительные орудия для повышения эффективности основной обработки почвы оборотными плугами / И. С. Крук [и др.] // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – Минск: БГАТУ, 2016. – С. 122–128.

4. Повышение эффективности использования дополнительных устройств для поверхностной обработки почвенного пласта в пахотных агрегатах / И. С. Крук [и др.] // The 8th International Research and Development Conference of Central and Eastern European Institutes of Agricultural Engineering: сборник статей, Poznan, Puszczykowo, Poland, June 25–28, 2013. – С. 13–17.

5. К обоснованию геометрических параметров кольчато-шпоровых катков / И. С. Крук [и др.] // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – Минск: БГАТУ, 2016. – С. 118–122.

6. Результаты экспериментальных исследований воздействия уплотняющих элементов почвообрабатывающего рабочего органа катковой приставки на почву / И. С. Крук [и др.] // Агропанорама. – 2015. – № 4. – С. 2–5.

7. Теоретические исследования воздействия на почву уплотняющих элементов кольчато-прутковых рабочих органов катковых приставок / И. С. Крук [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. агр. навук. – 2017. – № 4. – С. 92–102.

8. Чигарев, Ю. В. Математические основы механики почв / Ю. В. Чигарев, П.Н. Синкевич. – Минск: Технопринт, 2004. – 163 с.

9. Подскребко, М. Д. Сопротивление материалов / М. Д. Подскребко. – Минск: Вышэйшая школа, 2007. – 797 с.

10. Тетеркин, А. Е. Сопротивление материалов. Методическое пособие для самостоятельной работы студентов / А. Е. Тетеркин, Д. Н. Колоско. – Минск: БГАТУ, 2002. – 126 с.

УДК 631.333.4

Поступила в редакцию 12.06.2017

Received 12.06.2017

Э. В. Дыба, И. Л. Подшиваленко

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: dibua-18@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА НА НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ПОДАЧИ ЖИДКОГО НАВОЗА И ПОТРЕБНУЮ МОЩНОСТЬ

В статье приводятся результаты выполненных исследований неравномерности подачи жидкого навоза и потребной мощности в зависимости от изменения частоты вращения ротора.

Ключевые слова: жидкий навоз, машины для внутривспашки и поверхностного внесения, роторный распределитель, ротор, патрубок, штуцер, неравномерность, подача, распределение, энергоёмкость, потребная мощность.

E. V. Dyba, I. L. Podshivalenko

RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: dibua-18@mail.ru

RESEARCH OF INFLUENCE OF FREQUENCY OF ROTATION OF THE ROTOR ON UNEVENNESS OF SUPPLY OF THE LIQUID MANURE POWER

Results of the executed researches of unevenness of supply of liquid manure and power depending on change of frequency of rotation of a rotor are given in article.

Keywords: liquid manure, cars for intra soil and superficial introduction, the rotor distributor, a rotor, a branch pipe, the union, unevenness, giving, distribution, power consumption, power.

Введение

Непременным условием повышения плодородия почв является применение органических удобрений, прежде всего навоза, который обеспечивает не только пищевой режим растений, но и регулирует интенсивность и объем малого биологического круговорота энергии в агроэкосистемах. Использование жидкого навоза, ценность которого как органического удобрения известна, является одним из эффективных способов повышения плодородия почв [1, 2, 3].

Анализ отечественного и зарубежного опыта показывает, что наиболее рационально использовать жидкий навоз в качестве органического удобрения, непосредственно внося его на поля внутрипочвенным или поверхностным (с применением штанговых машин) способом. Согласно данным агрохимических исследований ученых Дании, при использовании штанговых машин со шлангами-понижителями, обеспечивающими подачу удобрений непосредственно на поверхность поля к корням растений, испаряется всего около 30 % аммиачного азота, а 70 % используется растениями [4, с. 58]. В связи с ужесточением требований к защите окружающей среды наряду с поверхностным внесением жидкого навоза все больше находит применение внутрипочвенный способ внесения. При внесении навоза непосредственно в почву эффективно используется до 90 % аммиачного азота, при этом урожайность сельскохозяйственных культур увеличивается на 10–15 % [5, 6].

На международном рынке сельскохозяйственной техники представлен широкий спектр машин для внутрипочвенного и поверхностного внесения жидкого навоза. Основными фирмами, производящими эти машины, являются Joskin (Бельгия), Kaweco (Нидерланды), Bauer (Австрия), VMR Veenhuis (Нидерланды), Tezborg Agro (США – Канада), Samson Agro (Дания), Zunhammer (Германия), Fliegl (Германия), Pichon (Франция), Maugum Citagri (Франция), Sodimac (Франция) [7–16]. Выпускаемые машины имеют схожую конструкцию, которая предполагает следующие узлы и механизмы: емкость (цистерну), шасси, устройство самозагрузки, системы перемешивания (пневматическая или механическая), подающее, дозирующее и распределяющее устройства.

Основными параметрами, характеризующими работоспособность распределяющих устройств (роторных распределителей), являются неравномерность распределения (подачи) жидкого навоза по шлангам и энергоемкость процесса (потребная мощность). Поэтому исследование неравномерности подачи жидкого навоза, потребной мощности в зависимости от изменения частоты вращения ротора роторного распределителя является актуальной научной задачей.

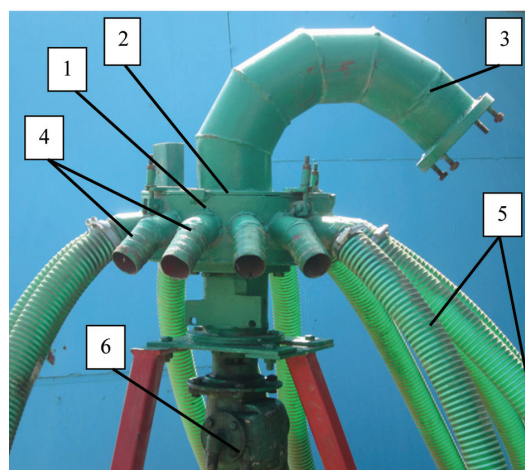
Объекты и методы исследования

Объектом исследований являлся роторный распределитель, который исследовался на неравномерность подачи жидкого навоза и потребную мощность в зависимости от изменения частоты вращения ротора. При исследовании применялись абстрактно-логический и расчетно-графический методы.

В результате теоретических исследований [17, 18] нами были обоснованы основные конструктивные и кинематические параметры роторного распределителя, которые позволяют обеспечить наименьшую неравномерность подачи навоза по разливочным шлангам. Очевидно, неравномерность подачи жидкого навоза роторным распределителем по разливочным шлангам зависит от частоты вращения ротора.

Влияние частоты вращения ротора на неравномерность подачи по ширине захвата дискового адаптера определяли, используя экспериментальный образец роторного распределителя (рисунок 1). Опыты проводили при постоянном давлении (0,25 МПа). Привод ротора распределителя осуществлялся от электродвигателя переменного тока. Частоту вращения электродвигателя регулировали с помощью преобразователя частоты переменного тока в пределах от 100 до 350 мин⁻¹ с интервалом 50 мин⁻¹. С его помощью измеряли напряжение, частоту вращения электродвигателя, силу и частоту переменного тока. Используя данные показатели, определяли потребную мощность, затрачиваемую на привод ротора распределителя.

Для отбора проб от каждого разливочного шланга использовали емкости объемом 40 литров. Отбор



1 – цилиндрический корпус; 2 – крышка;
3 – нагнетательный трубопровод;
4 – выливные штуцера; 5 – разливочные шланги;
6 – гидромотор

Рисунок 1. – Роторный распределитель

проб осуществлялся в течение 5 секунд. Отобранные пробы взвешивали на весах. Все измерения проводились в трехкратной повторности. Неравномерность подачи навоза оценивали коэффициентом вариации масс в пробах, отбираемых одновременно из каждого разливочного шланга.

Результаты исследований

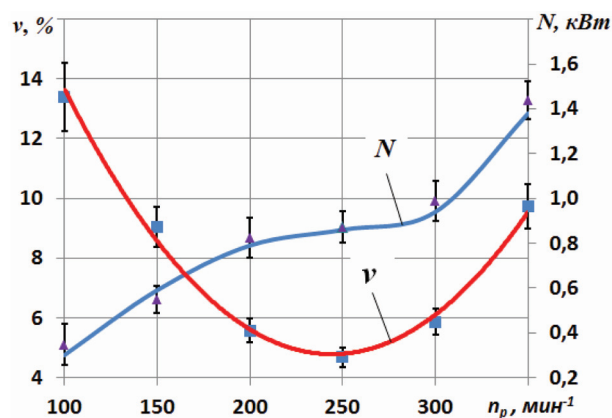


Рисунок 2. — Зависимости неравномерности подачи жидкого навоза роторным распределителем и потребляемой мощности от частоты вращения ротора

Как показали исследования, частота вращения ротора распределителя существенно влияет на неравномерность подачи жидкого навоза по разливочным шлангам и энергоёмкость процесса (рисунок 2). В соответствии с рисунком 2 при увеличении частоты вращения ротора распределителя от 100 мин^{-1} до 250 мин^{-1} неравномерность распределения v снижается с 13,39 % до 4,68 %. При дальнейшем увеличении частоты вращения ротора до 350 мин^{-1} неравномерность увеличивается до 9,72 %.

Объясняется это тем, что при частоте вращения ротора ниже 250 мин^{-1} скорость движения навоза в патрубках ротора $v_{от}$ (рисунок 3а) значительно больше окружной скорости ротора

на выходе $v_{ок}$. В результате этого абсолютная скорость v_a потока жидкости при входе в выливные штуцера из патрубков ротора направлена в их левую стенку. Это приводит к образованию локальных участков завихрения жидкости и к созданию местных дополнительных сопротивлений для движения навоза на входе в выливные штуцера. В результате поток жидкости, проходя через роторный распределитель, совершает колебательно-вихревое движение, тем самым увеличивается неравномерность подачи жидкого навоза.

При частоте вращения ротора более 250 мин^{-1} (рисунок 3б) скорость движения навоза в патрубках ротора $v_{от}$ меньше окружной $v_{ок}$. В результате этого абсолютная скорость потока жидкого навоза v_a при входе в выливные штуцера из патрубков ротора направлена в их правую стенку. Это также приводит к образованию локальных участков завихрения жидкого навоза и к колебательно-вихревому движению потока жидкости.

При частоте вращения ротора, близкой к 250 мин^{-1} (рисунок 3в), абсолютная скорость v_a потока жидкого навоза направлена параллельно оси выливного штуцера, совпадая по значению и направлению с меридиональной скоростью v_m . В результате этого поток жидкости, избегнув завихрения и пульсации, беспрепятственно входит в выливной штуцер.

При увеличении частоты вращения ротора распределителя от 100 мин^{-1} до 350 мин^{-1} затраты энергии на его привод растут с 0,35 кВт до 1,38 кВт (рисунок 2). Объясняется это тем,

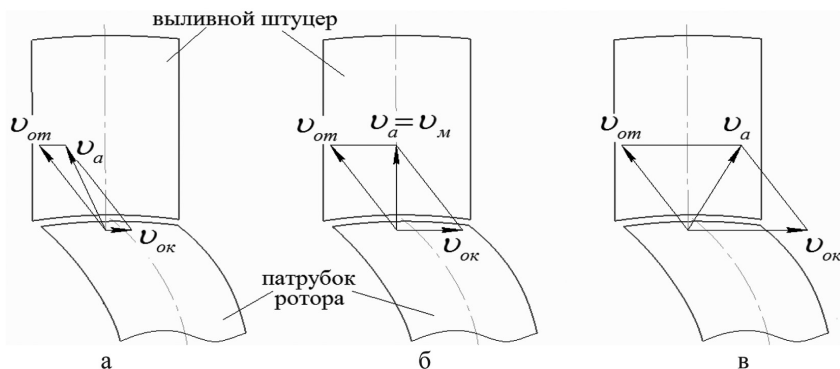


Рисунок 3. — Схемы движения жидкого навоза в сопряжении патрубка – штуцер для различной частоты вращения ротора роторного распределителя

что в системе трубопроводов машины роторный распределитель является источником местных гидравлических сопротивлений, снижающим пропускную способность трубопроводов. При частоте вращения ротора до 200 мин^{-1} жидкий навоз движется через роторный распределитель под действием напора, создаваемого вакуум-компрессором. При этом ротор выполняет распределяющую функцию. С увеличением частоты вращения от 200 мин^{-1} до 300 мин^{-1} ротор сообщает потоку жидкости, проходящему через него, дополнительно энергию, тем самым компенсируя гидравлические потери (поток жидкости без завихрения и пульсации беспрепятственно входит в выливной штуцер). При достижении частоты вращения выше 300 мин^{-1} ротор полностью компенсирует гидравлические сопротивления в роторном распределителе, но при этом наблюдаются рост затрат мощности на его привод и увеличение неравномерности подачи жидкого навоза.

Заключение

Результаты проведенных экспериментов показали, что для обеспечения минимальной неравномерности подачи жидкого навоза (от 4,68 до 6,03 %) роторным распределителем наиболее рациональной представляется частота вращения ротора от 200 мин^{-1} до 300 мин^{-1} . При данной частоте вращения ротора затраты мощности на его привод составят 0,79–0,94 кВт.

Литература

1. Алехин, Е. Г. Исследование процесса напорного гидротранспорта на фермах откорма крупного рогатого скота: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Е. Г. Алехин. – М., 1971. – 21 с.
2. Алехин, Е. Г. Методика расчета системы гидротранспорта кормов и экскрементов на фермах откорма КРС / В. Г. Алехин. – М.: Колос, 1971. – 215 с.
3. Рязанов, М. В. Повышение эффективности использования жидких органических удобрений путем разработки и обоснования параметров агрегата для подпочвенного внесения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / М. В. Рязанов. – Мичуринск – Научград, 2009. – 21 с.
4. Пирожак, Б. Попробуйте органику! Современные технологии внесения в почву отходов животноводства / Б. Пирожак // Новое сельское хозяйство. – 2009. – № 2. – С. 58–63.
5. Типовая технология применения жидких органических удобрений / разработ. Н.М. Марченко. – М.: Колос, 1983. – 52 с.
6. Технология внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений. – М.: Колос, 1987. – 60 с.
7. Современное состояние и тенденции развития сельскохозяйственной техники (По материалам Международной выставки «SIMA–2005»): науч.-ан. обзор. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 224 с.
8. Тенденции развития сельскохозяйственной техники за рубежом (По материалам Международной выставки «Agritechnica 2003», г. Ганновер, Германия, 9–11 ноября 2003 г.). – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. – 144 с.
9. Официальный сайт компании Pichon [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <http://www.pichonindustries.com/se>. – Дата доступа: 6.05.2017.
10. Официальный сайт компании Zunhammer [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <http://www.zunhammer.de/de/produkte/verteiltechnik>. – Дата доступа: 18.05.2017.
11. Официальный сайт компании Vogel [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <http://www.vogelsang.info/int/products>. – Дата доступа: 18.05.2017.
12. Официальный сайт компании Joskin [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: http://joskin.com/?page=ouils_erandage&user_lang=ru. – Дата доступа: 18.05.2017.
13. Инновационная сельскохозяйственная техника на 9-й российской агропромышленной выставке «Золотая осень»: науч.-ан. обзор. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 176 с.
14. Перспективная техника для АПК (По материалам Первой Международной специализированной выставки сельхозтехники «Агросалон»): науч.-ан. обзор. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 360 с.
15. Тенденции развития сельскохозяйственной техники за рубежом (По материалам Международной выставки «SIMA–2007»): науч.-ан. обзор. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 308 с.
16. Тенденции машинно-технологической модернизации сельского хозяйства (По материалам международных выставок «SIMA–2009», «Agritechnica–2009», «Золотая осень–2009», «Агросалон–2009»): науч.-ан. обзор. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 289 с.
17. Степук, Л. Я. Обоснование основных конструктивных параметров делительной головки адаптера машины МПВУ-16 / Л. Я. Степук, И. Л. Подшиваленко, Э. В. Дыба // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2014. – Вып. 48. – Т. 1. – С. 109–119.
18. Степук, Л. Я. Построение машин химизации земледелия / Л. Я. Степук, А. А. Жешко; Нац. акад. наук Беларуси, РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2012. – 443 с.

В. В. Голдыбан, А. С. Воробей, И. А. Барановский

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

**ГРЯДОДЕЛАТЕЛЬ НАВЕСНОЙ ГН-1 ДЛЯ НАРЕЗКИ
И ФОРМИРОВАНИЯ ГРЯД – ЗАЛОГ КАЧЕСТВЕННОЙ ПОДГОТОВКИ ПОЧВЫ
ДЛЯ ПОСАДКИ КАРТОФЕЛЯ И ТОПИНАМБУРА**

В статье представлено описание конструкции и рабочего процесса грядоделателя навесного ГН-1. Приведена техническая характеристика грядоделателя навесного ГН-1, а также показатели его экономической эффективности.

Ключевые слова: картофель, топинамбур, грядоделатель навесной, механизация, гряда, рабочие органы, приведенный экономический эффект.

V. V. Goldyban, A. S. Vorobey, I. A. Baranovsky

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: labpotato@mail.ru*

**THE GUIDELINDER OF THE CUTTING GN-1 FOR CUTTING
AND FORMING THE GRANTS IS THE PLACE OF QUALITATIVE TRAINING OF THE SOIL UNDER
THE LANDING OF POTATO AND JERUSALEM ARTICHOKE**

The article describes the design and working process of the shaper of the hinged GN-1. The technical characteristics of the shaper of the hinged GN-1, as well as the indicators of its economic efficiency are given.

Key words: potato, Jerusalem artichoke, hinged cutter, mechanization, ridge, working organs, reduced economic effect.

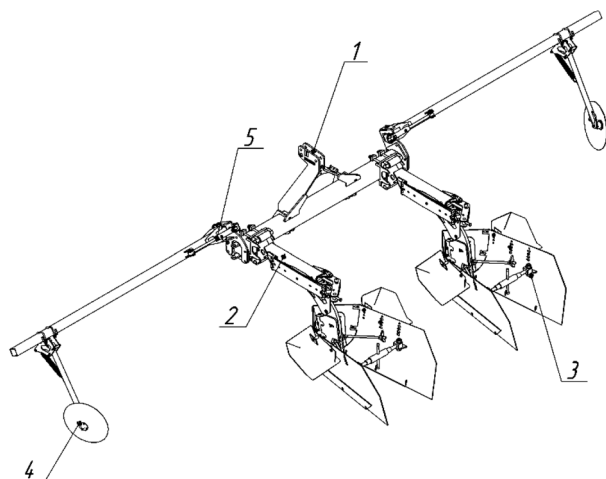
Введение

В рамках реализации программы Союзного государства «Инновационное развитие производства картофеля и топинамбура» на 2013–2016 гг. предложена и апробируется технология возделывания картофеля и топинамбура на грядах в 2 и 3 ряда с междурядьями 75 и 42 см соответственно.

В грядах почва не уплотняется колесами трактора, картофельные ростки предохраняются от повреждений колесами и рабочими органами агрегата, в грядах не образуются глыбы и почвенные комки, затрудняющие работу уборочных машин. Гряды меньше подвержены весенне-летнему иссушению, поэтому количество продуктивной влаги в начале вегетации картофеля на них несколько выше, чем на ровной поверхности и гребнях 75 см. При грядовой посадке клубней картофеля и топинамбура складывается и более благоприятный температурный режим, в связи с чем их всходы появляются на 2–3 дня раньше, чем на гребнях, а в отдельные годы разница достигает пяти дней. Вегетативная масса картофеля на грядах нарастает значительно быстрее и в большем количестве, чем на гребнях. Глубокие междрядовые борозды меньше заплывают при ливневых дождях и быстрее отводят излишнюю воду с полей.

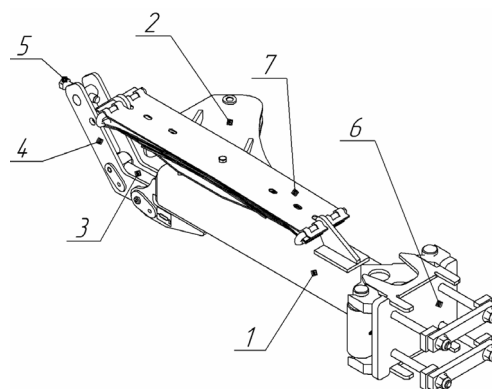
Основная часть

Одной из основных операций данной технологии является нарезка гряд с заданными параметрами. С этой целью в рамках программы Союзного государства «Инновационное развитие производства картофеля и топинамбура» на 2013–2016 гг. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» был разработан грядоделатель навесной ГН-1.



1 – навеска; 2 – грядили; 3 – плуги; 4 – маркеры;
5 – гидрооборудование

Рисунок 1. – Грядоделатель (общий вид)



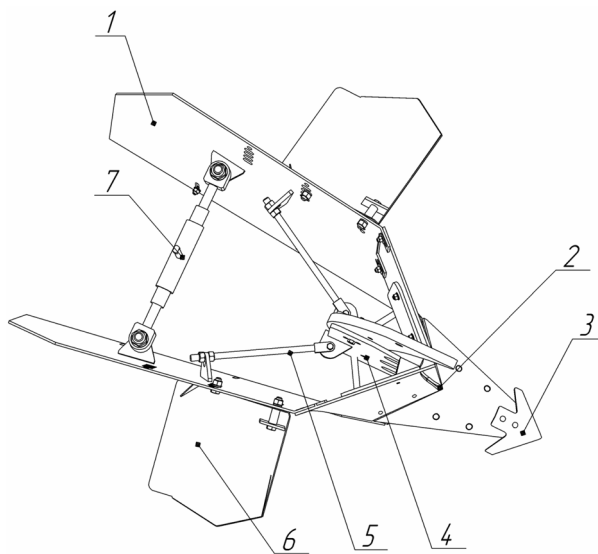
1 – грядиль; 2 – кронштейн; 3 – тяга;
4 – механизм натяжения;
5 – регулировочный винт;
6 – механизм крепления; 7 – рессора

Рисунок 2. – Грядиль

Грядоделатель (рисунок 1) состоит из навески, включающей в себя центральную балку для крепления и монтажа основных узлов и механизмов, двух грядилей, двух плугов, двух маркеров и гидрооборудования.

Грядиль представляет собой фигурную стойку. Он состоит (рисунок 2) из грядиля, двух кронштейнов, тяги, натяжного механизма, регулировочного винта, механизма натяжения и рессоры.

Основной рабочий орган грядоделателя плуг (рисунок 3) состоит из боковин, груди, лапы, кронштейна и талрепа.



1 – боковина; 2 – грудь; 3 – лапа; 4 – регулировочная боковина; 5 – тяги; 6 – пластины; 7 – талреп

Рисунок 3. – Плуг

Техническая характеристика грядоделателя навесного ГН-1 представлена в таблице 1.

Технологический процесс работы грядоделателя навесного ГН-1 следующий: грядоделатель навесной для нарезки и формирования гряд навешивается на трактор тягового класса 2,0 при помощи навески 1. При движении агрегата гидрофицированный маркер 4 переводится в рабочее положение и задает направление трактору при помощи гидрооборудования 5. При движении в обратную сторону такое же направление задает второй гидрофицированный маркер. Плуги 3, установленные на грядилях 2, вклиниваются в массив почвы и раздвигают ее.

Таблица 1. – Техническая характеристика грядоделателя навесного ГН-1

Наименование показателя	Значение
Тип	навесной
Марка	ГН-1
Рабочая скорость, км/ч	6,1–4,1
Производительность за час основного времени, га	0,60–0,90
Производительность за час сменного времени, га	0,45–0,67
Производительность за час эксплуатационного времени, га	0,43–0,64
Масса, кг, не более	1450
Габаритные размеры грядоделателя, мм, не более:	
– в транспортном положении	
– длина	2910
– ширина	3350
– высота	2730
– в рабочем положении	
– длина	2980
– ширина	4980
– высота	2060
Количество обслуживающего персонала, тракторист-машинист	1
Дорожный просвет, мм, не менее	300
Эксплуатационно-технологические коэффициенты, не менее:	
– технологического обслуживания;	0,99
– коэффициент использования сменного времени;	0,99
– коэффициент использования эксплуатационного времени;	0,72
– коэффициент надежности технологического процесса	0,75

Заключение

Грядоделатель навесной ГН-1 успешно прошел государственные приемочные испытания в ГУ ИЦ «Белорусская МИС», протокол приемочных испытаний № 062Б 1/8-2016ИЦ от 15 ноября 2016 г., и готов к постановке на серийное производство.

Грядоделатель навесной ГН-1 нарезает качественную гряду с заданными параметрами согласно агротехническим требованиям, что в дальнейшем позволит повысить урожайность возделываемой продукции на грядах на 30–40 %.

В конечном итоге срок окупаемости грядоделателя навесного ГН-1 составит 4,8 года. Годовой приведенный экономический эффект от его использования составит 6175 белорусских рублей.

УДК 631.365

Поступила в редакцию 30.06.2017
Received 30.06.2017

В. П. Чеботарев

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: v.p.chebotarev@tut.by

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО СЕПАРИРУЮЩЕГО КАНАЛА ДЛЯ ОЧИСТКИ ЗЕРНА

В статье приводятся результаты выполненных исследований по расчету параметров пневматического сепарирующего канала для очистки зерна. Для расчета параметров пневматического сепарирующего канала необходимо теоретически рассмотреть пневматическое сепарирование как физический процесс разделения небольшого числа частиц тяжелого и легкого компонентов смеси вертикальным воздушным потоком. Исходя из заданной производительности зерноочистительной машины, по теоретическим зависи-

мостям установлены скорость воздушного потока, длина и глубина пневматического сепарирующего канала.

Ключевые слова: сепарирование, воздушные сепараторы, зерновая смесь, сепарирующий канал, скорость воздушного потока, аэродинамическое сопротивление, удельная зерновая нагрузка.

V. P. Chebotarev

Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: v.p.chebotarev@tut.by

CALCULATION OF THE PARAMETERS OF THE PNEUMATIC SEPARATING CHANNEL FOR GRAIN CLEANING

The article presents the results of studies on the calculation of the parameters of the pneumatic separation channel for grain cleaning. To calculate the parameters of the pneumatic separation channel, it is necessary to theoretically consider the pneumatic separation as a physical process of separating a small number of particles of the heavy and light components of the mixture by a vertical air flow. Based on the specified productivity of the grain cleaning machine, the theoretical dependencies are established: airflow velocity, length and depth of the pneumatic separation duct.

Keywords: separation, air separators, grain mixture, separation channel, air speed, aerodynamic resistance, specific grain load.

Введение

Пневматическое сепарирование – это процесс разделения зерносоломистых смесей воздушным потоком в воздушном сепараторе. Воздушные сепараторы предназначены для разделения сыпучих продуктов с помощью воздушного потока на основе различия аэродинамических свойств частиц разделяемых компонентов смеси [1, 2]. Наибольшее распространение, благодаря простой и компактной конструкции, получили устройства, сепарирующие зерновую смесь в вертикальном воздушном потоке. Основным рабочим органом, обеспечивающим пневматическое сепарирование, является пневматический сепарирующий канал.

Основная часть

Для расчета параметров пневматического сепарирующего канала необходимо теоретически рассмотреть пневматическое сепарирование как физический процесс разделения небольшого числа частиц тяжелого и легкого компонентов смеси вертикальным воздушным потоком. Сепарируемая частица M массой m поступает в пневматический сепарирующий канал (рисунок 1) под углом к горизонту с некоторой начальной скоростью v_0 . После попадания в воздушный поток канала частица совершает сложное движение, состоящее из переносного вместе с воздушным потоком и относительного относительно потока. Воздушный поток действует на частицу со скоростью v_A .

К частице приложены следующие силы: сила тяжести G и сила сопротивления воздушного потока R_A , направленная по касательной к траектории в сторону, противоположную движению. Сила сопротивления воздушному потоку (реакция воздуха)

$$R_A = \xi_A \rho_A S_M v_A^2 / 2,$$

а с учетом $\kappa_A = \xi_A \rho_A S_M / 2m$ (коэффициент пропорциональности силы аэродинамического сопротивления):

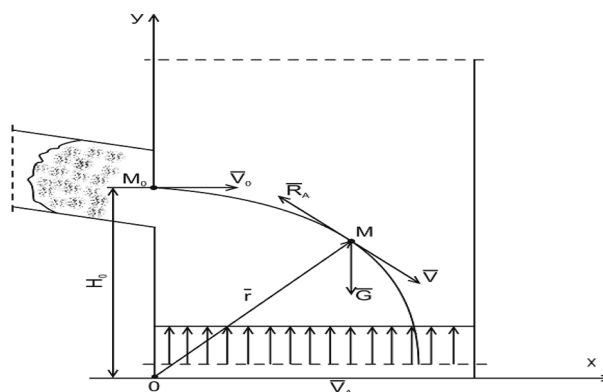


Рисунок 1. – Схема сил, действующих на частицу M в вертикальном пневмосепарирующем канале

$$R_A = m\kappa_A v_A^2,$$

где ξ_A – коэффициент аэродинамического сопротивления;

S_M – миделево сечение зерновки, m^2 ;

ρ_A – плотность воздуха, $кг/м^3$.

Уравнение движения частицы в векторной форме будет иметь следующий вид:

$$mr'' = G + R_A,$$

или

$$mr'' = mg + m\kappa_A. \quad (1)$$

Из выражения (1) определяется уравнение движения:

$$r'' = g + \kappa_A v_A^2. \quad (2)$$

Проецирование составляющих уравнения движения (2), в соответствии с рисунком 1, на оси Ox и Oy позволяет получить систему линейных дифференциальных уравнений второго порядка:

$$dx^2/d^2\tau - \kappa_A v_{Ax}^2 = 0; \quad (3)$$

$$dy^2/d^2\tau + g - \kappa_A v_{Ay}^2 = 0. \quad (4)$$

Решение уравнений (3) и (4) осуществляется путем разделения переменных. Предварительно, для упрощения решения, в уравнениях осуществлена соответствующая замена переменных $p = dx/d\tau$ и $q = dy/d\tau$. После соответствующей замены уравнение (3) примет следующий вид:

$$dp/d\tau = \kappa_A v_{Ax}^2. \quad (5)$$

Разделение переменных, интегрирование выражения (5) позволяет получить общее решение уравнения (3):

$$p = \kappa_A v_{Ax}^2 \tau + C_1. \quad (6)$$

Нахождение постоянной интегрирования C_1 осуществляется на основе начальных условий: $\tau = 0$, $p = dx/d\tau = v_{0x}$. Тогда $C_1 = v_{0x}$. Подстановка полученного значения C_1 и обратная замена переменных в выражении (6) позволяет получить уравнение движения частицы вдоль оси Ox следующим образом:

$$dx/d\tau = \kappa_A v_{Ax}^2 \tau + v_{0x}. \quad (7)$$

После разделения переменных и интегрирования выражения (7) будет получено в общем виде уравнение движения частицы по оси Ox :

$$x = \kappa_A v_{Ax}^2 \tau^2 + v_{0x} \tau + C_2. \quad (8)$$

Постоянная интегрирования в уравнении (8) определится исходя из начальных условий при $\tau = 0$, $x = 0$ и будет равна $C_2 = 0$. Тогда уравнение движения частицы M вдоль оси Ox :

$$x = \kappa_A v_{Ax}^2 \tau^2 + v_{0x} \tau.$$

Аналогично проводится решение уравнения (4) после соответствующей замены переменной $dy/d\tau = q$ и необходимых преобразований:

$$dq/d\tau = \kappa_A v_{Ay}^2 - g;$$

$$dq = (\kappa_A v_{Ay}^2 - g) d\tau \quad (9)$$

и интегрирования выражения (9).

Постоянная интегрирования C_3 определяется исходя из начальных условий при $\tau = 0$, $q = dy/d\tau = v_{0y}$. Тогда $C_3 = v_{0y}$. Обратная замена переменных в выражении (9), разделение переменных и последующее интегрирование позволяют получить уравнение перемещения частицы M по оси Oy .

$$\begin{aligned} dy/d\tau &= (\kappa_A v_{Ay}^2 - g) \tau + v_{0y} \\ dy &= (\kappa_A v_{Ay}^2 - g) \tau d\tau + v_{0y} d\tau \\ y &= (\kappa_A v_{Ay}^2 - g) \tau^2/2 + v_{0y} \tau + C_4. \end{aligned} \quad (10)$$

Постоянная интегрирования в выражении (10) C_4 определится исходя из того условия, что при $\tau = 0$ $y = H_0$. Тогда уравнение перемещения частицы M вдоль оси Oy :

$$y = (\kappa_A v_{Ay}^2 - g) \tau^2/2 + v_{0y} \tau + H_0. \quad (11)$$

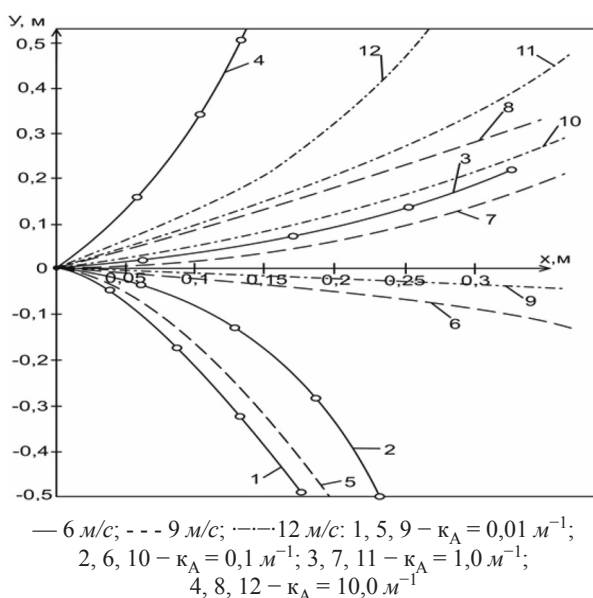
Для теоретического исследования влияния вертикального воздушного потока на разделение смеси были решены полученные исходные уравнения (6) и (11) с целью построения траекторий движения частиц (зерновок и примесей) в широких пределах варьируемых параметров: $v_A = 8-12$ м/с; $v_0 = 0,4-0,8$ м/с; $\kappa_A = 0,01-10,0$ м⁻¹ при ширине канала $y = 0,2$ м, соответствующей наибольшим значениям, устанавливаемым у зерноочистительных машин [3].

На рисунке 2 изображены траектории частиц, полученные согласно частному решению системы дифференциальных уравнений (3) и (4) при различных скоростях воздушного потока v_A , начальных скоростях частиц v_0 и коэффициентах пропорциональности силы аэродинамического сопротивления κ_A .

Анализ траекторий позволяет сделать выводы о возможности разделения частиц в вертикальном воздушном канале в соответствии с их аэродинамическими характеристиками и установить влияние этого параметра на процесс разделения. При увеличении скорости воздушного потока замедляется движение частиц, выделяющихся в нижней части канала, их траектория делается более полой, а при больших скоростях (10–12 м/с) для частиц с высоким значением κ_A меняется не только характер траектории, но и направление их перемещения.

Анализ траекторий движения частиц показывает, что полное разделение смеси в канале не будет обеспечено в связи с перекрывающимися значениями признаков разделения частиц смеси.

При реальных значениях $v_0 = 6$ м/с все частицы с $\kappa_A < 1,0$ м⁻¹ выделяются в нижней части канала, а при $v_0 = 9$ м/с с воздушным потоком практически уносятся все частицы с $\kappa_A > 1,0$ м⁻¹. Поэтому предельное значение разделения смесей следует устанавливать по величинам κ_A или v_A , характерным для наиболее легких частиц основного материала. Исследование траекторий позволяет уточнить влияние начальной скорости v_0 на процесс делимости смеси. Аналитические зависимости (8) и (11) позволяют с достаточно высокой степенью точности определить перемещения и скорости всех частиц в пневматическом сепарирующем канале. Воздушный поток замедляет движение более тяжелых частиц. Это особенно проявляется на режимах с высокими скоростями воздушного потока $v_A = 9$ м/с, в которых характер их движения приближается к равномерному, а на режиме $v_A = 12$ м/с оно становится равнозамедленным.



— 6 м/с; --- 9 м/с; - · - · - 12 м/с; 1, 5, 9 — $\kappa_A = 0,01$ м⁻¹;
2, 6, 10 — $\kappa_A = 0,1$ м⁻¹; 3, 7, 11 — $\kappa_A = 1,0$ м⁻¹;
4, 8, 12 — $\kappa_A = 10,0$ м⁻¹

Рисунок 2. — Траектории движения частиц сепарируемой смеси, горизонтально подаваемых в пневмосепарирующий канал с постоянной скоростью 0,4 м/с, при различных скоростях воздушного потока

Скорость воздушного потока в пневматическом сепарирующем канале является одним из основных параметров, определяющих процесс сепарации зерносоросомистых смесей. Производительность пневматического сепарирования определяется его конструктивными параметрами. При этом расчет конструктивных параметров осуществляется на основе коэффициента удельной зерновой нагрузки ($\text{кг}/(\text{см}\cdot\text{ч})$) [4–6]. Однако использование данного коэффициента имеет существенный недостаток – не учитывается глубина пневматического сепарирующего канала. Таким образом, колебания этого показателя для одной и той же удельной ширины канала могут отличаться в 2...3 раза. Так, например, при глубине канала $B_k = 14 \text{ см}$ $q_{MF} = 80...100 \text{ кг}/(\text{см}\cdot\text{ч})$, соответственно, при $B_k = 20 \text{ см}$ $q_{MF} = 200 \text{ кг}/(\text{см}\cdot\text{ч})$, а при $B_k = 25 \text{ см}$ $q_{MF} = 300 \text{ кг}/(\text{см}\cdot\text{ч})$. Поэтому нами предложен коэффициент удельной зерновой нагрузки, определяемый площадью поперечного сечения пневматического сепарируемого канала согласно следующей зависимости:

$$q_M = Q_{cm}/B_k l_k, \quad (12)$$

где Q_{cm} – подача зерновой смеси в пневматический сепарирующий канал, $\text{кг}/\text{с}$;

B_k – глубина пневматического сепарирующего канала, м ;

l_k – длина пневматического сепарирующего канала, м .

Соответствующая зависимость между предложенным q_M и используемым q_{MF} коэффициентами будет равна:

$$q_M = \kappa_{MF} q_{MF},$$

где κ_{MF} – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние ширины пневматического сепарирующего канала на удельную зерновую нагрузку.

$$B_k = B_0 \kappa_{MF}.$$

В соответствии с требуемой производительностью Q_{cm} и коэффициентом удельной зерновой нагрузки на пневматический сепарирующий канал q_{MF} определяется площадь его поперечного сечения:

$$F_{пк} = Q_{cm}/q_{MF}. \quad (13)$$

На основании известной площади поперечного сечения пневматического сепарирующего канала и скорости воздушного потока в нем определяется требуемая производительность вентилятора:

$$Q_{вен} = 3600 F_{пк} v_A.$$

В соответствии с полученной величиной поперечного сечения пневматического сепарирующего канала, исходя из принятой его глубины в соответствии с требуемой производительностью, определяется его длина:

$$l_k = F_{пк} / B_k. \quad (14)$$

Высота верхней $H_{пк \text{ верх}}$ и нижней $H_{пк \text{ низ}}$ частей пневматического сортировального канала относительно места подачи зерносоросомистого вороха определяется соотношениям: $H_{пк \text{ верх}} = (6...7) B_k$; $H_{пк \text{ низ}} = (1,5...2) B_k$ [7–9].

Выводы

Таким образом, на основании установленных зависимостей (8), (11) и (14) основные параметры пневматического сепарирующего канала должны быть равны: скорость воздушного потока $v_A = 8\text{--}12 \text{ м}/\text{с}$, скорость подачи материала $v_0 = 0,4\text{--}0,8 \text{ м}/\text{с}$; глубина канала – $0,16...0,2 \text{ м}$. Исходя из заданной производительности зерноочистительной машины, по зависимости (14) устанавливается длина пневматического сепарирующего канала.

Литература

1. Чеботарев, В. П. Классификация пневмосепарирующих систем современных технических средств для очистки зерна / В. П. Чеботарев, А. А. Князев, П. М. Немцев // Современная с.-х. техника: исследование, проектирование, применение: материалы междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. – Минск: БГАТУ, 2010. – Ч. 1. – С. 6–8.
2. Чеботарев, В. П. Состояние и анализ основных тенденций совершенствования пневмосистем зерноочистительных машин для выделения легких примесей / В. П. Чеботарев, И. В. Барановский, Е. Л. Жилич // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 22–23 октября 2014 г.: в 3 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2014. – Т. 1. – С. 86–90.
3. Shedd, C. K. Resistance of grain and seeds to air flow / C. K. Shedd // Agricultural Engineering. – 1953. – № 9 (34). – Pp. 616–621.
4. Siegel, W. Pneumatische Forderung / W. Siegel // Vogel Fachbuch Verfahrenstechnik. – Vogel Verlag, Wurzburg, 1991. – S. 98–106.
5. Злочевский, В. Л. Сортирование зерновых материалов воздушным потоком / В. Л. Злочевский, В. П. Зайцев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1984. – № 1. – С. 22–26.
6. Кожуховский, И. Е. Конструкции, проектирование и расчет зерноочистительных машин / И. Е. Кожуховский. – М., 1963. – 55 с.
7. Чеботарев, В. П. Состояние и перспективные направления развития пневмосистем современных технических средств для очистки зерна и семян / В. П. Чеботарев, П. М. Немцев, А. А. Князев // Ресурсосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 19–21 октября 2004 г.: в 2 т. / РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси». – Минск, 2004. – Т. 1. – С. 208–211.
8. Ловкис, В. Б. О критериях энергетической эффективности сельскохозяйственных технологий / В. Б. Ловкис, В. А. Колос // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2008. – Т. 1. – С. 13–19.
9. Шилов, И. Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства / И. Н. Шилов, В. Н. Дашков. – Минск: БГАТУ, 2003. – 183 с.

УДК 631.365

Поступила в редакцию 30.06.2017

Received 30.06.2017

В. П. Чеботарев

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: v.p.chebotarev@tut.by

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНО-СУШИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

В статье приводятся результаты выполненных исследований по обоснованию выбора производительности зерноочистительно-сушильного комплекса. Потребность сельскохозяйственных предприятий в зерноочистительно-сушильных мощностях определяют валовые сборы зерна и агротехнические сроки уборки. Чтобы одновременно и без потерь обрабатывать зерно разных культур и назначения (фуражное или семенное), хозяйства должны иметь комплекс с двумя-тремя технологическими линиями: высокой производительности для обработки зерна валобразующих культур (ржи, ячменя, пшеницы и тритикале), средней производительности на базе установок досушивания и режимного хранения зерна, а также передвижные зерносушилки как вспомогательные к основному оборудованию.

Ключевые слова: зерноочистительно-сушильный комплекс, технологическая линия, вентилируемый бункер, зерноуборочный комбайн, зерносушилка, зерноочистительная машина.

V. P. Chebotarev

Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: v.p.chebotarev@tut.by

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF GRAIN CLEANING AND DRYING COMPLEX

The article presents the results of studies carried out to justify the choice of grain cleaning and drying complex productivity. The need of agricultural enterprises in grain cleaning and drying capacities determines the gross harvest of grain and agrotechnical terms of harvesting. In order to simultaneously process grain of different

cultures and purposes (forage or seed) at the same time, farms should have a complex with two or three technological lines high productivity for processing grain of gross – forming crops (rye, barley, wheat and triticale), average productivity on the basis of plants drying and regime storage of grain, as well as mobile grain dryers as auxiliary to the main equipment.

Keywords: grain cleaning – drying complex, processing line, ventilated bunker, combine harvester, grain dryer, grain cleaner.

Введение

Важным условием стабильной работы зерноочистительно-сушильного комплекса является соответствие производительностей входящих в его состав машин. При этом вследствие существенного изменения в процессе уборки засоренности, влажности и видового состава обрабатываемого зернового вороха процессы транспортирования, предварительной очистки и сушки всегда значительно отличаются по производительности [1–3]. Поэтому для обеспечения совместной стабильной и равномерной работы всех машин в технологической линии между ними необходимо предусматривать дополнительные устройства, компенсирующие возникающие рассогласования производительности и нарушения поточности обработки поступающего комбайнового вороха.

Основная часть

Для своевременного выполнения технологических операций по послеуборочной обработке зерна большое значение имеет комплексная механизация и автоматизация этих работ на основе применения наиболее прогрессивной в технико-экономическом отношении организации производственного процесса поточной технологии. Поточная технология послеуборочной обработки зерна, осуществляемая с помощью зерноочистительно-сушильного комплекса, характеризуется непрерывностью технологического процесса, строгой последовательностью всех его технологических операций и наиболее короткими по времени и в пространстве циклами работ. Поточная технологическая линия представляет собой комплекс машин и оборудования, предназначенных для выгрузки зерна из транспортных средств, перемещения, очистки и сортирования зерновой массы, сушки, загрузки в емкости для хранения.

Разработка технологии послеуборочной обработки зерна и определение основных параметров зерноочистительно-сушильного комплекса основывается на следующих основных показателях:

- количестве и очередности поступления зерновой массы различных культур;
- назначении и интенсивности поступления зернового материала;
- влажности и засоренности поступающего зернового вороха.

Последующая разработка оптимальных режимов поточной послеуборочной обработки зерна основывается на подробном изучении всех процессов жизнедеятельности зерна в зависимости от воздействия внешних и внутренних факторов.

Поточные технологические линии для послеуборочной обработки зерна и семян подразделяются на зерноочистительные агрегаты и зерноочистительно-сушильные комплексы. В СССР промышленностью выпускались зерноочистительные агрегаты ЗАВ-10, ЗАВ-20, ЗАВ-40 производительностью соответственно 10, 20 и 40 *т/ч*. Эти агрегаты производили послеуборочную обработку (без сушки) зерновых, зернобобовых и крупяных культур с доведением продовольственного зерна до базисных кондиций за один проход. Кроме того, выпускались также зерноочистительно-сушильные комплексы КЗС-10Б, КЗС-10Б2 (все с барабанными сушилками), КЗС-10Ш и КЗС-40 с шахтной сушилкой. При повышении влажности убираемого материала фактическая производительность комплексов существенно снижалась. Все выпускавшиеся поточные технологические линии были универсальны. Их машины имели достаточные пределы регулировок и наборы сменных рабочих органов, обеспечивавших обработку указанных культур. Принципиальная технологическая схема применяемых поточных линий приема и послеуборочной обработки зерна представлена на рисунке 1.

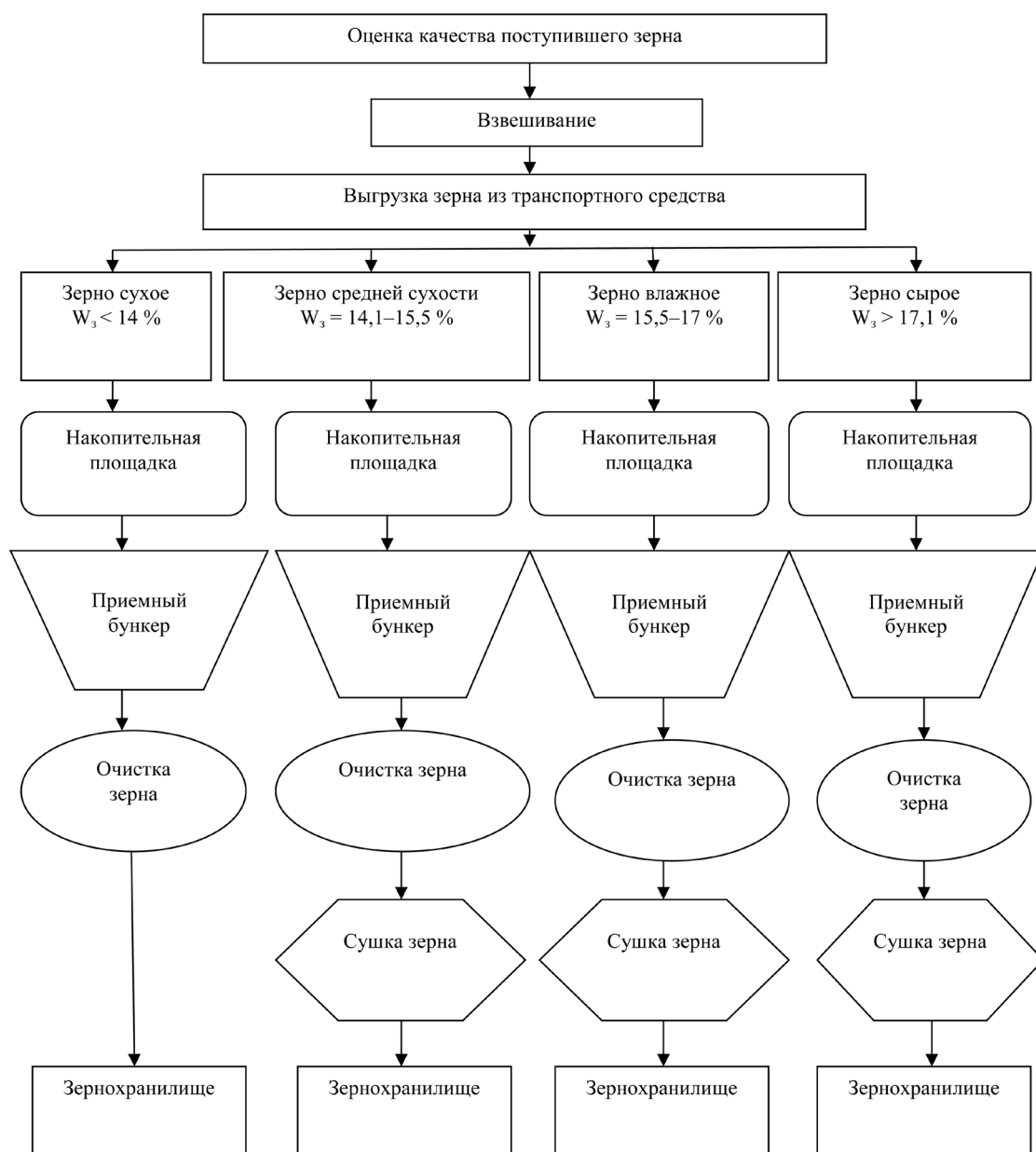


Рисунок 1. – Принципиальная схема применяемых поточных линий приема и послеуборочной обработки зерна

Применение вентилируемых бункеров ОБВ-100 позволяло решать вопрос о некотором сьеме влаги и временном хранении зерна и семян без ухудшения их свойств. Использование ОБВ-100 расширяло возможности комплексов по приемке и обработке семян различных культур повышенной влажности при их неравномерном поступлении на комплекс. Агрегаты и комплексы производительностью 5 *т/ч* предназначались для использования в хозяйствах или их подразделениях с годовым объемом производства зерна до 1500 *т*, агрегаты и комплексы производительностью 10 *т/ч* – до 3000 *т*, агрегаты и комплексы производительностью 20 *т/ч* – до 5000 *т*, производительностью 40 *т/ч* – более 5000 *т*.

Основное значение при проектировании поточных технологических линий для послеуборочной обработки зерна имеют показатели экономической эффективности в зависимости от производительности, набора и размещения входящих в их состав машин [1].

Кроме того, следует учитывать не только сложившиеся в хозяйстве конкретные условия (валовой сбор зерна, продолжительность уборки, размеры и расположение полей, состояние дорог),

но и перспективу развития хозяйства. Производительность и место расположения поточной линии определяются сочетанием значительного числа различных факторов.

Выбор типа линии определяется количеством и назначением обрабатываемого зерна и его физико-механическими свойствами (влажность, засоренность). Количественные и качественные показатели потока зернового вороха зависят от многочисленных факторов: уровня агротехники, почвенно-климатических условий, температуры и влажности воздуха, количества осадков, спелости хлебов, продолжительности суточной работы комбайнов, физического состояния комбайнов и правильности регулировок их рабочих органов к данным условиям уборки [2, 3]. Кроме того, все эти факторы изменяются в течение суток и всего сезона уборки. При этом если выбранная линия позволяет получить наилучшие показатели работы по выбранному критерию эффективности при обеспечении значений остальных критериев в заданных параметрах, то она оптимальна по данному критерию. Этот критерий формируется на основе показателей качества обработки зерна, количества получаемой продукции, при заданном поступлении – ее потерь, а также затрат труда и средств на обработку и хранение [4–6]. Всякое снижение качества зерна относительно значений, требуемых потребителями (семеноводство, пищевая промышленность, кормопроизводство), должно соответствующим образом вызывать изменение критерия эффективности, пропорциональное потерям, которые несет потребитель.

Для существенного повышения эффективности работы поточных технологических линий на основе проведенных теоретических исследований процессов очистки и сушки зерновой массы предложено внести ряд значительных новшеств. Разработанная принципиальная схема поточных линий приема и послеуборочной обработки зерна представлена на рисунке 2. В разработанных поточных линиях предложено технологическую операцию предварительной очистки осуществлять не по общепринятой схеме: воздушная очистка – решетная очистка – воздушная очистка, а по схеме: решетная очистка – воздушная очистка – решетная очистка.

При этом в поточных линиях при обработке зерна влажностью выше 14 % включена технологическая операция низкотемпературного досушивания. Причем при обработке зерна средней сухости влажностью 14,1–15,5 % технологическая операция сушки заменена низкотемпературным досушиванием. При обработке влажного и сырого зерна технологическая операция сушки зерна дополнена низкотемпературным досушиванием. При досушивании зерна в зерносушилке до влажности 15,5...16 % необходимо переходить к низкотемпературному досушиванию. В целях энергосбережения технологическую операцию низкотемпературного досушивания целесообразно совместить с охлаждением зерна после сушки и проводить ее в отдельном сушильном модуле. Кроме того, линии оснащаются компенсирующими емкостями между очистительным и сушильным отделениями. Одновременно компенсирующие емкости оснащены системами вентилирования, позволяющими производить как временное хранение, так и досушивание зерновой массы. Структура технологических отделений как основы зерноочистительно-сушильного комплекса должна в определенных пределах варьироваться [5, 6]. Так, например, количество приемных отделений и отделений предварительной очистки может быть больше количества сушильных отделений. Это позволит максимально использовать машины и оборудование комплекса, создавать многопоточность и реверсирование отдельных зерновых потоков, если можно будет подавать зерно из любого приемного отделения в одно из отделений временного хранения или в сушильное отделение. Однако это значительно усложнит транспортные потоки на зерноочистительно-сушильном комплексе. Наиболее существенное взаимное влияние оказывают технологические отделения, располагающиеся непосредственно друг за другом по общему технологическому процессу. Вместимость бункера и производительность транспортирующего устройства приемного отделения определяют производительность машины предварительной очистки очистительного отделения. Производительность зерносушилки существенно зависит от работы машины предварительной очистки зерноочистительного отделения. Возможная вместимость приемного отделения определяется числом и производительностью имеющихся зерносушилок. Таким образом, подтверждается то, что в целом работа зерноочистительно-сушильного комплекса зависит от эффективности взаимодействия и взаимной работы машин и оборудования входящих в него отделений.

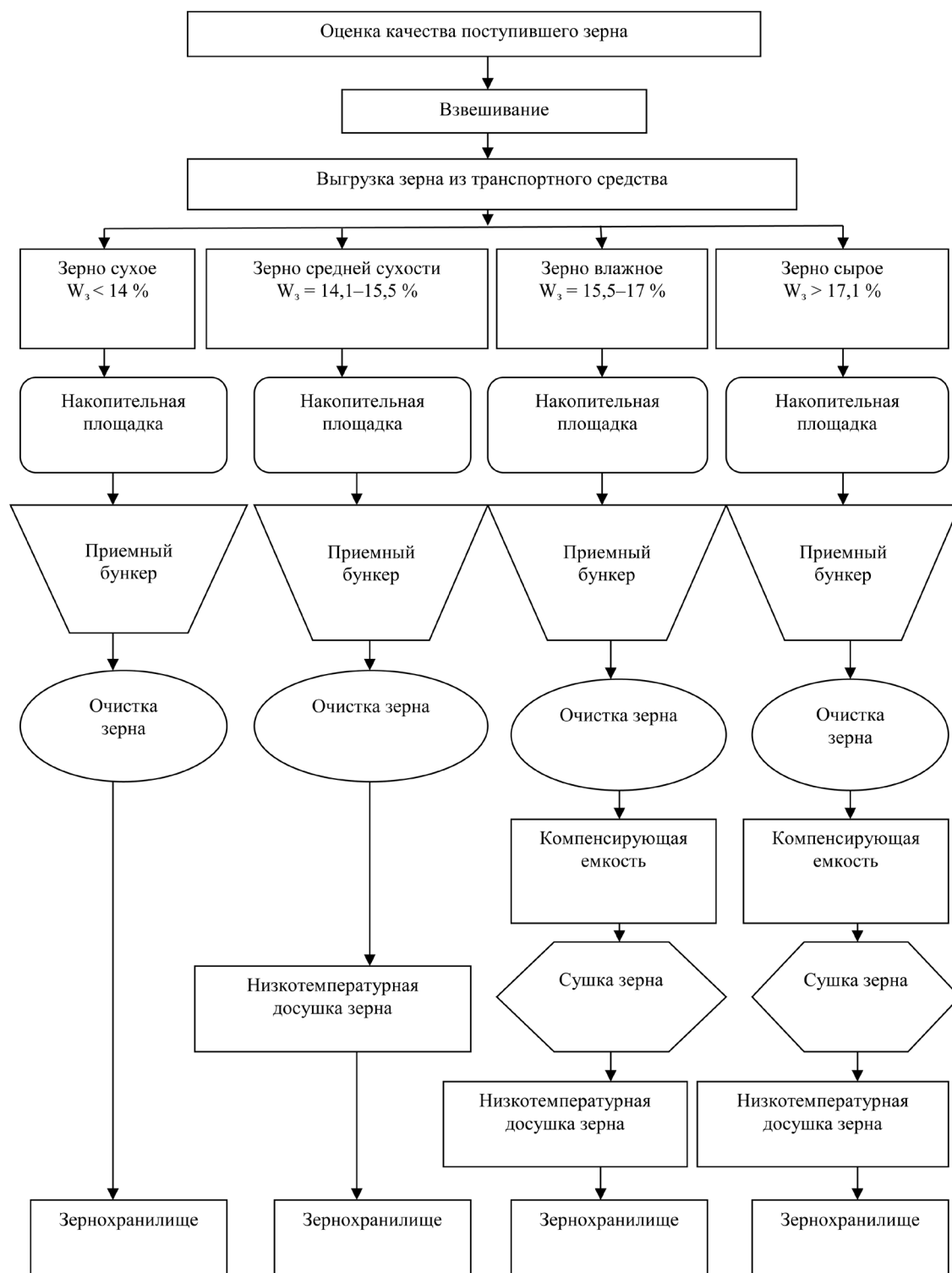


Рисунок 2. – Принципиальная схема разработанных поточных линий приема и послеуборочной обработки зерна

Для того чтобы в наибольшей степени учесть особенности работы каждого отделения, целесообразно последовательно теоретически исследовать взаимодействие каждой пары соседних или смежных отделений комплекса, исходя из условия, что остальные работают в оптимальном режиме и не ограничивают работу исследуемых отделений.

При выборе оптимального соотношения параметров исследуемых машин и оборудования в выбранной паре отделений необходимо установить, в какой степени изменяются параметры

потока обрабатываемого зерна, как это может влиять на работу предыдущих и последующих отделений и на работу зерноочистительно-сушильного комплекса в целом. Число одновременно убираемых культур, количество зерна каждой культуры и его влажность во время уборки следует учитывать при определении необходимого числа поточных линий в составе пункта обработки зерна.

Все ежесуточно намолачиваемое зерноуборочными комбайнами зерно должно пройти обработку на зерноочистительно-сушильных комплексах. Среднегодовой валовой бункерный урожай зерна в хозяйстве, подлежащий обработке на зерноочистительно-сушильном комплексе, будет равен

$$Q_{\text{вал}} = k_y k_z k_w \sum_1^n q_i S_i, \quad (1)$$

где $Q_{\text{вал}}$ – валовой бункерный сезонный намолот зерна, t ;

q_i – плановая урожайность i -ой культуры, $t/га$;

S_i – посевная площадь i -ой культуры, $га$;

n – число выращиваемых сельскохозяйственных культур, подлежащих уборке;

$k_y k_z k_w$ – безразмерные коэффициенты, определяющие колебания урожайности, засоренности и влажности бункерного зерна.

Урожайность и валовой сбор зерна определяются в базисных кондициях по влажности и засоренности. От комбайнов, как правило, поступает зерновой ворох с большей влажностью и засоренностью. В связи с тем, что производительность машин для послеуборочной обработки зерна определяется количеством исходного материала, обработанного в единицу времени, сезонная нагрузка, равная физической (бункерной) массе зернового вороха, поступающей на зерноочистительно-сушильный комплекс, определяется с учетом действительной влажности. Изменение физико-механических свойств зернового материала определенным образом влияет на качество работы зерноочистительных машин и их производительность. Изменение влажности и засоренности вызывает изменение истечения зерна из-под заслонок норий и бункеров и при его влажности выше 16 % влияет на скорость перемещения. Производительность с каждым 1 % увеличения влажности снижается в среднем на 5 % [7]. При содержании примесей в исходном материале свыше 10 % производительность зерноочистительных машин снижается на 2 % на каждый процент увеличения примесей. При очистке различных культур производительность зерноочистительных машин также различна.

Для определения необходимой производительности зерноочистительного комплекса должно быть подсчитано суточное поступление зерна на послеуборочную обработку. Этот расчет может быть выполнен на основании статистических данных [6]. При этом среднесуточное поступление зерна можно определить исходя из валового сезонного бункерного намолота зерна, согласно зависимости (1), и сроков уборки:

$$Q_{\text{сут}} = Q_{\text{вал}} / \tau_y, \quad (2)$$

где τ_y – продолжительность уборки, дней.

Среднесуточное поступление зерна также может быть подсчитано по числу и производительности используемых комбайнов. При этом продолжительность сроков выполнения уборочных работ объективно определяется не минимальным, а агротехнически обоснованным временным периодом их проведения с применением экономически целесообразного количества технических средств. В этом случае следует иметь в виду, что как число комбайнов, так и их производительность есть величины переменные, и поэтому суточное поступление зерна за время уборки сильно колеблется. Анализ темпов уборки зерновых и зернобобовых культур в наиболее урожайные 2008 и 2014 годы показывает, что образующийся период массовой уборки характеризуется среднесуточными темпами уборки посевных площадей на уровне 4,0...6,5 %, а с учетом возникающих неблагоприятных для работы комбайнов дней может достигать до 8...10 %. Продолжительность периода массовой уборки составляет в среднем 10...14 календарных дней. При этом за время массовой уборки убирается от 60 до 80 % урожая.

Выбирать производительность зерноочистительно-сушильного комплекса в расчете на обеспечение обработки среднесуточного поступления зерна нельзя, так как в дни, когда поступит большое количество зерна, последнее будет скапливаться на токах. Это вызовет дополнительные затраты времени и средств на его перегрузку и хранение. Зерно с повышенной влажностью может испортиться.

Следовательно, при выборе производительности агрегата необходимо исходить из максимального суточного поступления зерна в период массовой уборки, согласно выражению (2). Эта величина, на основании исследований ряда ученых [7–15], с известной достоверностью может быть определена по формуле:

$$Q_{\text{сут max}} = (2,5 - 3,5) Q_{\text{сут}} \quad (3)$$

Закладываемый в такой расчет некоторый запас производительности позволяет компенсировать неравномерность поступления зерна как в отдельные дни уборки, так и в пределах дня. Это особенно важно в случаях, когда на послеуборочную обработку поступает сырое зерно. Расчетная часовая производительность зерноочистительно-сушильного комплекса из выражения (3) будет равна:

$$W_p = Q_{\text{сут max}} / \tau_{\text{сут}} K_{\text{см}}, \quad (4)$$

где $\tau_{\text{сут}}$ – суточная продолжительность работы комплекса, ч;
 $K_{\text{см}}$ – коэффициент использования времени смены.

При определении расчетной производительности зерноочистительно-сушильного комплекса, согласно уравнению (4), следует иметь в виду, что во многих случаях агрегатом, ограничивающим производительность комплекса, является зерносушилка.

Найденную таким образом величину расчетной часовой производительности зерноочистительно-сушильного комплекса сопоставляют с паспортной производительностью сушильного отделения комплекса, определенной с учетом предварительной обработки комбайнового вороха на зерноочистительных машинах. Если производительность сушильного отделения окажется меньше, чем величина, определенная расчетом, рассматривается возможность использования в составе комплекса более производительной сушилки или отделения бункеров активного вентилирования. Если по каким-либо причинам этого сделать нельзя, зерноочистительно-сушильный комплекс подбирается по расчету производительности сушильного отделения.

Чтобы одновременно и без потерь сушить зерно разных культур и назначения (фуражное или семенное), хозяйства могут иметь два-три типа зерносушилок: высокой производительности для сушки зерна валообразующих культур (ржи, ячменя, пшеницы и тритикале), средней производительности для сушки зерна меньших объемов других раннеспелых одновременно созревающих культур и семенного зерна, передвижные как вспомогательные к основному оборудованию.

Потребность сельскохозяйственных предприятий в зерноочистительно-сушильных мощностях определяют валовые сборы зерна и агротехнические сроки уборки. В агропромышленном комплексе республики в последние годы сложилась следующая структура сельскохозяйственных предприятий по валовому сбору зерна: 290 (19,8 %) имеют валовой сбор зерна до 3000 тонн, 280 (19,2 %) – от 3000 до 4500 тонн, 261 (17,9 %) – от 4500 до 6000 тонн, 217 (14,9 %) – от 6000 до 8000 тонн, 238 (16,3 %) – от 8000 до 12000 тонн, 94 (6,4 %) – от 12000 до 16000, 34 (2,3 %) – от 16000 до 20000, 19 (1,3 %) – от 20000 до 24000, 16 (1,1 %) – от 24000 до 30000, 5 (0,3 %) – от 30000 до 36000 и 7 (0,5 %) – свыше 36000 тонн.

Возможный фактический обрабатываемый сезонный вал зерна на зерноочистительно-сушильном комплексе заданной производительности определится в соответствии с выражением (1) по следующей зависимости:

$$Q_{\text{вал факт}} = K_z K_W K_{\text{см}} Q_{\text{сут max}} \tau_y.$$

Сельскохозяйственные предприятия в зависимости от валового сбора зерна должны комплектоваться следующими зерноочистительно-сушильными комплексами (из расчета продол-

жительности уборки в каждом отдельно взятом хозяйстве не более 20 дней): до 3000 тонн – одним комплексом производительностью 15 *пл.м/ч*; от 3000 до 4000 тонн – 20 *пл.м/ч*; от 4000 до 6000 тонн – 30 *пл.м/ч*; от 6000 до 8000 тонн – 40 *пл.м/ч*; от 8000 до 12000 – 60 *пл.м/ч* или двумя комплексами 30 *пл.м/ч*; от 12000 до 16000 – 80 *пл.м/ч* или двумя комплексами 40 *пл.м/ч*, от 16000 до 20000 – 100 *пл.м/ч* или двумя комплексами 60 и 40 *пл.м/ч*; от 20000 до 24000 – двумя комплексами 60 *пл.м/ч*; от 24000 до 30000 – двумя комплексами 80 *пл.м/ч*; от 30000 до 36000 – тремя комплексами 60 *пл.м/ч*; свыше 36000 тонн – двумя комплексами 80 и одним 40 *пл.м/ч*.

Выводы

Таким образом, исходя из распределения хозяйств по валовому сбору зерна, структура парка зерноочистительно-сушильных комплексов в республике должна быть следующей: производительностью 15 *пл.м/ч* – 450 штук (10 %); производительностью 20 *пл.м/ч* – 900 штук (20 %); производительностью 30 *пл.м/ч* – 1350 штук (30 %); производительностью 40 *пл.м/ч* – 1350 штук (30 %); производительностью 60 *пл.м/ч* – 225 штук (5 %) и производительностью 80 и 100 *пл.м/ч* – 225 штук (5 %). В целом по республике оптимальный парк зерноочистительно-сушильных комплексов должен составлять 4500 единиц.

Литература

1. Чеботарев, В. П. Технологические основы и характеристика процессов сепарирования / В. П. Чеботарев, И. В. Барановский, А. В. Новиков // *Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*. – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 1. – С. 123–132.
2. Ekstrom, G. Thermal expansion and tensile properties of corn kernels and their relationship to cracking during drying / G. Ekstrom, J. Liljedahl, R. Peart // *Transactions of the ASAE*. – 1966. – № 9. – Pp. 556–561.
3. Технологическое оборудование и поточные линии предприятий по переработке зерна: учебник / Л. А. Глебов [и др.]. – М.: ДеЛипринт, 2010. – 696 с.
4. Янко, В. М. Статистический метод расчета производительности машин / В. М. Янко // *Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства*. – 1969. – № 11. – С. 9–12.
5. Краусп, В. Р. Автоматизация послеуборочной обработки зерна / В. Р. Краусп. – М.: Машиностроение, 1975. – 225 с.
6. Креймерман, Г. И. Технологическое проектирование зернохранилищ / Г. И. Креймерман. – М.: Колос, 1970. – 187 с.
7. Олейников, В. Д. Агрегаты и комплексы для послеуборочной обработки зерна / В. Д. Олейников, В. В. Кузнецов, Г. И. Гозман. – М.: Колос, 1977. – 148 с.
8. Павловский, Г. Т. Некоторые вопросы расчета оборудования автоматизированных линий для послеуборочной обработки зерна / Г. Т. Павловский // *Науч.-техн. бюллетень ВИМ*. – М., 1968. – Вып. 3. – С. 79–86.
9. Кропп, Л. И. Оптимизация размещения предприятий для обработки и хранения зерна / Л. И. Кропп // *Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства*. – 1973. – № 2. – С. 1–23.
10. Кубышев, В. А. Определение потребного количества машин для обработки зерна на токах / В. А. Кубышев, Ю. В. Панус // *Труды ЧИМЭСХ*. – Челябинск, 1964. – Вып. 14. – С. 53–59.
11. Киреев, М. В. Выбор параметров пунктов послеуборочной обработки зерна / В. М. Киреев // *Записки ЛСХИ*. – Л., 1974. – Т. 231. – С. 17–25.
12. Ловкис, В. Б. О критериях энергетической эффективности сельскохозяйственных технологий / В. Б. Ловкис, В. А. Колос // *Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.* – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2008. – Т. 1. – С. 13–19.
13. Шилов, И. Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства / И. Н. Шилов, В. Н. Дашков. – Минск: БГАТУ, 2003. – 183 с.
14. Ловкис, В. Б. Системный подход оценки ресурсоемкости продукции растениеводства / В. Б. Ловкис, В. А. Колос, Ю. Н. Сапьян // *Экологические аспекты производства продукции растениеводства, мобильной энергетики и сельскохозяйственных машин*. – СПб.: ГНУ СЗНИИМСХ, 2009. – С. 33–40.
15. Колос, В. А. Алгоритмы оценки эффективности производства биотоплива из растительной биомассы / В. А. Колос, Ю. Н. Сапьян // *Инновационные технологии и техника нового поколения – основа модернизации сельского хозяйства: сб. науч. докл. Междунар. научн.-техн. конф.* – М.: ВИМ, 2011. – Ч. 2. – С. 90–94.

А. Н. Перепечаев, В. И. Карпунин, Е. В. Кислов

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь*

О ТЕХНОЛОГИЯХ УГЛУБЛЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЬНОЗАВОДАМИ КОСТРЫ И НИЗКОСОРТНОГО КОРОТКОГО ВОЛОКНА

В статье проведен анализ использования отходов трепания, тресты и некондиционного волокна для получения нетрадиционной продукции, а также рассмотрена целесообразность развития такого рода производства.

Ключевые слова: отходы трепания, костра, отходы первичной переработки, льняная солома, энергосбережение.

A. N. Perepcheaev, V. I. Karpunin, E. V. Kislov

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus*

ABOUT THE TECHNOLOGIES OF IN-DEPTH PROCESSING BY FLAX FACTORIES FLAX-GRASS AND LOW-CUTTING SHORT FIBER

The article analyzes the use of waste shaking, flax-grass and non-conditional fiber to produce non-traditional products, as well as the feasibility of developing such production.

Keywords: waste of flutter, flax-grass, waste of primary processing, linen straw, energy saving

Введение

В комплексном бизнес-плане развития льняной отрасли на 2011–2015 годы приводятся веские аргументы, свидетельствующие о значительном отставании нашей республики от других стран в освоении новых, нетрадиционных направлений использования короткого волокна, в то время как его доля в объеме производимого льняного волокна остается неизменно высокой (например, в 2007 году его было произведено 28233 тонны, или 83,4 процента). Короткое льноволокно в нашей стране используется как дешевый материал, а в развитых странах служит сырьем для высококачественной и экологически безопасной продукции. Во всем мире оно находит все большее применение в технических целях, а наша страна экспортирует его в значительных объемах (в 2006 году – 16633 тонны, или 54,8 процента) и, по сути, дотирует зарубежного производителя.

Существующие в республике технологии пока позволяют производить из короткого льноволокна только традиционные виды продукции – технические и тарные ткани, ковровые и трикотажные пряжи, обычные нетканые материалы. Однако востребованность в такой продукции постепенно снижается. С развитием химической промышленности значительно сократился спрос на ткани технического назначения и тарные ткани. Специалисты Оршанского льнокомбината подсчитали: в 1996–2009 годах объемы реализации тканей упаковочных и мешочных сократились в 9 раз, а в 2009 году их было реализовано лишь 74,2 процента от произведенного объема. Производимый комбинатом брезент также вытеснен соответствующей продукцией из синтетических волокон.

Основная часть

В Беларуси углубленной переработкой льноволокна занимаются 7 льнозаводов. Наиболее широкий ассортимент производит ОАО «Поставский льнозавод» – это нетканые материалы, веревка, костробрикеты, чесаная лента, масло техническое. ОАО «Воложинский льнокомбинат» хорошо освоило выпуск котонизированного волокна. Для расширения объемов выпуска подоб-

ной продукции государством выделены немалые средства на приобретение для 10 льнозаводов гидравлических прессов для производства брикетов из тресты, а также комплектов оборудования для производства пищевого льняного масла. Эти линии вводятся в эксплуатацию в ОАО «Лидлен» и ОАО «Воложинский льнокомбинат». Проектная мощность каждой линии позволит перерабатывать 1800 тонн семян и получать 600 тонн пищевого льняного масла в год.

Нетканые иглопробивные и иглопрошивные полотна в республике выпускает ЧУП «Бобруйский комбинат нетканых материалов», функционирующий в системе потребительской кооперации. Наряду с другим сырьем это предприятие использует короткое льноволокно № 3, 4, 6. Запланированное здесь к приобретению оборудование позволит выпускать широкий ассортимент продукции, в том числе объемные полотна в сочетании с процессом иглопробивания, востребованные в строительной отрасли для тепло- и звукоизоляции, под стяжку стен, кровлю, в мебельной промышленности (обтяжка блоков и пружин при производстве мягкой мебели, матрасов), в качестве объемного наполнителя, прокладочного материала, в легкой промышленности (в качестве утеплителя для верхней одежды, прокладочных материалов для головных уборов, стелек) и для другого применения.

Безусловно, наша страна может и должна претендовать на более существенную долю мирового рынка не только традиционной, но и альтернативной льняной продукции. Стратегической задачей является внедрение, а при необходимости и разработка новых перспективных технологий углубленной переработки короткого льноволокна для создания новых льносодержащих изделий. Для Беларуси, располагающей отраслями машиностроения, строительства, развитой мебельной промышленностью и возможностями производства льна, нетрадиционные направления использования льнопродукции представляют большой интерес. Это позволило бы существенно расширить внутренний рынок, а в перспективе выйти на мировой рынок и эффективно использовать льняное сырье.

В настоящее время около 60–65 % льняной костры сжигается в котельных льнозаводов, а значительная ее часть остается неиспользованной, скапливается на территориях предприятий и является источником пожароопасности и экологического загрязнения [1–5]. В связи с этим важное значение имеет углубленная переработка отходов в разнообразную продукцию, необходимую для народного хозяйства.

В перспективе лен будет находить применение, как говорят, до последнего остатка. Это доказывает зарубежная практика. Скажем, сейчас внимание потребителей обращено к льняному семени из-за его благотворного влияния на здоровье людей, так как в семени льна содержатся природные лигнины. На рынке продовольственных товаров льняное семя может быть представлено в виде полноценного зерна или льняной продукции – в частности, муки. Эта мука предназначена для использования в хлебобулочной и кондитерской промышленности, а также для реализации населению.

Отходы первичной переработки льна (костра, остатки трепания) отвечают высоким экологическим требованиям при их использовании для получения теплоизоляционных строительных материалов. Костру следует использовать в качестве топлива для выработки тепловой и электрической энергии, удобрения сельскохозяйственных культур, производства строительных изделий. Полученный из костры сорбент пригоден для очистки воды, масел и даже воздуха.

Как известно, на всех льнозаводах имеются котельные, в которых установлены котлы разных марок и производителей. Основным источником топлива является отход переработанной тресты – костра.

Некоторые исследователи считают, что энергетически более выгодна биоконверсия растительной массы не в микробную биомассу, а в этанол (биотопливо) [6, 7]. Имеются автомобильные двигатели, работающие на 95 %-ном этаноле. Несмотря на то, что производство спирта из микроорганизмов целлюлозосодержащего сырья более энергоемко, чем из глюкозы и крахмалосодержащего сырья, в ряде стран это направление считают перспективным [8]. Определенный практический интерес представляет также получение из целлюлозосодержащего сырья органических кислот: уксусной, масляной и других. В литературных источниках [9] имеются данные о возможности использования костры для получения фурфурола, имеющего важное значение для изготовления пластмасс.

Из древесины льна (костры) возможно получение активированных углей, так как у таких сорбентов важную роль играет морфологическая структура исходных растительных продуктов. При этом большое значение в связи с возрастающим объемом потребления энергии имеет создание энергосберегающих технологий [10].

Костра, а также низкосортное короткое волокно по содержанию целлюлозы наиболее пригодны для изготовления целлюлозы и полуцеллюлозы, используемых в производстве бумаги и картона [11–13].

Для получения целлюлозы использовали льняную солому льна-кудряша, льна-долгунца, а также костру. Однако режим по использованию костры для получения волокнистых полуфабрикатов не был основательно отработан. В начале 60-х годов XX в. появились работы [14, 15], в которых описаны результаты исследований использования короткого волокна, остающегося после вытряски костры. Полученный после щелочных варок волокнистый полуфабрикат (целлюлоза) оказался пригодным для химической переработки при получении этилцеллюлозы, карбоксиметилцеллюлозы и высокого качества бумаги. В одном из исследований не предусмотрено использование костры для получения волокнистых полуфабрикатов, в то время как костра составляет 60–70 % от массы перерабатываемого сырья.

Изысканию путей рационального использования отходов льна были посвящены и другие работы [16–18]. Однако технические решения технологий по получению волокнистых полуфабрикатов, позволяющих улучшить качественные характеристики целевого продукта, окончательно не отработаны.

Анализ литературных источников показывает, что накопление способов использования костры обусловлено выращиванием на ней различных микроорганизмов с целью получения кормовых добавок для животных, ценных органических соединений (этилового спирта, органических кислот). Важнейшим направлением использования костры является производство из нее бумаги и картона для изготовления различных изделий. Например, упаковочных тарных ящиков, для чего требуется дальнейшая разработка технологий.

В литературе мало найдено данных по катонизации. Процесс катонизации короткого льняного волокна требует дальнейших исследований из-за его перспективности. При этом должна быть разработана энергосберегающая и ресурсосберегающая технология катонизации волокна, а сам процесс катонизации должен быть выгоден экономически.

Имеются некоторые литературные данные по производству расщепленного волокна (типа ваты), однако основательно процесс не отработан. Нет экономической оценки способа, его экологической безопасности. Нужна и надлежащая разработка технологии для получения такого волокна. Попутно заметим, что одним из перспективных способов получения катонизированного волокна является предварительная обработка низкокачественного короткого льноволокна химическими реагентами, позволяющими разрушать связь между пектиновыми веществами и в результате получать его более качественным, пригодным для изготовления различных ценных изделий.

Как известно, элементарные волокна льна длиннее хлопковых, но линейная плотность элементарных волокон хлопка меньше. Для того чтобы льняное волокно по показателям основных параметров было близко к хлопковому, его следует подвергать процессу катонизации (расщеплению на более мелкое волокно) и получать катонин. При смешивании льняного полотна с хлопковым, вискозой, шерстью и другими компонентами можно изготовить бытовые, костюмные и бельевые ткани с хорошим внешним видом, с повышенной несминаемостью, с сохранением гигиенических свойств льна.

Важным направлением в использовании катонизированного волокна является его применение в производстве мебельной и одежной ваты. В результате этого изделия из льняной ваты будут обладать высокими антистатическими свойствами, достаточной влагоемкостью и воздухопроводимостью. Причем их утилизация не потребует специальных мер, что имеет особое значение с точки зрения экологической безопасности.

Для расширения объемов использования короткого волокна и ассортимента выпускаемой продукции, улучшения ее качества планируется производство пряжи сухим прядением короткого волокна льна.

Производство более качественной пряжи высоких номеров из короткого льняного волокна позволит использовать ее для получения как технического, так и бытового ассортимента продукции (мебельных, декоративных, полотенежных и одежных тканей). Это уменьшит себестоимость таких изделий за счет использования более дешевого короткого волокна.

Для медицинских целей целесообразно использовать натуральные льняные изделия, ткани, вату, нетканое волокно и перевязочные материалы.

Важное значение приобретает производство упаковочной пряжи и технического льняного шпагата, а также теплоизоляционных материалов для строительства зданий экологического назначения (детские сады, школы, санаторно-курортные и оздоровительные сооружения) и получение компонентов взрывчатых веществ на предприятиях. Утеплители обладают высокими звукоизоляционными свойствами, позволяющими их использовать для перекрытий и межкомнатных перегородок.

В Институте НИИСМ был разработан связующий состав, который успешно может быть использован для замены крахмального при получении водостойких теплоизоляционных материалов. Он апробировался для выпуска костровых плит в ПО «Оршастройматериалы». Результаты проведенных работ подтвердили возможность получения теплоизоляционных изделий из льняного волокна и связующего состава.

Существует тенденция к разработке технологий по получению различных изделий из продукции глубокой переработки льна. Так, использование волокон льна в автомобильной промышленности ЕС в 2010 году превысило 100 тысяч тонн [17].

По данным европейских исследователей, обивка салона автомобиля волокнистым материалом позволяет получать микроклимат с соответствующей влажностью, существенно уменьшить уровень шума, поглощать вибрацию, а также улучшить теплоизоляцию. Низкая масса композитов на основе натуральных волокон уменьшает вес частей и массу всей машины, что способствует уменьшению расхода топлива и ограничивает эмиссию выхлопных газов в окружающую среду.

Льняное волокно и его отходы широко используются за рубежом во многих отраслях – в легкой промышленности, машиностроении, оборонной, пищевой, бумажной (взамен древесины) промышленности, в сельском хозяйстве (удобрения, горшочки для рассады), в строительстве (изоляционные и строительные материалы, кровля), в медицине (медицинская одежда, перевязочные материалы, вата, нити и другое), в коммунальном хозяйстве. Основное значение глубокой переработки льна заключается в использовании всего того, что образуется на льнозаводах после получения волокна, для производства полезных продуктов и изделий.

Полимеры натурального происхождения можно использовать как добавку к синтетическим, термопластичным полимерам – полиолифинам, что позволяет получать биологически разлагаемые материалы, перерабатываемые при помощи плавления.

Замена стекловолокна волокнами из льна в полипропиленовых элементах машин позволяет на 30–40 % снизить их массу при неизменных механических свойствах. По эксплуатационным свойствам биологические композиты превосходят материалы, изготовленные с использованием стекловолокна или синтетических нитей, оказывая менее негативное влияние на окружающую среду.

Ковровые или листовые маты формируют на 100 % из натуральных волокон либо в смесках с искусственными (доля натуральных волокон – не более 50 %). Суть изготовления ковровых матов заключается в том, что используется малоценное льняное волокно № 2, модифицированное по длине до размера 60–80 мм, либо однотипное штапелированное волокно до этих же размеров, полученное путем переработки льняной соломы посредством ее разрыва на специальных барабанных машинах.

Изготовление ковровых матов аналогично процессу производства иглопробивного материала. Достоинством этого материала является его растягивание при формовке, а повышение жесткости конечного изделия зависит от толщины исходного материала.

Особое значение должно иметь производство костровых плит. Как показывают наши исследования [19–23], производство костровых плит может быть рентабельным при условии использования в процессе новых малотоксичных смол в качестве связующего состава.

Вывод

Дешевая льняная сырьевая база в сочетании с новыми технологиями, оборудованием, практически неограниченным спросом на продукцию создадут предпосылки для нового бизнеса льноперерабатывающих предприятий, их экономического роста и производственного благополучия.

Литература

1. Карпунин, И. И. Отходы предприятий переработки льна – сырье для получения волокнистых полуфабрикатов, пригодных для получения бумаги и картона / И. И. Карпунин // Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания об опыте и проблемах производства бумаги и картона из полуфабрикатов высокого выхода. – Л., 1990. – С. 66–72.
2. Поиск новых направлений использования отходов предприятий первичной переработки лубяных культур: отчет НИИПОЛВ по теме № 881202. – Минск, 1988. – 97 с.
3. Разработать технологический регламент комплексной природоохранной утилизации костры льна, обеспечивающей повышение рентабельности производства на 3–5 %: отчет БелНИИ льна № 1292. – Минск, 1992. – 36 с.
4. Провести производственную проверку утилизации отходов льна и определить качественные показатели продукции: отчет БелНИИ льна по теме № 2193. – Минск, 1993. – 42 с.
5. Карпунин, И. И. Ресурсосберегающие и экологически состоятельные технологии переработки растительного целлюлозосодержащего сырья ... автореф. дисс. ... д-ра техн. наук / И. И. Карпунин. – Минск, 2004. – 42 с.
6. Бекер, М. Е. Трансформация продуктов фотосинтеза / М. Е. Бекер. – Рига, 1984. – 247 с.
7. Минкевич, И. П. Закономерности внутриклеточного материально-энергетического баланса роста микроорганизмов / И. П. Минкевич, В. К. Ермошин // Успехи современной биологии. – 1976. – № 1. – Т. 82. – С. 103–116.
8. Покровская, С. Ф. О производстве спирта из целлюлозосодержащего сырья / С. Ф. Покровская // Земледелие и растениеводство. – 1980. – № 9. – С. 9–16.
9. Карпунин, И. И. О химическом составе льняной соломы и использовании отходов переработки льна / И. И. Карпунин, П. П. Казакевич, В. Н. Перевозников. – Минск, 2003. – 82 с.
10. Карпунин, И. И. Использование возобновляемых источников сырья для производства энергии / И. И. Карпунин, В. В. Кузьмич, Т. Ф. Балабанова // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Минск: БГАТУ, 2009.
11. Карпунин, И. И. О получении волокнистого полуфабриката для производства бумаги и картона из отходов предприятия первичной переработки льна / И. И. Карпунин, Л. А. Жидко // Перспективная технология, новая техника и организация труда в первичной обработке льна: сб. тр. – Торжок – Минск, 1989. – С. 47–58.
12. Карпунин, И. И. Отходы переработки льна – ценное сырье для производства бумаги и картона / И. И. Карпунин, П. П. Казакевич // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2007. – № 7. – С. 40–43.
13. Карпунин, И. И. Влияние стадий роста и погодных условий на переработку и химический состав льна / И. И. Карпунин, П. П. Казакевич. – Минск, 2007. – 76 с.
14. Получение целлюлозы из заостренных волокнистых отходов льнозаводов / Ф. Ф. Дербенцов [и др.] // Весці АН БССР. Серыя фіз.-тэхн. навук. – 1960. – № 3. – С. 51–60.
15. Комплексное использование льняной костры / А. И. Скриган [и др.] // Промышленность Белоруссии. – 1962. – № 7. – С. 52–53.
16. Карпунин, И. И. Влияние реакционной способности целлюлозы на ее качество как сырье для производства упаковки применительно к инновационным технологиям / И. И. Карпунин, В. В. Кузьмич, Т. Ф. Балабанова // Вестник БНТУ. – 2011. – № 1. – С. 62–63.
17. Карпунин, И. И. Технологические режимы переработки растительного сырья для производства упаковки / И. И. Карпунин, В. В. Кузьмич, Т. Ф. Балабанова // Вестник БНТУ. – 2011. – № 3. – С. 41–42.
18. Карпунин, И. И. Использование отходов растительного сырья для производства энергии / И. И. Карпунин, В. В. Кузьмич, Т. Ф. Балабанова // Энергетика. – 2011. – № 6. – С. 72–75.
19. Совершенствование технологий производства и переработки льна-долгунца и льна масличного / П. П. Казакевич [и др.]. – Минск: Беларуская наука. – 2016. – 184 с.
20. Способ получения модификатора карбамидоформальдегидной смолы для производства кистроплит: пат. № 12478 РБ, МПК С 08К 9/00; С 08К 11/00; С 07G 1/00 / Н. Г. Винченюк, В. И. Карпунин, В. П. Стасюк, В. А. Лазюк, И. И. Карпунин; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № a20060178; заявл. 2006.03.01; опубл. 2007.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 4. – 8 с.
21. Карпунин, В. И. Отходы льна – ценное сырье для производства тарной упаковки / В. И. Карпунин // Наука образованию, производству, экономике: материалы 14-й Междунар. науч.-техн. конф. – Минск: БНТУ, 2016. – Т. 4. – С. 314–315.
22. Карпунин, В. И. Результаты рентгеноструктурного анализа кистроплит / В. И. Карпунин // Наука образованию, производству, экономике: материалы 14-й Междунар. науч.-техн. конф. – Минск: БНТУ, 2016. – Т. 4. – С. 316.
23. Микутьчик, С. Ю. Компьютерные программы дизайна, применяемые в промышленности Республики Беларусь / С. Ю. Микутьчик, В. И. Карпунин // Информационные технологии в технических и социально-экономических системах: сб. материалов науч.-технич. конф. – Минск: РИВШ, 2016. – С. 146–148.

Е. В. Кислов, А. Н. Перепечаев*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: Kislov-07@rambler.ru***АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ЛИНИИ ВЫРАБОТКИ
КОРОТКОГО ЛЬНОВОЛОКНА ФИРМЫ VANHAUWAERT**

В статье приводятся результаты теоретического анализа линии выработки короткого льноволокна фирмы Vanhawaert (Бельгия) и входящих в ее состав отдельных машин. Отмечены их положительные качества и недостатки.

Ключевые слова: короткое льноволокно, линия выработки, фирма VANHAUWAERT, утоняюще-мяльная машина, трепальная машина, трясильная машина.

E. V. Kislov, A. N. Perepetchaev*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: Kislov-07@rambler.ru***ANALYSIS OF THE CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL SCHEME OF PRODUCTION
OF SHORT FLAX FIBER PRODUCTION LINE OF THE FIRM VANHAUWAERT**

The article presents the results of a theoretical analysis of the production line to the short-flax-company VANHAWAERT (Belgium) and its member-from individual machines. Noting their positive qualities and shortcomings.

Keywords: short flax fiber, production line, firm Vanhauwaert & Co NV, machine make layer thinner crumple, breaking machine, shake machine.

Введение

В источнике [1] приведен подробный анализ куделеприготовительного оборудования, применяемого на льнозаводах Республики Беларусь, в частности агрегатов КПАЛ, КПАЛ-И, выпускавшихся ранее ОАО «Псковмаш», агрегата АКЛВ-1, выпускаемого в настоящее время ОАО «Завод им. Г. К. Королева», г. Иваново, линии выработки короткого льноволокна фирмы Derootteere (Бельгия).

В 2014 году в ОАО «Поставский льнозавод» (Витебская область) установлена линия выработки короткого льноволокна бельгийской фирмы Vanhauwaert & Co NV. Конструктивно-технологическая схема линии показана на рисунке 1.

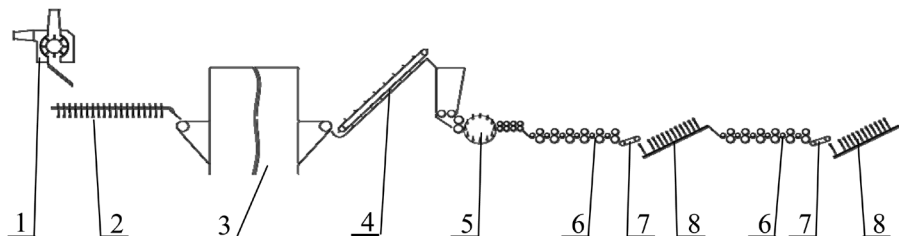


Рисунок 1. – Схема линии выработки короткого льноволокна фирмы Vanhauwaert

Линия выработки короткого льноволокна включает конденсер 1, горизонтальную трясильную машину 2, сушильную машину СКП-10КУ-1¹ 3, конвейер 4, утоняюще-мяльную машину 5

¹ Сушильная машина изготовлена в ОАО «Витебское МРП»

и два трепально-трясильных блока, состоящих из трепальной машины 6, конвейера 7, наклонной трясильной машины 8.

В состав линии входит ряд как известных машин, так и ранее в республике не применявшихся и недостаточно изученных. В связи с этим целью исследований являлся теоретический анализ конструктивно-технологической схемы линии выработки короткого волокна, входящих в ее состав машин и процессов, осуществляемых машинами линии.

Устройство и характеристики конденсера, горизонтальной трясильной машины и сушильной машины достаточно подробно описаны в литературных источниках [2, 3].

Объект исследования

Более подробно остановимся на утоняюще-мяльной 5, трепальной 6 и наклонной трясильной 8 машинах, так как они имеют отличия от применяемых в республике машин аналогичного назначения.

Утоняюще-мяльная машина предназначена для формирования непрерывного слоя отходов трепания, утонения его с одновременной параллелизацией и ориентацией волокон в направлении, перпендикулярном мяльным вальцам, и мяття сформированного слоя.

Схема утоняюще-мяльной машины показана на рисунке 2.

Машина включает бункер 1 с двумя выводными рифлеными вальцами 2, пару игольчатых барабанов 3, гребенной барабан 4, мяльную часть 5 и склиз 6. Назначение бункера – сглаживание неравномерности подачи отходов трепания и формирование на выходе непрерывного и равномерного по толщине (линейной плотности) слоя. Привод выводных рифленых вальцов выполнен посредством мотор-редуктора и ременной зубчатой передачи.

Аналогичные устройства применяются на льнокомбинатах в линиях подготовки короткого льноволокна к прядению ПЛ-КЛ, ПЛ-1-КЛ [4], причем последние имеют преимущество в том, что оборудованы системой автоматического поддержания заданного уровня материала в бункере.

Игольчатые вальцы 3 представляют собой цилиндры, набранные из стальных колец, с закрепленными на кольцах коническими иглами. Иглы установлены с наклоном в сторону, противоположную направлению вращения. Вальцы установлены с захождением игл одного вальца относительно другого, при этом величина их захождения может изменяться посредством пневмоцилиндров. Игольчатые вальцы имеют индивидуальный привод, включающий мотор-редуктор с регулятором частоты переменного тока и зубчатую ременную передачу. Между собой вальцы связаны шестернями с удлиненным зубом.

Гребенной барабан 4 имеет двенадцать гребней, оси которых расположены в дисках. На осях гребней закреплены в направлении вертикально вверх зубья. Механизм привода гребней выполнен аналогично механизму очесывающих барабанов льнокомбайнов [5], благодаря чему гребни совершают круговое движение, при этом их зубья остаются направленными вверх. Механизм приводится в движение от мотор-редуктора с регулятором частоты переменного тока посредством зубчатой ременной передачи.

Мяльная часть 5 включает четыре пары мяльных вальцов прямого рифления. Профиль вальцов первых трех пар одинаков, они имеют по 20 эвольвентных рифлей. Вальцы последней пары имеют по 24 рифли острогранного профиля. Глубина захождения рифлей регулируется при помощи прокладок между корпусами подшипников вальцов, давление на верхние вальцы – пневмоцилиндрами, передача движения от нижних вальцов к верхним осуществляется посредством зацепления рифлей. Мяльная часть имеет два привода: первый приводит в движение нижние вальцы первой и второй пар, второй – третьей и четвертой. Каждый из приводов имеет индивидуальный мотор-редуктор с регулятором частоты переменного тока и зубчатую ременную передачу от редуктора к двум вальцам одновременно.

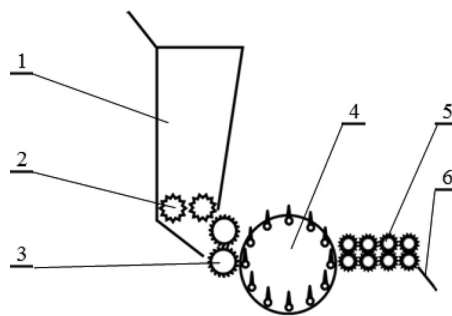


Рисунок 2. – Схема утоняюще-мяльной машины

В целом принцип действия утоняющее-мяльной машины аналогичен принципу действия колкового питателя куделеприготовительных агрегатов КПАЛ. Зубья гребенного барабана, имея большую по отношению к иглам вальцов скорость, прочесывают слой поступающих отходов трепания, утоняя слой, распрямляя и параллелизуя волокна, после чего между гребенным барабаном и первой парой мяльных вальцов, имеющих еще большую окружную скорость, происходит повторная вытяжка слоя и дальнейшее его мятье в последующих мяльных парах.

Общий коэффициент утонения K_{ym} мяльно-утоняющей машины определяется:

$$K_{ym} = K_{ym1} K_{ym2} K_{ym3}, \quad (1)$$

где $K_{ym1}, K_{ym2}, K_{ym3}$ – частные коэффициенты утонения между выводными рифлеными вальцами и колковыми барабанами, колковыми барабанами и гребенным барабаном, гребенным барабаном и первой парой мяльных вальцов соответственно.

Частные коэффициенты утонения определяются по известным формулам:

$$K_{ym1} = \frac{v_{кб}}{v_{вв}}; \quad K_{ym2} = \frac{v_{зб}}{v_{кб}}; \quad K_{ym3} = \frac{v_{мв}}{v_{зб}}, \quad (2)$$

где $v_{вв}, v_{кб}, v_{зб}, v_{мв}$ – окружные скорости выводных вальцов, колковых барабанов, гребенного барабана и периметрическая скорость первой пары мяльных вальцов соответственно.

Для стабильного утонения слоя должно выполняться условие:

$$v_{вв} < v_{кб} < v_{зб} < v_{мв},$$

при этом утонение между выводными вальцами и колковыми барабанами во избежание чрезмерного нанизывания прядей волокна на иглы последних должно быть небольшим или вовсе отсутствовать ($K_{ym1} \leq 1,1$), а коэффициенты утонения K_{ym2} и K_{ym3} должны быть примерно одинаковыми. Тогда из (1) с учетом (2)

$$\frac{v_{зб}}{v_{кб}} = \frac{v_{мв}}{v_{кб}} = \sqrt{\frac{K_{ym}}{(1,0 \dots 1,1)}}.$$

Благодаря наличию в приводах всех рабочих органов машины преобразователей частоты переменного тока, общий коэффициент утонения может изменяться в широких пределах. Отметим, что при частоте переменного тока в электродвигателях приводов выводных и мяльных вальцов, равной 50 Гц, общий коэффициент утонения машины составляет порядка 30 раз ($K_{ym} = 30$), что более чем в 3 раза превышает аналогичный показатель для питателя машины КПАЛ.

Отсюда можно сделать вывод о том, что бельгийская линия выработки короткого льноволокна предназначена для переработки тонкого слоя при высокой скорости его перемещения. Это, на наш взгляд, является не совсем оправданным. Так, при обработке тонкого слоя происходят частые его разрывы, что увеличивает вероятность образования намотов и забивок волокна в рабочих органах трепальной машины.

Кроме того, следует отметить, что утонение слоя между игольчатыми барабанами и гребенным барабаном имеет несколько выраженный элемент непредсказуемости. То есть при взаимодействии подаваемого колковыми барабанами слоя с гребнями барабана равновозможны как прочес переднего конца прядей волокна иглами гребней, так и захват пряди иглами гребней с прочесом ее задней части иглами барабанов. Второе нежелательно, так как приводит к увеличению неравномерности слоя по толщине.

В мяльной части периметрическая скорость слоя материала во всех парах должна быть одинаковой, поэтому наличие двух приводов с индивидуальными преобразователями частоты переменного тока для четырех пар вальцов является, на наш взгляд, неоправданным.

Трепальная машина предназначена для отделения присушистой костры от волокна и частичного удаления ее из слоя. Основными рабочими органами машины являются шесть трепальных узлов, отбойный планчатый барабан 1 и ленточный конвейер 2 (рисунок 3). Каждый трепальный

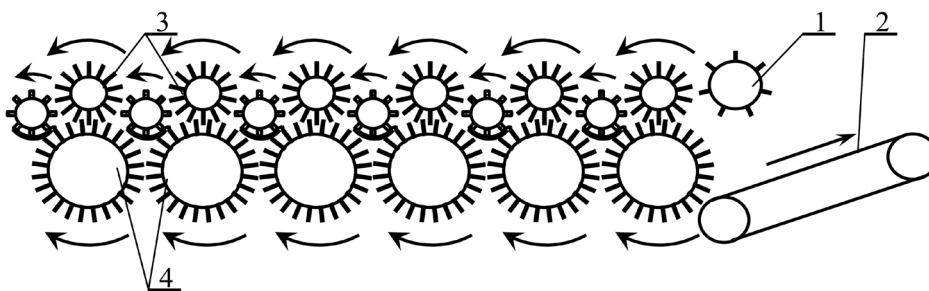


Рисунок 3. – Схема трепальной машины

узел включает верхний 3 и нижний 4 трепальные барабаны и расположенное перед ними питающее устройство.

Трепальные барабаны в парах имеют различные наружные диаметры и различное количество бильных планок. Отметим, что подобная схема пары трепальных барабанов рассмотрена в [6], но в отличие от машины фирмы Vanhauwaert верхний и нижний барабаны имеют равное число бильных планок и одинаковую угловую скорость.

Барабаны трепальных узлов кинематически разделены на две группы по три пары барабанов в каждой. Привод каждой группы барабанов осуществляется отдельным механизмом. В электро-схеме для каждого электродвигателя предусмотрен индивидуальный преобразователь частоты переменного тока. Это позволяет обеспечить дифференциацию процесса трепания за счет постепенного наращивания количества и интенсивности воздействий трепальных барабанов на материал по ходу обработки, что является преимуществом данной машины.

При различном числе планок верхнего Z_v и нижнего Z_n барабанов соотношение их угловых скоростей (передаточное число U) должно быть строго обратно пропорционально числу планок, то есть

$$U = \frac{n_v}{n_n} = \frac{Z_n}{Z_v}.$$

Для выполнения этого условия верхние барабаны связаны с нижними двумя последовательными зубчатыми ременными передачами. Но так как верхние и нижние барабаны должны вращаться в разные стороны, то одна из передач выполнена двухсторонним зубчатым ремнем с использованием паразитных зубчатых шкивов, что усложняет конструкцию привода (рисунок 4).

Заслуживает особого внимания конструкция питающего устройства, которое представляет собой цилиндрический валец 1 с расположенными на его окружности планками 2 и размещенный под ним вогнутый по радиусу стальной «лафет» 3 (рисунок 5). Планки вальца изготовлены из жесткой прорезиненной ленты. Для стабильного перемещения слоя барабаном по «лафету» планки контактируют со шлифованной поверхностью «лафета». Такая конструкция питающего устройства позволяет максимально приблизить линию зажима слоя к линии трепания, то есть уменьшить мертвую зону и, следовательно, повысить эффективность обработки и качество короткого волокна.

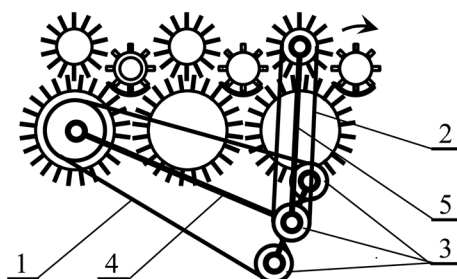


Рисунок 4. – Схема привода барабанов

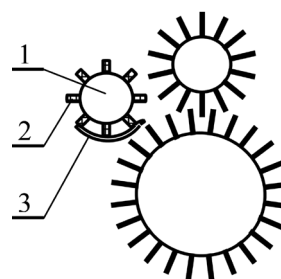


Рисунок 5. – Схема питающего устройства

Привод питающих валцов осуществляется отдельным электродвигателем с преобразователем частоты переменного тока. Планчатые валцы всех питающих узлов последовательно соединены между собой зубчатыми ременными передачами со средним передаточным числом между смежными валцами $U = 1,12$. Таким образом, окружная скорость питающих валцов возрастает от узла к узлу по ходу движения слоя. Следовательно, при обработке в трепальной машине слой подвергается дополнительному утонению. Общий коэффициент утонения слоя K_{ym} для трепальной машины вычисляется по формуле:

$$K_{ym} = U^{N-1},$$

где N – число трепальных узлов машины.

Расчеты показывают, что в целом по машине $K_{ym} = 1,76$. Такое значительное утонение слоя в процессе трепания повышает вероятность его разрывов, которые, как отмечалось выше, способствуют более частому образованию забивок и намотов волокна на рабочие органы.

Эффективность трепания в машине фирмы Vanhauwaert, как и во всех машинах, работающих по принципу двухстороннего воздействия на слой, определяется толщиной слоя, скоростью его перемещения, числом оборотов трепальных барабанов, количеством бильных планок на барабанах, величиной взаимного захождения бильных планок верхних и нижних барабанов [6]. Влияние двух последних параметров на результаты обработки проявляется через величину углов охвата кромок планок волокном и количество кромок, одновременно взаимодействующих с ним. С увеличением этих факторов интенсивность трепания возрастает.

Посредством регуляторов частоты переменного тока скорость перемещения слоя и частота вращения трепальных барабанов регулируются довольно просто.

Произведением скорости перемещения слоя и его толщиной определяется производительность линии. Максимальная толщина слоя в трепальной машине определяется минимальным расстоянием между планками верхнего и нижнего барабанов. Это расстояние можно вычислить следующим образом (рисунок 6).

Межцентровое расстояние

$$A = r + R - h,$$

где r, R – наружные радиусы верхнего и нижнего барабанов соответственно, мм;

h – глубина захождения планок, мм.

Из треугольника O_1NO_2 по теореме косинусов

$$O_2N = \sqrt{A^2 + r^2 - 2A \cdot r \cos \frac{\varphi_1}{2}}.$$

Применяя теорему синусов, находим

$$\frac{r}{\sin \angle O_1O_2N} = \frac{O_2N}{\sin \frac{\varphi_1}{2}};$$

$$\angle O_1O_2N = \arcsin \frac{r \sin \frac{\varphi_1}{2}}{O_2N}.$$

Тогда

$$NM = O_2N \sin(\varphi_2 - \angle O_1O_2N),$$

а кратчайшее расстояние между планками верхнего и нижнего барабанов будет меньше этого значения на толщину планки δ , то есть $\Delta = NM - \delta$.

Расчеты, проведенные по приведенным формулам, показывают, что при данных параметрах трепальной маши-

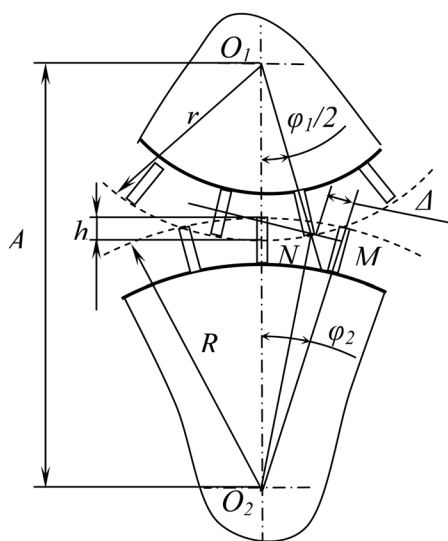


Рисунок 6. – Схема для расчета расстояния между планками

ны максимальное расстояние между планками (при строгом взаимном расположении планок во впадинах) составляет 13, 18 мм, что обеспечивает необходимую производительность линии.

При отклонении расположения планок в ту или иную сторону это расстояние будет уменьшаться.

Регулировка глубины захождения планок барабанов не предусмотрена, хотя расположение «лафетов» по высоте можно изменять. При этом высота расположения питающих валцов также должна изменяться, чтобы избежать излишнего трения планок валцов о «лафет». Это возможно осуществить путем установки прокладок между верхним и нижним блоками машины. Следует иметь в виду, что при подъеме «лафетов» увеличивается зазор между ними и траекторией бильных планок нижних трепальных барабанов, что увеличивает вероятность образования забивок между барабанами и «лафетами».

Также следует отметить, что из-за большого количества вращающихся рабочих органов небольшого диаметра (соизмеримого с длиной волокон в обрабатываемом материале) машина очень чувствительна к влажности материала. Наблюдения показывают, что при влажности отходов трепания более 12 % количество намотов резко возрастает, что согласуется с данными, приведенными в [7].

Съем волокна с последних трепальных барабанов осуществляется конвейером с нижнего барабана и отбойным барабаном с верхнего трепального барабана. Если конвейер выполняет эту функцию стабильно, то отбойный барабан – не в полной мере, так как сам становится объектом образования намотов.

Для устранения намотов предусмотрен автоматический останов машины и подъем верхнего блока 1 для облегчения доступа к рабочим органам (рисунок 7).

Для подъема используются четыре пневмоцилиндра 2. При поднятом верхнем блоке сохраняется кинематическая связь между верхними и нижними трепальными барабанами и возможен реверсивный пуск машины в наладочном режиме (на пониженных скоростях), что облегчает удаление намотов и забивок. Для сохранения взаимного расположения планок верхних и нижних барабанов использован оригинальный компенсирующий (синхронизирующий) механизм, включающий систему рычагов, на которых закреплены промежуточные зубчатые шкивы.

Следует отметить, что забивки и намоты различаются по способам их образования и устранения. Первые значительных проблем не вызывают, так как для их устранения достаточно в ручном режиме при поднятой верхней части трепальной машины повернуть рабочие органы – трепальные барабаны. На это уходит, как правило, не более 2–3 минут. Сложнее с намотами – их надо разрезать и потом поступить, как с забивками.

Следует также рассмотреть вопрос о ремонтопригодности машины.

Замена подшипников в машине очень трудоемка. В условиях льнозавода практически невозможно, так как для разборки компенсирующего механизма требуется разрезание рамы машины.

Наклонная трясыльная машина (рисунок 8) содержит двадцать валов 1 с иглами 2, направленными вниз, и колосниковую решетку 3. Для передачи материала в последующую машину используется склиз 4.

Привод валов аналогичен приводу горизонтальных трясыльных машин. В машине предусмотрена возможность изменения угла опережения за счет клеммного соединения валов с поводками, что нерационально, так как требуется изменение расположения каждого вала отдельно.

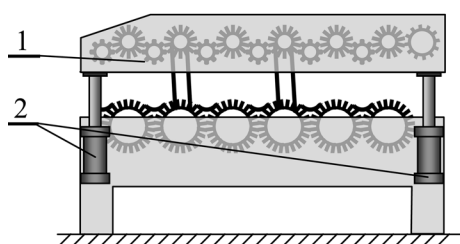


Рисунок 7. – Вид трепальной машины при поднятом верхнем блоке

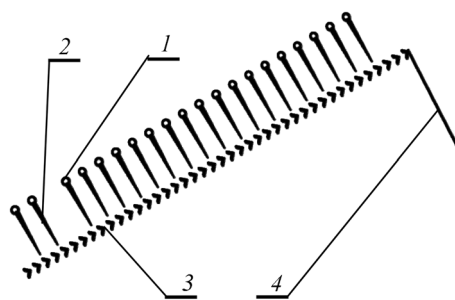


Рисунок 8. – Схема наклонной трясыльной машины

Колосники решетки расположены перпендикулярно направлению перемещения материала. Машина аналогична трясильной машине с верхним трясильным полем российского агрегата КПАЛ, но менее эффективна из-за отсутствия игл на колосниках. Подача материала осуществляется между вторым и третьим игольчатыми валами, для чего увеличено расстояние между ними.

Эффективность трясения в машине ниже, чем в трясильных машинах с нижним трясильным полем, так как траектория колебаний материала в вертикальном направлении ограничена решеткой.

Положительным для наклонной трясильной машины является отсутствие зависания на игольчатых валах волокон, просыпающихся через колосниковую решетку. Использование машин подобного типа целесообразно после трепальных машин одностороннего действия, как это сделано в линиях фирмы Depoortere. Это объясняется тем, что после обработки в материале содержится значительное количество пуха, который под влиянием воздушных потоков вместе с кострой проникает между колосниками. После обработки в трепальных машинах одностороннего действия в материале содержится незначительное количество пуха, и они не создают значительных воздушных потоков, поэтому проникновение волокон через колосниковую решетку незначительно.

Следует отметить, что эффективность обработки во втором трепально-трясильном блоке существенно ниже, чем в первом, из-за хаотичного расположения волокон в слое после наклонной трясильной машины, так как отсутствует утонение слоя и параллелизация волокон в слое перед трепальной машиной. При этом установленная мощность электродвигателей трепально-трясильного блока составляет порядка 15 кВт, а вторая трепальная машина в два раза увеличивает количество простоев из-за намотов и забивок рабочих органов. Поэтому целесообразен вариант компоновки линии с одним трепально-трясильным блоком.

Заключение

Теоретический анализ конструктивно-технологической схемы линии выработки короткого льноволокна фирмы Vanhauwaert позволил сделать следующие выводы.

Технологический процесс построен на обработке тонкого слоя отходов трепания при высокой скорости его перемещения через трепальные машины. Такое построение процесса позволяет получать короткое волокно удовлетворительного качества. Однако переработка тонкого слоя имеет свои недостатки. Это частые разрывы слоя, способствующие образованию намотов и забивок в рабочих органах преимущественно трепальных машин.

Для компенсации негативных явлений разработчики пошли по пути снижения времени на устранение забивок и намотов за счет своевременного их обнаружения и облегчения доступа к ним для устранения.

Использование линии предпочтительно отдельно от линии выработки длинного льноволокна, так как возникающие простои требуют остановки последней, что отрицательно сказывается на ее производительности.

Компоновка линии двумя трепально-трясильными блоками не является оправданной, так как при незначительном повышении качества короткого льноволокна требует дополнительных энергозатрат и еще более снижает надежность технологического процесса.

Литература

1. Чеботарев, В. П. Сравнительный анализ оборудования для получения короткого льноволокна, применяемого на льнозаводах республики / В. П. Чеботарев, В. М. Изойто, А. Е. Лукомский, С. Г. Кривонос, А. В. Новиков // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: в 3 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2012. – Т. 1. – С. 276–279.
2. Справочник по хлопкопрядению / В. П. Широков; под ред.: В. П. Широкова, Б. М. Владимиров, Д. А. Поляковой. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1985. – 472 с.
3. Справочник по заводской первичной обработке льна / И. Я. Шаров [и др.]; под общ. ред. В. Н. Храмцова. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984. – 512 с.

4. Справочник по прядению льна / Б. Н. Фридман [и др.]; под общ. ред. С. В. Тарасова. – М.: Легкая индустрия, 1979. – 375 с.
5. Инновационные технологии и технические средства нового поколения для производства и глубокой переработки лубяных культур: учеб. пособие / В. Г. Черников [и др.]. – М.: Изд-во РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, 2011. – 150 с.
6. Ипатов, А. М. Теоретические основы механической обработки стеблей лубяных культур: учеб. пособие для вузов / А. М. Ипатов. – М.: Легпромиздат, 1989. – 144 с.
7. Дьячков, В. А. Теоретические основы технологии производства лубяных волокон: монография / В. А. Дьячков. – Кострома: Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2009. – 271 с.

УДК 631.331.022

Поступила в редакцию 31.07.2017
Received 31.07.2017

Д. В. Зубенко

*УО «Марьиногорский государственный ордена «Знак Почета» аграрно-технический колледж
имени В. Е. Лобанка»
п. Марьино, Республика Беларусь
zub89417@mail.ru*

ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ВЫСЕВАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ДОЗИРОВАНИЯ ПОСЕВНОГО МАТЕРИАЛА

В статье приводятся исследования качества работы пневматической высевающей системы централизованного дозирования посевного материала зерновых сеялок. Результатом данных исследований была разработка вертикального распределительного устройства, применение которого при посеве зерновых и зернобобовых культур позволяет производить качественный сев и распределять посевной материал по площади поля согласно агротехническим требованиям, с неравномерностью распределения 3,8–6 %.

Ключевые слова: пневматическая система, распределитель, неравномерность распределения, турбулизирующая вставка, зерновая сеялка.

D. V. Zubenko

*Educational establishment «Maryinogorsk state awards «Honour Sign» agrarian and technical college of V.E. Lobanok»
s. Maryino, Republic of Belarus
zub89417@mail.ru*

RESEARCHES OF QUALITY OF WORK THE PNEUMATIC SOWING SYSTEM THE CENTRALIZED DISPENSING OF SOWING MATERIAL

Researches of quality of work of the pneumatic sowing system of the centralized dispensing of sowing material of grain seeders are given in article. Result of these researches was development of the vertical distributing device which use at crops of grain and leguminous crops allows to make high-quality sowing and to distribute sowing material on the area of the field according to agrotechnical requirements, with unevenness of distribution of 3,8–6 %.

Keywords: pneumatic system, distributor, unevenness of distribution, turbulizing insert, grain seeder.

Введение

Увеличение урожайности зерновых культур должно происходить за счет применения интенсивных сортов, требуемых доз внесения удобрений, средств защиты растений, качественного посева и почвообработки.

Немаловажную роль в этом занимает посев, во время проведения которого закладывается основа будущего урожая. Важным аспектом при посеве является обеспечение необходимой площади питания культурных растений, так как от нее напрямую зависит рост и дальнейшее их развитие [1].

В связи с этим к машинам для посева предъявляются высокие требования по обеспечению равномерности распределения семян по площади поля, без чего невозможно реализовать генетическую продуктивность современных сортов сельскохозяйственных культур.

Анализ отечественных и зарубежных литературных источников [2–4], а также производственного опыта передовых сельскохозяйственных предприятий страны показал, что одним из перспективных направлений в развитии посевных машин является разработка широкозахватных высокопроизводительных сеялок с пневматической системой высева, усовершенствование которых ведется по пути увеличения производительности, снижения энерго- и материалоемкости и улучшения качественных показателей работы системы высева.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования является процесс движения и распределения посевного материала в распределителе вертикального типа пневматической системы высева. Методика исследований базировалась на теоретических и экспериментальных исследованиях, в процессе которых проводилась сравнительная оценка качественных показателей работы высевающих систем зерновой сеялки С-9 и ее аналога СПШ-9.

Результаты исследований

Современная сеялка с пневматической системой высева, как правило, имеет раздельно-агрегатную компоновку [5], при которой машина состоит из отдельных блоков (модулей). Это позволяет разнести в пространстве бункер и рабочие органы.

Пневматическая высевающая система и раздельно-агрегатная компоновка рабочих органов таких сеялок позволяют реализовать секционный принцип построения рамы посевного блока, при котором ее складывание происходит в вертикальной плоскости. Данное решение позволяет значительно ускорить процесс перевода сеялки из рабочего положения в транспортное и обратно, а следовательно, снизить общие непроизводительные затраты времени.

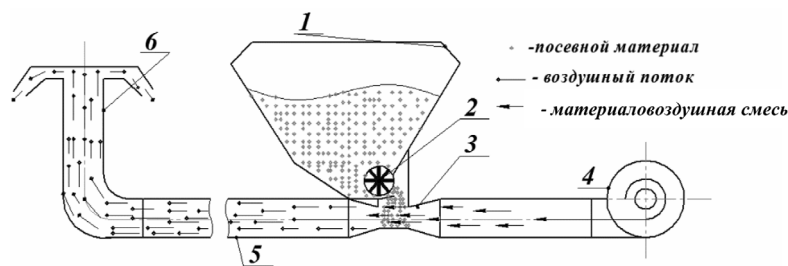
В настоящее время при производстве зерновых сеялок, когда в качестве транспортирующей среды используется воздушный поток, можно выделить три типа высевающих систем: централизованного, группового и индивидуального дозирования посевного материала.

Наибольшее распространение в мировой практике получили системы высева с централизованным дозированием семян одним или двумя дозаторами и последующим делением общих потоков на отдельные по сошникам с помощью распределительных устройств различной конструкции [6].

Централизованный бункер сеялки позволяет снизить количество и продолжительность технологических остановок на заправку семенами и удобрениями. Применение автономной системы загрузки на широкозахватных сеялках с пневматической системой высева позволяет дополнительно сократить время и трудоемкость загрузки. Кроме того, система обеспечивает простую установку нормы высева, она более универсальна по диапазону высеваемых семян, так как дозирование происходит большими порциями. Производят и широко применяют сеялки с пневматической системой высева фирмы США и Европы.

Основными элементами системы высева с пневматическим транспортированием посевного материала в сошники являются бункер, вентилятор, дозатор, устройство для ввода посевного материала в воздушный поток (питатель), пневмоматериалопровод и распределительное устройство (рисунок 1).

Одним из основных агротехнических требований для высевающей системы посевных машин является равномерность распределения материала по сошникам (поперечная неравномерность). Анализ преимуществ и недостатков отдельных элементов пневматической высевающей системы, оказывающих влияние на технологический процесс, позволяет сделать вывод, что одной из наиболее важных частей системы, обеспечивающих поперечную неравномерность высева, являются распределительные устройства посевного материала. Снижение равномерности распределения семян приводит к образованию участков с высокой и низкой плотностью разме-



1 – бункер; 2 – дозатор; 3 – питатель; 4 – вентилятор; 5 – пневмоматериалопровод; 6 – распределитель
Рисунок 1. – Конструктивно-технологическая схема пневматической высевальной системы

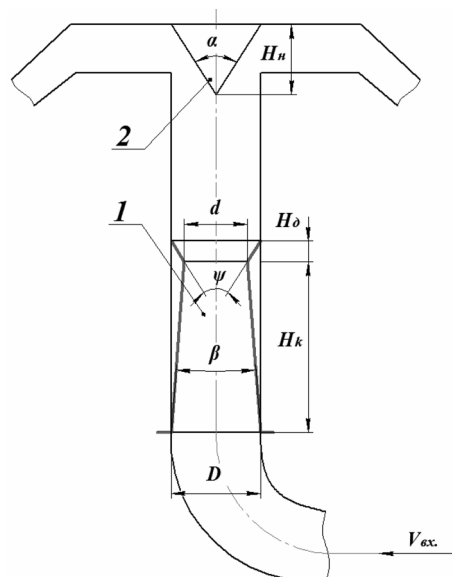
щения растений по площади поля. На участках с высокой густотой стеблестоя их развитие затрудняется, на изреженных продуктивность отдельных растений может увеличиваться, но она не компенсирует недостаток общей продуктивности с единицы площади поля. Поэтому повышение поперечной равномерности распределения семян оказывает положительное влияние на развитие растений, одновременное их созревание и в итоге на конечный урожай. Некоторыми исследованиями установлено, что при неравномерности распределения между сошниками выше 10 % наблюдается устойчивое снижение урожайности в среднем на 1...2 ц/га [7].

Одним из наиболее распространенных способов повышения равномерности распределения посевного материала между сошниками на практике является дополнительная турбулизация поступающей к распределительной головке материаловоздушной смеси. Большинство мировых производителей посевной техники с пневматическими системами высева применяют комплексно несколько рабочих элементов для снижения неравномерности распределения посевного материала по сошникам.

В связи с этим особую актуальность приобретает разработка комбинированного распределительного устройства, обеспечивающего выравнивание посевного материала по поперечному сечению вертикальной части распределителя при минимальном аэродинамическом сопротивлении, а также применение направлятеля в распределительной головке для исключения травмирования посевного материала за счет снижения интенсивности и количества лобовых ударов семян (рисунок 2).

Турбулизирующая вставка выполнена из конфузора с углом сужения β и высотой H_k и диффузора с углом расширения ψ и высотой H_d , соединенных верхними основаниями с диаметром d , причем конфузор расположен во впускной части вставки, имеющей диаметр D . Данная конструкция обеспечивает равномерное распределение транспортируемого материала по сечению вертикальной колонны без снижения скорости его транспортирования и, следовательно, не требует дополнительных энергозатрат на поддержание параметров воздушного потока.

В турбулизирующей вставке во впускной части конфузора происходит поперечное сжатие материаловоздушного потока и приближение его к центру. При этом аэродинамическое сопротивление и механическое сопротивление трения транспортируемого материала о поверхность незначительны вследствие его плавного сужения [8]. Соответственно, скорости периферийных слоев потока возрастают и выравниваются по всей площади поперечного сечения конфузора. На выходе из конфузора образуется внезапное расширение диффузором турбулизирующей вставки, которое вызывает образование вихревых потоков транспортирующего воздуха по всему поперечному сече-



1 – турбулизирующая вставка;
2 – направлятель

Рисунок 2. – Схема экспериментального вертикального распределителя

нию входного трубопровода [9]. Все это вызывает интенсивное перемешивание транспортируемого материала с воздухом и формирование однородной материаловоздушной смеси.

Для сохранения высокой равномерности распределения посевного материала по поперечному сечению в распределительной головке и далее в семяпроводах необходимо, чтобы каждая частица с наименьшими потерями энергии и за кратчайшее время после касания с внутренней поверхностью распределительной головки переместилась к отводящему патрубку. В качестве направителя использовался остроконечный конус, имеющий угол у вершины α и высоту H_n , который при условии равномерной подачи посевного материала в распределительную головку повышает равномерность распределения посредством создания направленных в сторону отводящих патрубков вееров отраженных частиц и уменьшает интенсивность лобовых соударений частиц посевного материала.

Объектом исследования выступала пневматическая система высева централизованного дозирования зерновой сеялки С-9 с описанным выше установленным вертикальным распределителем. Целью проведения испытаний являлось определение коэффициента вариации как основного критерия, по которому оценивается качество работы распределителя, характеризующего неравномерность распределения частиц посевного материала по сошникам. Сеялка С-9 была оснащена экспериментальным распределителем с турбулизирующей вставкой следующих параметров: входной диаметр $D = 140$ мм, угол сужения конфузора $\beta = 14^\circ$, выходной диаметр конфузора $d = 90$ мм, высота конфузора $H_k = 205$ мм, угол расширения диффузора $\psi = 90^\circ$, высота диффузора вставки $H_d = 25$ мм; направитель имел угол при вершине $\alpha = 46^\circ$ и высоту $H_n = 165$ мм. Для контроля и сравнения результатов аналогичные опыты проводились для сеялки СПШ-9, на которой были установлены серийные распределители.

Основные показатели результатов качества выполнения технологического процесса системы высева по результатам испытаний сеялки С-9 в сравнении с сеялкой СПШ-9 представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Функциональные показатели работы системы высева сеялки С-9

Наименование показателя	по ТКП 078–2007	Значение показателя					
		по результатам испытаний					
		высев семян пшеницы		высев семян ячменя		высев семян гороха	
		С-9	СПШ-9	С-9	СПШ-9	С-9	СПШ-9
Качество высева при хозяйственной норме высева семян, $кг/га$							
– заданная		228	210	222	222	251	251
– фактическая		237,1	212,6	232,2	218,3	262,4	267,2
Отклонение фактической нормы высева от заданной, %		4	3	4,6	4	4,5	6,4
Неравномерность высева между сошниками, %							
– зерновых	5,0, не более						
– зернобобовых	6,0, не более	3,9	14	3,8	9,6	6,0	15,5
Дробление семян, %							
– зерновых	0,5, не более						
– зернобобовых	1,0, не более	0,21	0,66	0,2	0,1	0,5	0,6

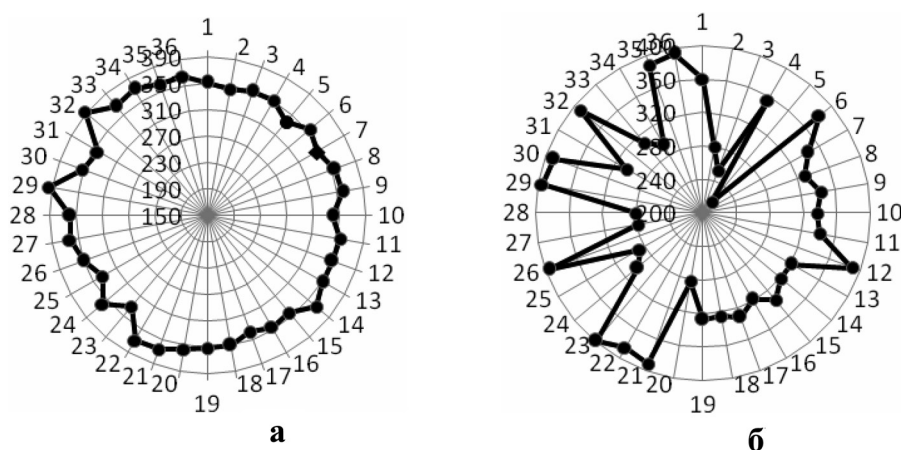
Одним из основных показателей данной таблицы, который определяет качество работы системы высева и оказывает положительное влияние на развитие растений, является неравномерность распределения посевного материала между сошниками. Значения данного показателя сеялки СПШ-9 с серийным распределителем значительно превышают значения, полученные при испытании сеялки С-9 с разработанным вертикальным распределителем и установленные агротехническими требованиями [10].

Помимо определения коэффициента вариации, проводилась статистическая оценка значимости различия неравномерности высева между сошниками сеялки СПШ-9 и сеялки С-9 с экспери-

ментальным распределителем. При сравнении средних величин двух сопряженных выборок проводилась оценка существенности разности по t -критерию. Порядок оценки существенности средней разности осуществляется по известной методике [11].

При этом если фактическое значение $t_{\phi} > t_{0,05;214}$, то тогда подтверждалась гипотеза значимости различия полученной разности средних значений распределения проб масс посевного материала экспериментальным и серийным распределителями.

В результате проведения оценки существенности средней разности по t -критерию, сопоставляя фактические значения критерия t_{ϕ} с теоретическими $t_{0,05}$ (табличными), приходим к выводу, что при высеве семян пшеницы $t_{\phi} = 3,06 > t_m = 1,96$, ячменя – $t_{\phi} = 4,37 > t_m = 1,96$, гороха – $t_{\phi} = 2,2 > t_m = 1,96$. А это значит, что для всех исследуемых культур разность существенна при 5 %-ном уровне значимости, а так как во всех случаях она ниже у экспериментального распределителя, то он более качественно распределяет посевной материал между сошниками. Для наглядного подтверждения выводов построили диаграмму распределения семян пшеницы по семяпроводам (рисунок 3).



150; 190...390 – шкала массы проб, г; 1, 2, 3...32 – номер отводящего патрубка

Рисунок 3. – Эпюра распределения семян пшеницы (а) экспериментальным и (б) серийным распределителем между сошниками в зависимости от их массы

Таким образом, экспериментальный распределитель с оптимальными конструктивными параметрами позволил получить значения неравномерности распределения посевного материала для зерновых и зернобобовых культур в диапазоне от 3,8 % до 6,0 % [12]. На сеялке с серийными распределителями данный показатель находился в диапазоне от 9,6 % до 15,5 % [13] при агротехнически допустимом диапазоне от 5 % до 6 %. Ожидаемый годовой приведенный экономический эффект от использования сеялки С-9 составил 793,1 млн руб. в сравнении с сеялкой СПШ-9. Применение разработанной сеялки С-9 по сравнению с базовой СПШ-9 позволило снизить прямые эксплуатационные затраты на 20,2 %, капитальные вложения – на 21,8 % и приведенные затраты – на 20,9 %.

Заключение

Результаты исследований показывают, что применение пневматической высевальной системы централизованного дозирования посевного материала с разработанным вертикальным распределительным устройством на зерновых сеялках при посеве зерновых и зернобобовых культур позволяет производить качественный сев и распределять посевной материал по площади поля согласно агротехническим требованиям.

Литература

1. Майсурия, Н. А. Предисловие / Н. А. Майсурия // Прогрессивные способы посева зерновых культур. – М., 1959. – С. 3–9.
2. Астахов, В. С. Механико-технологические основы посева сельскохозяйственных культур сеялками с пневматическими системами группового дозирования: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / В. С. Астахов; БГСХА. – СПб., 2007. – 40 с.
3. Лачуга, Ю. Ф. Новые технологии и техника для сельского хозяйства России / Ю. Ф. Лачуга // Техника в сельском хозяйстве. – 2004. – № 6. – С. 5–9.
4. Сариев, Ж. А. Применение посевного комплекса «Flexicoil ST-820» в опытно-производственных условиях / Ж. А. Сариев, В. В. Выорков, А. Е. Сарсенов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 2. – С. 33–35.
5. Халанский, В. М. Сельскохозяйственные машины / В. М. Халанский, И. В. Горбачев. – М.: КолосС, 2004. – 624 с.
6. Чеботарев, В. П. Анализ посевной части зерновых сеялок и почвообрабатывающе-посевных агрегатов / В. П. Чеботарев, Д. В. Зубенко, Ю. Л. Салапура, А. В. Новиков, Т. А. Непарко // Современные проблемы земледельческой механики: XIV Междунар. науч.-практ. конф., посвященная 113-й годовщине со дня рождения академика Петра Мефодиевича Василенко. – Глеваха, 2013. – С. 150–163.
7. Бахмутов, В. А. Влияние равномерности размещения растений по площади на урожайность / В. А. Бахмутов, В. А. Любич // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М., 1981. – № 5. – С. 9–11.
8. Ивженко, С. А. Механико-технологические основы совершенствования пневматического посева: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.20.01 / С. А. Ивженко. – Саратов, 1992. – 506 с.
9. Любушко, Н. И. Применение высевальной системы с централизованным дозированием / Н. И. Любушко, В. А. Юзбашев, В. Е. Хоруженко // Тракторы и сельхозмашины. – 1984. – № 6. – С. 15–17.
10. Машины посевные и посадочные. Правила установления показателей назначения: ТКП 078–2007. – Введ. 06.08.2007 – Минск: Беларус. научн. ин-т внедрения новых форм хозяйствования в АПК, 2007. – 40 с.
11. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 347 с.
12. Протокол № 038 (176) Б 1/3-2012 от 27.12.2012 приемочных испытаний сеялки пневматической С-9 / ИЦ ГУ «Белорусская МИС». – Привольный, 2012. – 96 с.
13. Протокол № 247 Б 1/3-2010 от 22.12.2010 приемочных испытаний сеялки пневматической СПШ-9 / ИЦ ГУ «Белорусская МИС». – Привольный, 2010. – 68 с.

УДК 631.31/356(633.49:635–153)

Поступила в редакцию 02.08.2017

Received 02.08.2017

В. В. Голдыбан, И. А. Барановский

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

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ДЛЯ УБОРКИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ИЗ КАГАТОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В статье описывается ситуация в свекловичной отрасли с технической оснащенностью уборки сахарной свеклы из кагатов, указываются перспективы ее дальнейшего развития.

Ключевые слова: погрузчик, сахарная свекла, технология, средства механизации, уборка, производительность механизированных работ.

V. V. Goldyban, I. A. Baranovsky

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: labpotato@mail.ru*

PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF MECHANIZATION FOR HARVESTING SUGAR BEET FROM THE CLAMPS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

The article describes the situation of technical equipment beet industry the sugar beet from the clamps indicates the prospects of its further development.

Keywords: loader, sugar beet, technology, means of mechanization, cleaning, the performance of the mechanized works.

Введение

Возделыванием сахарной свеклы в Беларуси занимается 378 сельскохозяйственных организаций на площади 98,3 тыс. га. Средняя площадь посевов на одно хозяйство составляет 260 га. Валовой сбор превышает 4,8 млн тонн. Этого вполне достаточно, чтобы удовлетворить внутренние потребности в сахаре, а также иметь экспортный задел. Экспортная поставка свекловичного сахара – 200 тыс. тонн. Средняя урожайность сахарной свеклы в 2016 г. превысила 400 ц/га.

В соответствии с объемами поставок сахарной свеклы на перерабатывающие предприятия в 2016 году Городейский сахарный комбинат должен был переработать 1 млн 32 тыс. тонн свеклы, Слуцкий сахаро-рафинадный – 1 млн 145 тыс. тонн, Жабинковский сахарный завод – 1 млн 2 тыс. тонн, Скидельский сахарный комбинат – 821 тыс. тонн.

Значимость возделывания данной культуры для Беларуси подтверждается Государственной программой развития сахарной промышленности на 2011–2015 годы.

В условиях Беларуси рост сахарной свеклы продолжается до глубокой осени. Причем в течение сентября ежедневный прирост урожая достигает 2,0–2,5 ц/га. Одновременно в это же время происходит непрерывное увеличение сахаристости корней. Так, за сентябрь сахаристость увеличивается на 1,5–2 %, что обуславливает необходимость уборки свеклы в более поздние сроки. Но в то же время уборку необходимо организовать так, чтобы к наступлению устойчивых заморозков вся свекла была убрана с поля и вывезена на заготовительные пункты. Погодно-климатические условия требуют, чтобы уборка была закончена до наступления устойчивой минимальной температуры воздуха ниже –5 °С и промерзания почвы, то есть до 15–20 октября. Начинают уборку при наступлении технической спелости, то есть при накоплении сахара в корнеплодах до 17–18 %. В основных свеклосеющих районах этот период приходится на вторую половину сентября – начало октября. Убирают свеклу поточным или поточно-перевалочным способом. В первом случае убранную свеклоуборочным комбайном свеклу без доочистки отправляют сразу на сахарный завод. При перевалочном способе уборки выкопанные корни складывают в кагаты, а затем перевозят на сахарный завод.

Чтобы своевременно и качественно убрать сахарную свеклу, необходима специализированная уборочная техника.

Основная часть

По информации, полученной в хозяйствах республики, из свеклоуборочных комбайнов зарубежного производства в основном задействованы самоходные высокопроизводительные комбайны Holmer Terra Dos T3, Franz Kleine SF-10, Ropa «Eurotiger» V 8-3 и Grimme Maxtron 620 (по состоянию на 01.07.2016 г. их насчитывалось 268 штук, из них исправных – 134), из отечественных (103 штуки по состоянию на 01.07.2016 г.) – свеклоуборочный комплекс «Полесье», который включает комбайн свеклоуборочный навесной шестирядный КСН-6 (формирует валок из корнеплодов) и подборщик-погрузчик корнеплодов ППК-6, который подбирает из валка свеклу и грузит в тракторный прицеп. ГСКБ «Гомсельмаш» разработал самоходный свеклоуборочный комбайн СКС-624 «Палессе BS624».

Развитие конструкций высокопроизводительных комбайнов, повышение требований существенного снижения физической загрязненности поставляемого на сахарные заводы сырья (с 10–16 до 5–6 %), а также укрупнение заводов привели в Беларуси к изменению технологии организации уборки, хранения и транспортировки сырья. Корнеплоды укладываются на временное хранение в полевые кагаты на полях вблизи дорог, доочищаются при погрузке высокопроизводительными мобильными очистителями и вывозятся на приемные пункты автотранспортными средствами. При хранении свеклы в кагатах потери сахаристости достигают 0,1 % в сутки.

На сегодняшний день в свеклосеющих хозяйствах страны погрузку свеклы из кагатов в транспортное средство осуществляют тремя способами:

– загрузка свеклы из кагатов в транспортное средство фронтальным погрузчиком «Амкодор» (рисунок 1);

- загрузка свеклы из кагатов в транспортное средство телескопическим загрузчиком типа ЗТ-40 с предварительной очисткой свекловичного вороха (рисунок 2);
- загрузка свеклы из кагатов в транспортное средство самоходным высокопроизводительным погрузчиком (рисунок 3).



Рисунок 1. – Загрузка свеклы из кагатов в транспортное средство погрузчиком «Амкодор»



Рисунок 2. – Загрузка свеклы из кагатов в транспортное средство телескопическим загрузчиком типа ЗТ-40 с предварительной очисткой свекловичного вороха



Рисунок 3. – Загрузка свеклы из кагатов в транспортное средство самоходным высокопроизводительным погрузчиком

При первом способе погрузка свеклы из кагата в транспортное средство осуществляется погрузчиком «Амкодор» (см. рисунок 1). Высокий процент повреждений корнеплодов, наличие примесей, малая высота погрузки и низкая производительность делают данный способ погрузки неприемлемым и нетехнологичным. Это лишь вынужденная мера ряда хозяйств приспособлять имеющуюся у них технику для уборки свеклы.

Второй способ (см. рисунок 2) аналогичен первому, отличие – в использовании для удаления почвенных и растительных примесей бункера приемного с ворохоочистителем. Приемка свеклы от бункера и ее погрузка в кузов транспортного средства осуществляются телескопическим конвейером. При использовании бункера и конвейера производительность погрузки снижается до 30 т/ч, а проблема повреждения корнеплодов остается нерешенной.

При третьем способе уборки свеклы из кагатов (см. рисунок 3) используется специализированная техника – импортные высокопроизводительные самоходные погрузчики Holmer Terra Felis 2 (Германия), ROPA Euro Maus 4 (Германия), Kleine RL 200 SF (Германия) и другие (рисунок 4–6).



Рисунок 4. – Самоходный погрузчик свеклы Holmer Terra Felis 2



Рисунок 5. – Самоходный погрузчик свеклы ROPA EuroMaus 4



Рисунок 6. – Самоходный погрузчик свеклы Kleine RL 200 SF

Техническая характеристика данных погрузчиков представлена в таблице 1. Следует отдать должное их эффективности в условиях сельскохозяйственного производства Республики Беларусь. Высокая производительность, надежность в работе и возможность погрузки свеклы на высоту до 6 м делает их лидерами в данной области. Эта техника сосредоточена в основном при сахарных заводах. По заявкам хозяйств сахарные заводы включают их в свой график погрузки свеклы. Стоимость погрузки в 2016 году составляла 2200 рублей за 1000 тонн. За эту стоимость завод обеспечивает погрузку и отвозку свеклы из предварительно подготовленных хозяйством кагатов.

Таблица 1. – Техническая характеристика погрузчиков свеклы

Марка погрузчика	ПС-200 «Амкодор»	Brettmeister Minimaus	Kleine RL 200 SF Mause	Ropa Euro-Maus 4	Holmer Terra Felis 2
Производительность, <i>т/ч</i>	200	200	300	550	560
Мощность двиг., <i>л.с.</i>	78	от 180	325	326	340
Ширина захвата, <i>м</i>	4,2	6	8	10,2	10
Высота загрузки, <i>м</i>	4	4,5	6	6	6
Масса, <i>кг</i>	11250	5300	19800	31000	25000
Стоимость, тыс. евро	–	99	363	350	320

Самоходные погрузчики закупались в период реализации Государственной программы развития сахарной промышленности на 2011–2015 годы с целью укрепления материально-технической базы свеклосеющих хозяйств за счет средств государственного бюджета. В этот период, по данным Министерства статистики и анализа Республики Беларусь, парк погрузчиков свеклы увеличился с 82 до 174 штук.

На сегодняшний день важнейшим фактором, снижающим доступность данной техники для свеклосеющих хозяйств страны, является ее высокая стоимость (см. таблицу 1). Для хозяйств с площадью возделывания сахарной свеклы 200–300 *га*, а таких большинство, использование самоходных погрузчиков экономически нецелесообразно, они эффективны на площадях от 800 *га* и выше.

Отмеченные выше погрузчики свеклы ПС-200 «Амкодор», Holmer Terra Felis 2, Ropa Euro-Maus 4, Kleine RL 200 SF, Mause – самоходные. Что существенно удорожает их стоимость и приводит к длительному простаиванию энергетического средства в связи с его сезонной загрузкой. Еще год-второй, и данная техника окажется за порогом амортизации.

Использование ранее выпускаемых погрузчиков отечественного производства СПС-4,2 неэффективно из-за несовершенства конструкции, низкой производительности и значительного их износа.

В связи с этим актуальной является разработка отечественного погрузчика свеклы, простого по конструкции, достаточно производительного и доступного в денежном выражении для любого свеклосеющего хозяйства.

Исходя из заданных критериев, наиболее перспективным следует признать предлагаемый нами навесной погрузчик свеклы, внешний вид которого представлен на рисунке 7. Погрузчик навешивается как на переднюю, так и на заднюю навеску трактора класса мощностью двигателя от 180 *л/с* с бесступенчатой коробкой передач, а также может агрегатироваться с энергетическим средством УЭС 2-250 либо погрузчиками «Амкодор». Рабочая ширина захвата машины – до 7 *м*, производительность – до 200 *т/ч*, максимальная погрузочная высота – до 4,5 *м*.

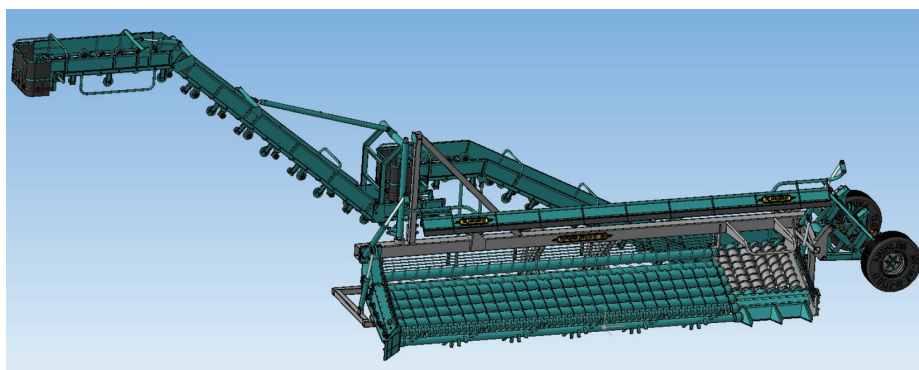


Рисунок 7. – Предлагаемый погрузчик свеклы

Для агрегатирования данного погрузчика в Республике Беларусь имеется 4952 трактора с мощностью двигателя свыше 180 *л.с.*, 2092 универсальных энергетических средства УЭС-2-250 в составе комплекса для заготовки кормов КГ-6-Гомсельмаш, 5100 погрузчиков «Амкодор».

Простота конструкции, возможность агрегатирования с погрузчиками «Амкодор», ценовой фактор (см. таблицу 1) делают погрузчик данной конструкции наиболее доступным и востребованным для сельхозпроизводителей Республики Беларусь.

Заключение

Учитывая занятость в период уборки свеклы тракторов 5 класса на полевых работах, а также отсутствие в тракторах отечественного производства бесступенчатой коробки передач, предлагаемая машина будет разрабатываться под энергетическое средство УЭС 2-250, что позволит:

- исключить необходимость оснащения разрабатываемой машины автономной гидравлической станцией и дополнительными противовесами, что значительно упрощает ее конструкцию, а значит, и стоимость;

- обеспечить необходимое плавное изменение скорости движения до 2,4 м/мин на погрузке;

- обеспечить более полную годовую загрузку энергетического средства в хозяйстве.

Разрабатываемая машина будет оборудована автономной системой смазки, реверсом приемной части, обеспечит подачу свеклы на высоту до 4,5 метров. Производительность погрузчика предусматривается до 1400 т за смену при ширине захвата до 7 м.

УДК 631.331

Поступила в редакцию 03.08.2017

Received 03.08.2017

Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, Д. В. Заяц

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: mehposev@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ПАТЕНТОВАНИЯ ДОЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

В статье на основании анализа патентной информации статистическими методами исследуется уровень патентования дозирующих устройств (высевающих аппаратов) посевных машин.

Ключевые слова: травы, дозирующее устройство, дозирование, посевные машины, патент, тренд, изобретательская активность.

N. D. Lepeshkin, V. V. Mizhurin, D. V. Zajac

RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: mehposev@mail.ru

INVESTIGATION OF THE LEVEL OF PATENTING OF SEEDING DEVICES

In the article, based on the analysis of patent information by statistical methods, the level of patenting of seeding devices (sowing devices) of sowing machines is investigated.

Key words: herbs, seeding device, dosing, seeding machines, patent, trend, inventive activity.

Введение

Одной из основных задач растениеводческой отрасли сельского хозяйства Республики Беларусь является обеспечение животноводства кормами. И если с точки зрения количественного обеспечения животных кормами проблема решается, то обеспечение качественных показателей – задача более трудоемкая. Существует необходимость в усовершенствовании структуры кормовой базы для устранения дефицита белка, ежегодный недостаток которого в республике составляет 18–20 % от потребности [1], что отрицательно сказывается на продуктивности сельскохозяйственных животных.

Решение проблемы обеспечения с.-х. животных сбалансированными по белку кормами возможно за счет применения травяных кормов. Одной из основных составляющих операций возделывания трав является технологический процесс посева, создающий оптимальные условия для роста и развития растений, что способствует повышению урожайности и снижению себестоимости продукции.

Однако обеспечение качественного процесса посева трав затруднено из-за проблем, возникающих при дозировании семян. За качественный показатель дозирования семян в посевной машине отвечает дозирующее устройство. На посевных машинах, которые используются для посева трав в РБ, установлены дозирующие устройства, предназначенные в основном для высева зерновых культур. В их конструкции не учтены особенности физико-механических свойств семян некоторых трав, в частности трудносыпучих. Из-за чего в процессе дозирования семян трав происходит сводообразование, зависание семян, их неустойчивая подача в высевальную систему. Это приводит к неравномерному распределению семян по площади поля, пропускам при посеве, снижению урожайности.

Вопрос разработки дозирующего устройства, которое позволит дозировать семена трудносыпучих трав и их смесей в соответствии с агропотребностями, является актуальным и требующим изучения.

Для оценки существующих технических решений и определения дальнейшего направления совершенствования конструкции дозирующего устройства были проведены патентные исследования.

Основная часть

Объектом патентных исследований являлось дозирующее устройство (высевающий аппарат) посевной машины.

Дозирующее устройство (высевающий аппарат) – элемент высевальной системы посевной машины, предназначенный для дозирования заданного количества семян.

Для исследования уровня патентования дозирующих устройств был проведен отбор патентов и авторских свидетельств по этому направлению.

Отбор документов был произведен по фондам таких стран, как Россия, Германия, США, Япония, Китай, Беларусь, Украина. Патентные документы проанализированы за 20 лет – с 1997 по 2016 год.

Результат отбора документов по годам патентования представлен в таблице 1.

Таблица 1. – Патентование дозирующих устройств

Объект техни- ки и его состав- ные части	Страна подачи заявки	Количество патентов, опубликованных заявок по годам подачи заявки (исключая патенты-аналоги)																				
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Итого
Дозирующее устройство посевных машин	Россия	6	3	8	2	4	6	10	6	4	6	4	3	6	5	2	6	7	3	2	6	99
	Украина	–	–	–	1	–	1	1	–	–	–	–	–	–	–	–	3	–	1	–	–	7
	Китай	–	–	–	2	–	–	1	1	3	–	3	2	2	1	3	2	2	5	1	1	29
	Германия	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	2	1	–	2	–	7
	США	–	1	3	2	–	2	2	–	–	1	–	1	–	1	–	2	1	3	–	–	19
	Япония	–	–	1	–	–	–	–	–	1	1	1	–	–	1	2	–	–	1	–	–	8
	Европейское патентное ведомство	1	–	–	–	–	–	–	–	–	2	3	–	1	1	2	4	1	–	–	–	15
	Беларусь	–	–	–	–	1	1	–	–	1	–	–	2	–	–	–	1	–	–	–	–	6
	Итого патентов и заявок	7	4	12	7	5	10	14	7	9	10	11	8	9	9	11	20	12	13	5	7	190

Для определения темпа роста патентования по странам и тенденций развития технического направления на основе патентной информации используют в основном два метода: количественный и качественный. Первый метод имеет преимущество. Поэтому для выявления изобретательской активности можно построить зависимость [2, с. 18]:

$$N = f(T),$$

где N – число отобранных патентных документов за период с 1997 по 2016 годы;

T – время публикации, в годах.

Для большей наглядности представленных данных объединяем патенты западных стран и стран СНГ. Тогда получаем кривые уровня патентования в странах СНГ и западных странах (рисунок 1).

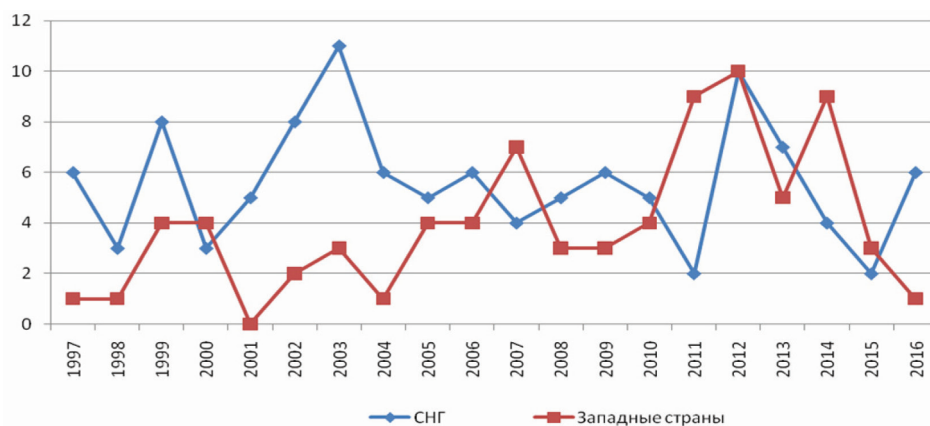


Рисунок 1. – Уровень патентования

Для выявления тенденций изобретательской активности вследствие нестабильности поступления патентных документов по годам публикации (кривая потока патентных документов зигзагообразная) проводим их регрессионный анализ по эмпирической зависимости параболического вида [3, с. 92–98]:

$$y = a + bt + ct^2,$$

где y – зависимая переменная, показывающая аппроксимированное поступление патентных документов по годам;

a, b, c – параметры системы уравнений;

t – порядковый номер года публикации патентного документа при исследуемой глубине поиска.

Численное значение параметров a, b, c определяем методом наименьших квадратов по формулам [4, с. 109–120]:

$$a = \frac{\sum a_t y_t}{M}; b = \frac{\sum \beta_t y_t}{M}; c = \frac{\sum \gamma_t y_t}{M},$$

где $a_t, \beta_t, \gamma_t, M$ – табличные значения, зависящие от глубины поиска патентных документов;

y_t – количество патентных документов по годам.

При глубине поиска $T = 20$ лет по таблице [4, с. 194] находим значение $a_t, \beta_t, \gamma_t, M$. На основании чего находим $\sum a_t y_t, \sum \beta_t y_t, \sum \gamma_t y_t$ отдельно для стран СНГ и западных стран. После этого определяем параметры a, b, c уравнений тренда.

Тогда уравнение тренда с оценочными параметрами для стран СНГ имеет вид:

$$y = -0,0131x^2 + 0,224x + 5,1281. \quad (1)$$

А уравнение тренда с оценочными показателями для западных стран принимает вид:

$$y = -0,0204x^2 + 0,6628x - 0,1333. \quad (2)$$

Тренды, представленные уравнениями (1) и (2) и характеризующие изобретательскую активность стран СНГ и западных стран, показаны на рисунке 2.

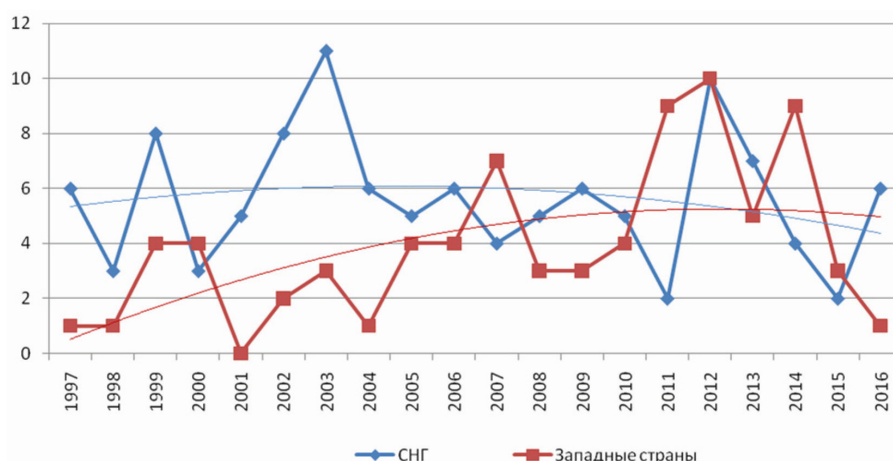


Рисунок 2. – Кривые потока патентных документов и тренды изобретательской активности

Из анализа линий тренда видно, что как в западных странах, так и в странах СНГ происходит снижение патентования дозирующих устройств (высевающих аппаратов).

Кроме того, анализ патентной информации позволил выявить не только тенденции уровня патентования, но и установить ведущие зарубежные фирмы и выпускаемые ими сеялки, в которых использованы перспективные технические решения, а именно дозирующие устройства (высевающие аппараты).

Как аналоги для разработки дозирующего устройства (высевающего аппарата) могут быть использованы технические решения ведущих зарубежных фирм: Sulky (Франция) – сеялка Cergia, на которой дозирующее устройство оснащается комплектом универсальных катушек, предназначенных для высева зерновых и мелкосеменных культур; Fionia (Дания), выпускающей специальный бункер для мелкосеменных культур, который можно устанавливать непосредственно на зерновой бункер посевной машины или на почвообрабатывающие машины для обработки почвы и посева трав, в конструкции дозирующего устройства предусмотрен специальный ворошитель; Lemken (Германия) – сеялка Saphir 8, на которой дозирующее устройство получает привод от электродвигателя.

Заключение

Спад динамики патентования дозирующих устройств (высевающих аппаратов) в западных странах и странах СНГ в настоящее время можно объяснить тем, что из-за продолжительного срока рассмотрения заявок публикации о патентах по ним еще отсутствуют. Следовательно, в течение ближайших лет необходимо продолжать выявлять вновь опубликованные патентные документы по данной теме.

Анализ патентования дозирующих устройств (высевающих аппаратов) посевных машин позволяет сделать вывод о том, что ведущими странами в данной области являются Россия, Китай и США.

Литература

1. Голушко, В. Идеальный корм для КРС / В. Голушко, С. Линкевич, А. Ситько // Белорусское сельское хозяйство. – 2011. – № 12 (116). – 56 с.
2. Почвообрабатывающие машины для почвозащитного земледелия: обзорная информ. / Т. Г. Гурова [и др.]. – М.: ВНИИПИ, 1991. – 100 с. – (Сельское хозяйство).
3. Румшицкий, Л. 3. Математическая обработка результатов эксперимента / Л. 3. Румшицкий. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
4. Четыркин, Е. М. Статистические методы прогнозирования / Е. М. Четыркин. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Статистика, 1977. – 200 с.

В. П. Чеботарев¹, Н. Д. Лепешкин², Н. С. Козлов²

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: kozlov_nikolay@tut.by;

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НОРМАЛИЗАТОРА СТЕРНИ ВЫСОКОСТЕБЕЛЬНЫХ КУЛЬТУР

В статье приводится обоснование установки нормализатора на почвообрабатывающем агрегате со спирально-ножевидным катком, производящего подготовку растительных остатков к измельчению данным катком.

Ключевые слова: спирально-ножевидный каток, нормализатор, растительные остатки, прилагаемое усилие, прогиб стебля, момент инерции, высота установки, мульчирование.

V. P. Chebotaryov¹, N. D. Lepeshkin², N. S. Kozlov²

¹ Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»
Minsk, Republic of Belarus

² RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: kozlov_nikolay@tut.by;

CALCULATION OF PARAMETERS OF THE STUBBLE NORMALISER WITH A HIGH STEM OF CULTURES

The article presents justification for the installation of the normaliser in soil-tilling mashine of spiral-knife roller, which prepares plant residues to the cutting roller.

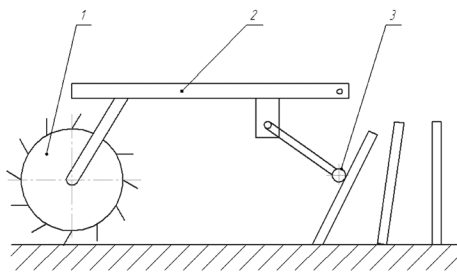
Keywords: spiral-knife roller, normaliser, vegetable residues, applied force, deflection of the stem, moment of inertia, installation height, mulching.

Введение

Для обеспечения качественного измельчения растительных остатков высокостебельных культур (кукурузы, подсолнечника, рапса) спирально-ножевидным катком необходимо провести их подготовку. Стебли должны быть прижаты перед измельчением к поверхности почвы, которая обеспечивает подпор [1, с. 31]. В таком случае они не смогут попасть в пространство между ножами, тем самым повышается вероятность измельчения. Для решения этой проблемы впереди спирально-ножевидного катка был установлен нормализатор, представляющий собой трубу, с возможностью регулирования по высоте относительно почвы.

Результаты исследований

Процесс прогибания оставшегося на корню остатка стебля может происходить следующим образом. Если остаток стебля прогибается до излома, то после снятия нагрузки он не возвращается в исходное положение. При превышении усилия или момента воздействия выше критического происходит его излом или обрыв части корней и последующий наклон по ходу движения к поверхности поля. Для обеспечения качественного перерезания остатков стоящих стеблей скошенной массы и последующего мульчирования необходимо их положить по направлению движения на поверхность поля. При значительном повышении скорости машины остатки стеблей сильнее отклоняются ее рабочими органами, например нормализатором, как показано на рисунке 1.



1 – каток; 2 – рама; 3 – нормализатор
Рисунок 1. – Схема почвообрабатывающего катка с нормализатором

Если упругие свойства этих остатков стеблей окажутся незначительными, то они сломаются при отгибе. При более высоких упругих свойствах стеблей необходимо увеличить рабочую скорость машины.

На одиночный стоящий остаток скошенного стебля длиной l при отгибании нормализатором (рисунок 2) с горизонтальной силой P действуют следующие силы: реакции R_1 и R_2 в корневом закреплении, сила тяжести стебля $G_{СТ}$, сила трения нормализатора по стеблю $F_{ТР}$ и момент сопротивления стебля его изгибу. Момент всех сил, действующих на остаток стебля, относительно точки O будет равен:

$$\sum M_0 = M + F_{ТР} \cdot a - G_{СТ} \cdot b - P \cdot H = 0,$$

где a и b – плечи сил $F_{ТР}$ и $G_{СТ}$ относительно точки O , м;

H – высота расположения нормализатора относительно поверхности поля, м.

Излом или прижатие стебля к почве возможны при:

$$P > \frac{M + F_{ТР} \cdot a - G_{СТ} \cdot b}{H}.$$

Если предположить, что сила тяжести остатка стебля значительно меньше других сил, действующих на стебель, а также что в процессе отгиба толстостебельный остаток стебля не искривляется, тогда

$$P > \frac{M}{H}.$$

Момент сопротивления остатка стебля изгибу M обусловлен физико-механическими свойствами стебля, его корня и почвы. Для конкретных условий он может быть принят постоянной величиной. С другой стороны, изгибающий момент M для сечения стебля с центром в точке $A_1(x, y_1)$ равен моменту силы P относительно этой же точки, взятому со знаком плюс (сила приложена к стеблю справа от сечения и вращает правую его часть по часовой стрелке). Таким образом, изгибающий момент в точке A_1 будет равен:

$$M = P(H - y_1). \quad (1)$$

Дифференциальное уравнение упругой линии стебля в упрощенном виде

$$\frac{d^2x}{dy^2} = \frac{M}{EJ}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости стебля, МПа;

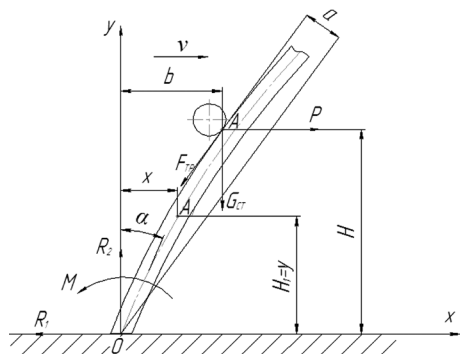


Рисунок 2. – Схема отгиба одиночного нескошенного остатка стебля

J – момент инерции поперечного сечения стебля относительно нейтральной оси, $м^4$.

Подставляя выражение (1) в уравнение (2), получаем дифференциальное уравнение упругой линии стебля в виде

$$\frac{d^2x}{dy^2} = \frac{P}{EJ}(H - y_1). \quad (3)$$

Последовательное двукратное интегрирование выражения (3) позволяет получить его общее решение:

$$\frac{dx}{dy} = -\frac{P}{EJ} \int (H - y) d(H - y) = -\frac{P}{EJ} \cdot \frac{(H - y)^2}{2} + C_1;$$

$$x = \frac{P}{EJ} \cdot \frac{(H-y)^3}{6} + C_1 y + C_2. \quad (4)$$

Постоянные интегрирования определяются из начального условия в точке O , в котором $x = 0$, $y = 0$ и $\frac{dx}{dy} = 0$, согласно следующей системе уравнений:

$$\begin{cases} -\frac{P}{EJ} \cdot \frac{H^2}{2} + C_1 = 0; \\ \frac{P}{EJ} \cdot \frac{H^3}{6} + C_1 \cdot 0 + C_2 = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Решение системы уравнений (5) позволяет получить значение постоянных:

$$C_1 = \frac{P}{EJ} \cdot \frac{H^2}{2}; \quad C_2 = -\frac{P}{EJ} \cdot \frac{H^3}{6}.$$

После подстановки значений постоянных интегрирования в общее решение (4) определяем уравнение упругой линии стебля:

$$x = \frac{P}{EJ} \cdot \frac{(H-y)^3}{6} + \frac{PH^2}{2EJ} \cdot y - \frac{PH^3}{6EJ};$$

$$x = \frac{P}{6EJ} (3H^2 - 3yH^2 + 3y^2H - y^3). \quad (6)$$

Прогиб стебля будет определяться ординатой упругой линии в рассматриваемом сечении. Величина прогиба x на конце стебля находится из уравнения (6) при $y = H$:

$$x = \frac{P}{6EJ} (3H^2 - 3H^3 + 3H^3 - H^3) = \frac{PH^2}{6EJ} (3 - H). \quad (7)$$

Исходя из известных значений модуля упругости для кукурузы $E = 3,3..3,5 \text{ МПа}$ [2, с. 30] и того, что стебель имеет цилиндрическую форму средним диаметром $0,03 \text{ м}$, а его момент инерции будет определяться по формуле:

$$J = \frac{\pi d^4}{64},$$

тогда зависимость (7) может быть представлена в следующем виде:

$$x = 1,2 \cdot PH^2 (3 - H). \quad (8)$$

Для сравнения влияния величины и высоты прикладываемого на остатки стебля усилия на величину его прогиба были построены кривые на основании полученной зависимости (8) (рисунок 3).

Таким образом, с увеличением высоты точки приложения силы с $0,05 \text{ м}$ до $0,2 \text{ м}$ и увеличением прикладываемой силы с 5 до 15 Н отгиб стебля увеличивается от $0,044..0,13 \text{ м}$ до $0,3 \text{ м}$. При этом отгиб стебля до $0,3 \text{ м}$ является максимальным значением, так как средняя высота растительных остатков после

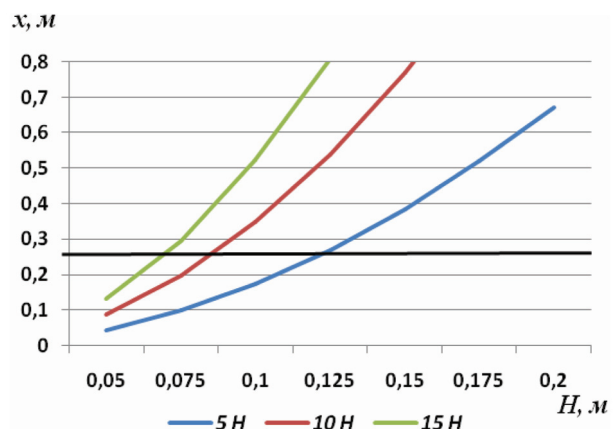


Рисунок 3. – Зависимость прогиба остатка стебля кукурузы от величины прикладываемой силы и высоты ее приложения

уборки высокостебельных культур достигает 0,3 м. Кроме того, чтобы растительные остатки высокостебельных культур прижать к почве, необходимо обеспечить наименьшую высоту приложения к стеблю и наибольшее усилие.

Заключение

1. Для качественного измельчения растительных остатков высокостебельных культур спирально-ножевидным катком необходимо обеспечить резание их с подпором. Для этого впереди катка закрепляют нормализатор, представляющий собой трубу, с возможностью регулирования по высоте относительно почвы. Это обеспечивает наименьшее усилие элементов катка на перерезание стеблей за счет подпора, в качестве которого выступает почва.

2. Анализ теоретических исследований показал, что для прижатия растительных остатков к почве необходимо выбирать минимальную высоту точки приложения нормализатора к стеблю и максимальное усилие. Так, для послеуборочного измельчения стеблей кукурузы спирально-ножевидным катком минимальная высота приложения составляет 5 см, а усилие – не менее 15 Н.

Литература

1. Кравчук, В. И. Функциональные испытания тяжелой дисковой бороны с лыжным устройством для сваливания и предварительной деформации растений / В. И. Кравчук, В. П. Давыдчук // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 1. – С. 30–33.

2. Резник, Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н. Е. Резник. – М.: Машиностроение, 1975. – С. 311.

УДК 631.171:633/635

Поступила в редакцию 10.08.2017

Received 10.08.2017

Н. С. Козлов¹, В. П. Чеботарев²

¹РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: kozlov_nikolay@tut.by

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ СПИРАЛЬНО-НОЖЕВИДНЫМ КАТКОМ ПОСЛЕ УБОРКИ ВЫСОКОСТЕБЕЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В статье приведено теоретическое исследование влияния конструктивных параметров спирально-ножевидного катка на его тяговое сопротивление в процессе работы.

Ключевые слова: каток, сопротивление, растительные остатки, количество ножей, диаметр катка, измельчать, угол установки, коэффициент сопротивления, длина ножа, ширина захвата, вес катка.

N. S. Kozlov¹, V. P. Chebotaryov²

¹RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: kozlov_nikolay@tut.by;

²Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»

Minsk, Republic of Belarus

ENERGYESTIMATION OF THE PROCESS OF GRINDING OF VEGETABLE RESIDUES SPIRAL-KNIFE ROLLER HIGH-STEM AGRICULTURAL CROPS

The article presents of theoretical studies of the influence of parameters of spiral-knife roller on its traction resistance in during work.

Keywords: roller, strength, vegetable residues, number of knives, diameter of the roller, grind up, angle of installation, coefficient of resistance, length of knife, working width, roller weight.

Введение

После уборки высокостебельных сельскохозяйственных культур возникает необходимость измельчения их растительных остатков [1, с. 5]. Для решения этой проблемы был разработан и изготовлен спирально-ножевидный каток [2, с. 61]. Кроме того, чтобы обеспечить качественное измельчение, а именно перед проходом катка прижать растительные остатки к почве, он оснащен нормализатором растительных остатков. Нормализатор выполнен в виде трубы с возможностью регулировки по высоте относительно почвы [3, с. 1].

В процессе работы сельскохозяйственного агрегата возникает тяговое сопротивление его рабочих органов. Оно оказывает существенное влияние на энергозатраты входе выполнения технологической операции. Поэтому тяговое сопротивление рабочих органов необходимо учитывать при разработке новых почвообрабатывающих агрегатов.

Тяговое сопротивление спирально-ножевидного катка, предназначенного для послеуборочного измельчения растительных остатков высокостебельных культур, можно разделить на сопротивление, вызванное конструкцией катка, и сопротивление растительных остатков измельчению. Поэтому необходимо провести теоретическое исследование с целью определения влияния физико-механических свойств растительных остатков и конструктивных параметров спирально-ножевидного катка на его тяговое сопротивление.

Результаты исследований

Для определения тягового сопротивления гладких катков была выведена формула Грандуане – Горячкина [4, с. 280]:

$$F_K = 0,863 \sqrt{\frac{G^4}{q \cdot b \cdot D_K^2}}, \quad (1)$$

где $G = m_K g$ – сила тяжести катка, H ;

m_K – масса катка, $кг$;

g – ускорение свободного падения, $м/с^2$;

q – коэффициент объемного смятия почвы, $Н/м^3$;

b – ширина захвата катка, $м$;

D_K – диаметр катка, $м$.

Так как зависимость (1) определяет тяговое сопротивление гладких катков, то для спирально-ножевидных катков необходимо дополнить ее поправочным коэффициентом K_C :

$$F_K = 0,863 \sqrt{\frac{G^4}{q \cdot b \cdot D_K^2}} \cdot K_C,$$

где $K_C = K_K + K_{II}$ – поправочный коэффициент;

K_K – коэффициент, характеризующий сопротивление, вызванное конструкцией катка;

K_{II} – коэффициент, характеризующий сопротивление перерезания растительных остатков.

Тогда

$$F_K = 0,863 \sqrt{\frac{G^4}{q \cdot b \cdot D_K^2}} \cdot (K_K + K_{II}).$$

Коэффициент K_K зависит от конструктивных параметров катка. В первую очередь оказывает влияние количество ножей и количество фактически участвующих в резании ножей. Тогда коэффициент K_K можно представить выражением:

$$K_K = f \cdot \frac{z_{ф.р.}}{z}, \quad (2)$$

где f – коэффициент скольжения ножа по почве;

$z_{ф.р.}$ – количество фактически режущих ножей катка, $шт.$;

z – количество ножей катка, $шт.$

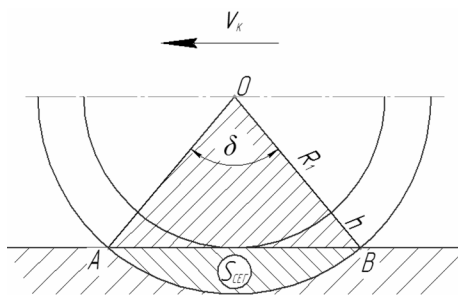


Рисунок 1. – Схема к определению количества фактически режущих ножей

Процесс резки растительных остатков спирально-ножевидным катком будет происходить с момента прижатия к почве ножом и до момента выглубления его из почвы. Количество ножей катка, участвующих в процессе резания на данном отрезке, будет определять количество фактически режущих ножей $z_{ф.р.}$. На рисунке 1 точка А показывает начало резания с одновременным вхождением в почву, а точка В – окончание резания и выглубление.

Анализ схемы на рисунке 1 показывает, что количество фактически режущих ножей катка $z_{ф.р.}$ будет ограничиваться площадью сегмента $S_{СЕГ}$. Тогда количество фактически режущих ножей катка $z_{ф.р.}$ определим по формуле:

$$z_{ф.р.} = \frac{S_{СЕГ}}{l_{р.н.} \cdot b_{ножа}},$$

где $l_{р.н.}$ – расстояние между концами ножей, м;

$b_{ножа}$ – толщина ножей катка, м.

Площадь сегмента будет равна разности площади сектора и площади треугольника OAB (рисунок 1), образованного между ножами радиусами R (равными сумме радиуса катка R_1 и высоты ножа h) и углом δ :

$$S_{СЕГ} = S_{СЕК} - S_{OAB} = \frac{\pi R^2 \delta}{360} - \frac{R^2 \sin \delta}{2} = \frac{R^2}{2} \left(\frac{\pi \delta}{180} - \sin \delta \right).$$

Расстояние между концами ножей $l_{р.н.}$ определяется дугой АВ между двумя соседними ножами. Тогда

$$l_{р.н.} = \frac{\pi R \delta}{180}.$$

Тогда количество фактически режущих ножей катка $z_{ф.р.}$ будет равно:

$$z_{ф.р.} = \frac{\frac{R^2}{2} \left(\frac{\pi \delta}{180} - \sin \delta \right)}{\frac{\pi R \delta}{180} \cdot b_{ножа}} = \frac{R \left(\frac{\pi \delta}{2} - 90 \cdot \sin \delta \right)}{\pi \cdot \delta \cdot b_{ножа}}. \quad (3)$$

После подстановки зависимости (3) в уравнение (2) коэффициент K_K будет представлен следующим виде:

$$K_K = \frac{f \cdot R \left(\frac{\pi \delta}{2} - 90 \cdot \sin \delta \right)}{\pi \cdot \delta \cdot b_{ножа} \cdot z}.$$

На тяговое сопротивление спирально-ножевидного катка во время работы оказывают влияние не только конструктивные особенности, но и сопротивление обрабатываемого материала, вызванное в процессе его измельчения. Так, при встрече ножа с растительными остатками возникает сопротивление перерезания, которое происходит на одновременно работающих ножах. Исходя из того, что ножи установлены под углом относительно продольной оси катка и имеют форму спирали, резание будет осуществляться только на активной длине лезвия ножа.

Тогда коэффициент K_{II} будет равен:

$$K_{II} = \frac{P_{РЕЗ} \cdot S_{АКТ}}{F_{ИН} \cdot b_{МП}}, \quad (4)$$

где $P_{РЕЗ}$ – сила сопротивления резанию, Н;

$S_{АКТ}$ – активная длина ножа, м;

$F_{ИН}$ – сила инерции, создаваемая ножом спирально-ножевидного катка, H ;

$b_{МР}$ – ширина междурядий, m .

Активную длину ножа, участвующую в процессе резания, найдем из выражения:

$$S_{АКТ} = \frac{b / \cos \alpha}{n_{РЯД}} = \frac{b}{\cos \alpha \cdot n_{РЯД}}, \quad (5)$$

где $n_{РЯД}$ – количество обрабатываемых рядков, *шт.*

Подставив формулу (5) в выражение (4) и проведя соответствующие преобразования, получим следующее выражение:

$$K_{П} = \frac{b \cdot P_{РЕЗ}}{F_{ИН} \cdot b_{МР} \cdot n_{РЯД} \cdot \cos \alpha}.$$

В конечном виде тяговое сопротивление спирально-ножевидных катков будет выглядеть:

$$F_K = 0,863 \sqrt[3]{\frac{G^4}{q \cdot b \cdot D^2}} \cdot \left(\frac{f \cdot R \left(\frac{\pi \delta}{2} - 90 \cdot \sin \delta \right)}{\pi \cdot \delta \cdot b_{ножа} \cdot n} + \frac{b \cdot P_{РЕЗ}}{F_{ИН} \cdot b_{МР} \cdot n_{РЯД} \cdot \cos \alpha} \right). \quad (6)$$

Из полученного выражения (6) для определения тягового сопротивления спирально-ножевидного катка можно сделать вывод, что наибольшее влияние оказывают конструктивные параметры – радиус катка, количество ножей и их угол установки на катке, толщина и длина ножа, ширина захвата катка, а также его вес, при увеличении которого увеличивается тяговое сопротивление катка.

Заключение

Анализ проведенного теоретического исследования показал, что на энергозатраты при работе спирально-ножевидного катка существенное влияние оказывает тяговое сопротивление. Полученная зависимость для определения тягового сопротивления спирально-ножевидного катка показала, что на тяговое сопротивление влияют конструктивные параметры катка, а также сила сопротивления перерезанию растительных остатков.

Литература

1. Спирин, А. П. Мульчирующая обработка почвы / А. П. Спирин. – М.: ВИМ, 2001. – 134 с.
2. Козлов, Н. С. Новые возможности повышения качества послеуборочной обработки агрофонов высокостебельных культур / Н. С. Козлов, Н. Д. Лепешкин // Перспективная техника и технологии в АПК: докл. междунар. науч. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Минск, 20–22 мая 2015 г. / УО «Белорусский государственный аграрный технический университет». – Минск, 2015. – С. 61–63.
3. Каток-измельчитель растительных остатков: пат. 11297 Респ. Беларусь, МПК А 01 В 29 / 04 / Н. Д. Лепешкин, В. П. Чеботарев, Н. С. Козлов; заявитель РУП «НПЦНАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № u20160237; заявл. 27.07.2016.; опубл. 02.11.2016 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 1. – С. 136.
4. Горячкин, В. П. Собрание сочинений в трех томах / В. П. Горячкин. – М.: Колос, 1968. – Т. 1. – 720 с.

Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, Д. В. Заяц

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

**АНАЛИЗ ДОЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПОСЕВНЫХ МАШИН
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТИ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ДЛЯ ВЫСЕВА ТРУДНОСЫПУЧИХ СЕМЯН ТРАВ**

В статье произведен анализ дозирующих устройств посевных машин, на его основании определено направление дальнейшего совершенствования их конструкции для высева трудносыпучих семян трав.

Ключевые слова: посевные машины, дозирующее устройство, трудносыпучие травы, семена, дозирование, сводообразование.

N. D. Lepeshkin, V. V. Mizhurin, D. V. Zajac

*SUE «SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: mehposev@mail.ru*

**ANALYSIS OF DOSING DEVICES OF SEEDING MACHINES
AND DETERMINATION OF THEIR WAY OF IMPROVING THE HARD-FLOWING SEEDS OF HERBS**

The analysis of the dosing devices of seeding machines is made in the article, the direction of further improvement of their design for sowing hard-flowing grass seeds is determined on its basis.

Keywords: sowing machines, dosing device, hard flowing grasses, seeds, dosing, arbor formation.

Введение

В настоящее время как за рубежом, так и в Республике Беларусь для посева трав применяется обширный парк посевных машин с механической и пневматической высевающими системами, предназначенных для высева семян зерновых культур, трав и их смесей, а также для одновременного высева семян и удобрений. Однако данные посевные машины предназначены в основном для посева зерновых культур и не учитывают особенностей физико-механических свойств семян некоторых трав, в частности трудносыпучих. Из-за чего в процессе высева, а именно при дозировании семян трав, происходят сводообразование, зависание семян, их неустойчивая подача в высевающую систему, которая превышает агротехнически допустимую (более 10 %) [1]. Последствиями этого являются нерациональный расход семенного материала, снижение урожайности, что, в свою очередь, уменьшает эффективность использования посевных машин.

За качественный показатель устойчивости высева трудносыпучих семян трав во всех высевающих системах отвечает дозирующее устройство. Поэтому для определения направления совершенствования дозирующих устройств для высева трудносыпучих семян трав необходимо произвести анализ их конструкций, применяемых на посевных машинах.

Основная часть

Дозирование семян является важным элементом процесса высева. От работы дозирующих устройств во многом зависят устойчивость и стабильность высева, повреждение и равномерность подачи семян в высевающую систему. Поэтому к дозирующим устройствам предъявляются следующие требования:

- постоянство высева;
- равномерность высева между устройствами (при одновременном использовании нескольких);
- простота установки на норму высева различных культур;
- отсутствие реагирования на высоту слоя семян в бункере, на уклоны местности и толчки;
- минимальное повреждение семян;
- универсальность;
- надежность работы и простота обслуживания.

Все дозирующие устройства по принципу действия разделяются на два основных типа: механические и пневматические.

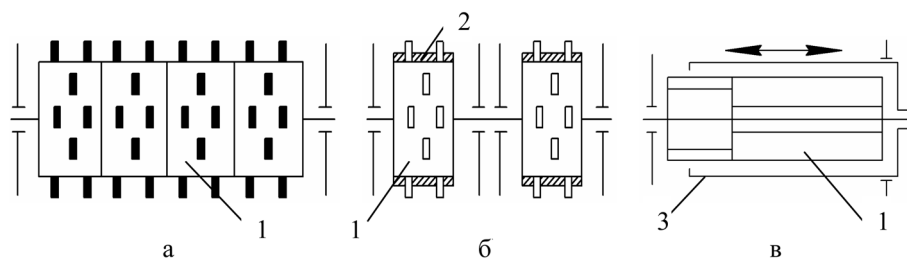
Дозирующие устройства механического принципа действия.

Дозирующее устройство катушечного типа получило наиболее широкое применение и устанавливается на посевных машинах ведущих фирм: Vaderstad, Kverneland, Kuhn, Horsch, Lemken, сеялках семейства СЗ. Оно простое в конструкции, надежно в работе, легко устанавливается на норму высева, универсально.

Дозирующие устройства катушечного типа различаются конструктивным исполнением и габаритными размерами (рисунок 1). Например, в сеялках Morris (Канада) применяют наборные катушки 1 штифтового типа, заключенные в блок по несколько штук в каждом (рисунок 1а).

В сеялках Tive фирмы Overums Bruk (Швеция) для высева мелких семян используют специальные накладки 2, уменьшающие высоту штифтов катушки 1 (рисунок 1б).

Дозирующее устройство сеялок Assord (Германия) снабжено для высева мелких семян вкладышами, уменьшающими объем желобков, а рабочая длина катушки 1 изменяется цилиндрической задвижкой 3 (рисунок 1в). Такая конструкция делает данное устройство наиболее универсальным среди дозаторов катушечного типа.



а) блок катушек фирмы Morris; б) штифтовые катушки сеялки Tive фирмы Overums Bruk; в) катушечный дозатор сеялок Assord

1 – катушка; 2 – накладка; 3 – цилиндрическая задвижка

Рисунок 1. – Конструкции дозирующих устройств катушечного типа

Однако общим существенным недостатком дозирующих устройств катушечного типа является невозможность применения их в чистом виде (без дополнительных устройств) для дозирования трудносыпучих семян трав.

Шнековые дозирующие устройства находят применение в основном в транспортных установках. С данным типом дозирующего устройства известны только сеялки Chinnook 1203 и Bourgault 138 (Канада) (рисунок 2).

Шнековые дозирующие устройства более энергоемки по сравнению с другими [2, с. 28–32].

На сеялках фирмы Leon (Канада), Symonds (Австралия), ССТ-3 (Россия) дозирующие устройства выполнены в виде ленточного транспортера (рисунок 3).

Ленточные транспортеры 1, устанавливаемые в днище бункера 2, обеспечивают высокую производительность и надежность высева. Норма высева изменяется в зависимости от величины открытия выгрузного окна при подъеме или опускании заслонки 3.

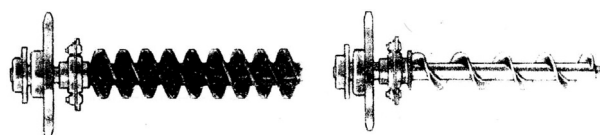
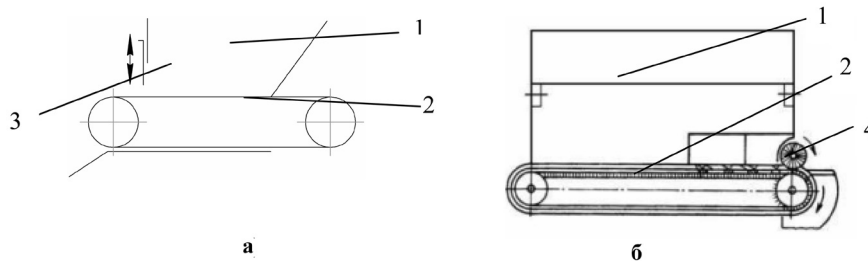


Рисунок 2. – Питатель-дозатор сеялки Chinnook 1203 (Канада)



а) норма высева регулируется заслонкой; б) норма высева регулируется валиком
1 – лента; 2 – бункер; 3 – заслонка; 4 – валик

Рисунок 3. – Схема ленточного дозирующего устройства

Как шнековые, так и ленточные дозирующие устройства менее пригодны для высева мелко-семенных культур, к которым относятся семена трав.

Мотыльковое дозирующее устройство в настоящее время в посевной технике практически не применяется, хотя оно значительно проще катушечного. Семена высеваются через отверстия в дне или стенке бункера под действием вращающегося над отверстием лопастного диска (мотылька) (рисунок 4).

Количество высеваемого материала зависит от высоты насыпки семян в бункере, уклона местности и толчков. Для высева семян трав непригодно.

Внутриреберчатое дозирующее устройство применяется для высева зерновых и некоторых крупносеменных культур (рисунок 5).

Данное устройство имеет некоторое преимущество перед катушечным дозатором. Так, при

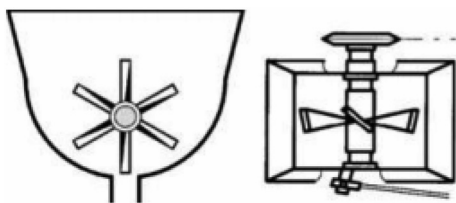
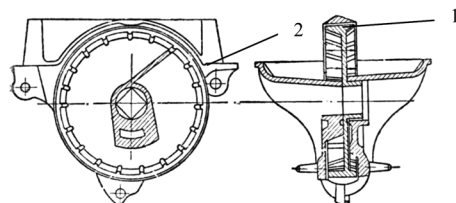
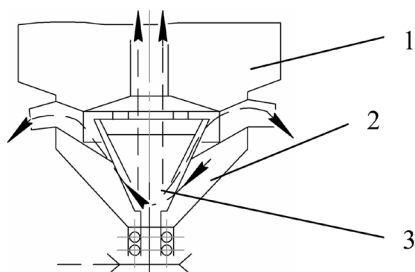


Рисунок 4. – Мотыльковое дозирующее устройство



1 – диск; 2 – корпус дозатора

Рисунок 5. – Внутриреберчатое дозирующее устройство



1 – бункер; 2 – корпус; 3 – ротор

Рисунок 6. – Схема дозирующего устройства сеялки «Скотланд»

работе внутриреберчатого дозирующего устройства, в котором активное движение слоя семян сведено к минимуму, коэффициент вариации, характеризующий равномерность высева, составит 95,1 %, у катушечных дозирующих устройств он равен 100,63 % [4]. Однако данное устройство недостаточно универсально.

Центробежное дозирующее устройство представляет собой ротор коническо-цилиндрической формы (рисунок 6). В боковой стенке ротора 3 выполнены дозирующие отверстия, размеры которых по высоте регулируются заслонкой.

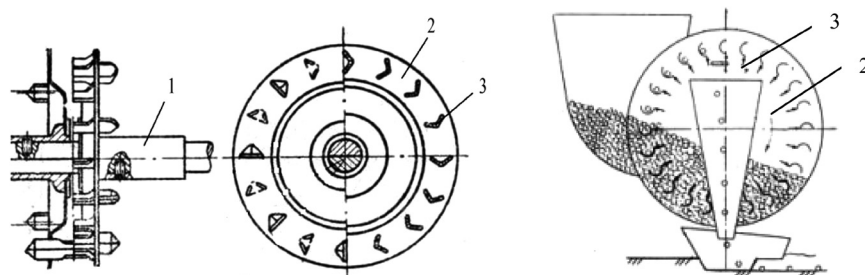
Такие устройства устанавливаются на сеялке фирмы «Скотланд» (Норвегия). Оно меньше травмирует семена по сравнению с катушечным дозирующим устройством.

Так, при норме высева 300 кг/га дробление пшеницы составляет 0,1 %, ржи – 0,3 % [5]. Недостатком является то, что норма высева изменяется при изменении скорости движения посевной машины.

Ложечное дозирующее устройство (рисунок 7) снабжено высевающими дисками 2 с ложечками 3.

Ложечное дозирующее устройство превосходит (коэффициент вариации, характеризующий равномерность высева, 89,8 % [6]) катушечное и мотыльковое устройства, но имеет недостаток – весьма чувствительно к неровностям рельефа поля, к толчкам. Количественный высев зависит от уровня семян в бункере.

Одним из перспективных направлений совершенствования дозирующих устройств механического принципа действия многие исследователи [7] считают использование вибрации для выноса семян в семяпровод.



1 – вал; 2 – диск; 3 – ложки

Рисунок 7. – Ложечное дозирующее устройство

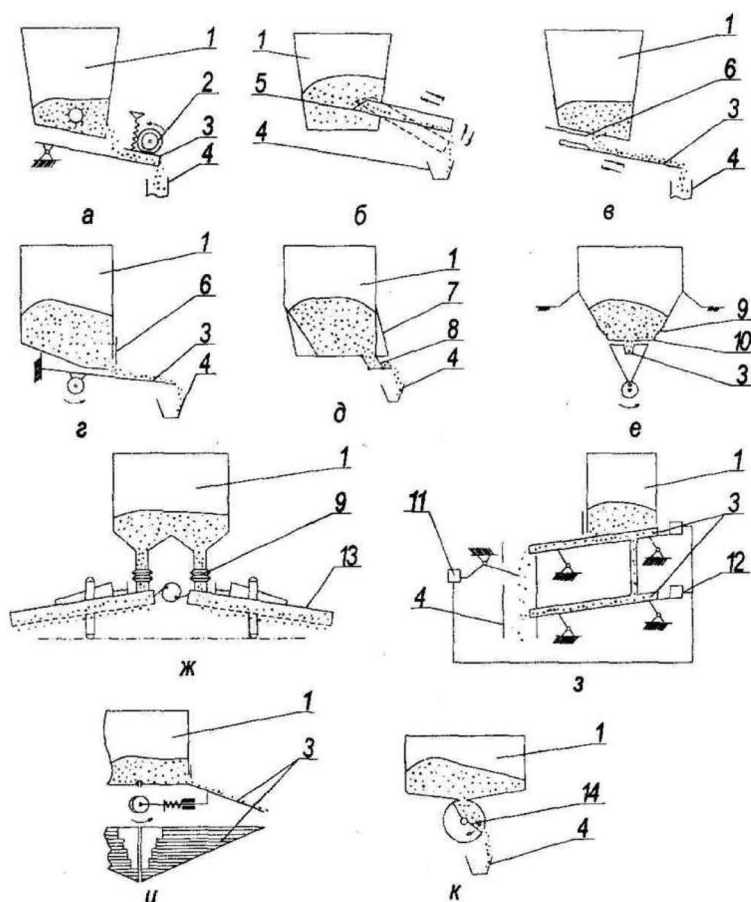
Преимущества вибрационного дозирования перед остальными видами дозирования:

а) высокочастотные колебания делают систему устойчивой по отношению к внешним факторам;

б) создаются значительные силы, способные разрушать любую связь между отдельными элементами тела.

Существуют различные способы создания вибрации: электромагнитный, механический, гидравлический, пневматический.

На рисунке 8 представлены некоторые схемы вибрационных дозирующих устройств различной конструкции.



а – В.А. Жилиговского; б – Н.Е. Кудрявцева; в – Н.В. Антонова; г – Н.В. Сегеды; д – сеялка МЭС-1 (Румыния); е – Р.Г. Кузнецовой; ж – Б.Г. Холина; з – В.П. Иванова; и – разработанного в США; к – разработанного в АНИТИМ

1 – бункер (корпус); 2 – храповик; 3 – лоток; 4 – воронка; 5 – труба; 6 – заслонка; 7 – подвеска; 8 – регулятор нормы; 9 – гибкая связь; 10 – дно с отверстием; 11 – датчик плотности потока; 12 – пневмопривод; 13 – трубчатая штанга с отверстиями; 14 – виброднище

Рисунок 8. – Схемы вибрационных дозирующих устройств

Академик В.А. Жилиговский в 1933 г. создал вибрационный дозатор (рисунок 8а), представляющий собой вибрирующий наклонный угловой лоток 3, в который из высевающего аппарата поступают семена, располагаются в одну линию на его дне, а затем сходят с него равномерным непрерывным потоком.

Челночный дозатор конструкции Н.Е. Кудрявцева (рисунок 8б) предназначен для высева семян зерновых культур. Он очень удобен для высева малосыпучих и крупных семян.

В дозирующем устройстве Н.В. Антонова (рисунок 8в) высев семян производится при просыпании их через выпускное отверстие бункера 1.

Дозирующее устройство конструкции Н.В. Сегеды (рисунок 8г) имеет упругую закрепленную консольно пластинку. К пластинке жестко крепится лоток 3 треугольного сечения и вибратор. Размеры выпускного отверстия регулируются заслонкой 6. Угол наклона пластинки с лотком к горизонту выбирается меньше, чем угол трения семян об их поверхность, чтобы не было самопроизвольного высыпания.

Посевная машина МЖС-1 (Румыния) (рисунок 8д) оснащена вибрирующим бункером 1, вибратором и разбросным диском. Материал под действием вибрации высыпается из бункера через щели дозатора, поступает в приемный раструб, а оттуда на разбрасывающий диск.

Вибрационное дозирующее устройство (рисунок 8ж) посевной машины отличается тем, что путем увеличения интенсивности подачи материала к высевающим отверстиям по всей длине штанги 13 повышается его надежность.

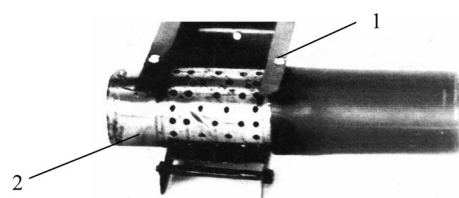
Вибрационное дозирующее устройство (рисунок 8з) состоит из бункера 1 с пневмоприводом 12 с основной и дополнительной заслонками, вибрационных лотков 3, сообщающихся между собой каналом. В семяпроводе между лотками смонтирован датчик плотности потока семян 11, кинематически связанный посредством струйного элемента – «сопло-приемного канала» – и пневматического усилителя мощности с пневмоприводом дополнительного лотка. Датчик плотности потока семян выполнен в виде двуплечего рычага, один конец которого расположен в зоне семяпровода, а другой подпружинен и размещен между соплом и приемным каналом струйного элемента.

Вибрационное устройство для дозирования туков, разработанное в США (рисунок 8и), состоит из бункера 1, эксцентрикового вибратора и двух плоскостей, представляющих собой виброконвейеры со срезанными по диагонали кромками и совершающих возвратно-поступательное движение.

Вибрационное дозирующее устройство ОАО АНИТИМ (рисунок 8к) выполнено в виде короткого цилиндра с боковыми стенками. Корпус 1 фланцем крепится вместо катушечного высевающего аппарата к дну семенного ящика посевной машины. Внутри корпуса 1 на валу установлено виброднище 14, которое совершает вращательные колебания. На цилиндрической поверхности корпуса 1 выполнено отверстие, имеющее форму равностороннего треугольника с направленной вверх вершиной [7].

Недостатком всех вибрационных дозаторов является зависимость устойчивости высева от уклона местности, невозможность дозирования сыпучих тел толщиной меньшей, чем максимальный размер посевного материала, что может привести к забиванию дозатора; они недостаточно универсальны.

Дозирующие устройства пневматического принципа действия.



1 – корпус; 2 – труба

Рисунок 9. – Дозирующее устройство конструкции РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

Известно дозирующее устройство, разработанное в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» (рисунок 9).

В нем в роли катушки выступает труба 2 с отверстиями, через которые проходит воздух – благодаря воздушному потоку сохраняется побуждающее воздействие на семена. Применение пневматических дозирующих устройств позволяет свести к минимуму прерывистость высева, а также производить процесс высева без активного движения слоя семян.

Недостатками пневматических дозирующих устройств являются необходимость поддержания постоянного давления воздушного потока, сложность установки нормы высева семян. При высеве трудносыпучих семян трав из-за особенностей их физико-механических свойств практически невозможно добиться устойчивости высева данным дозирующим устройством.

Заключение

Анализ дозирующих устройств показал, что, несмотря на большое разнообразие типов дозирующих устройств, наибольшее распространение на современных посевных машинах получили дозирующие устройства катушечного типа для посева зерновых и травяных культур.

Однако высев трудносыпучих семян трав катушечным дозирующим устройством затруднен вследствие сводообразования, зависания семян и неравномерного заполнения семенами желобков катушки, что приводит к неустойчивости высева. Дальнейшее совершенствование конструкции самой катушки не представляется возможным, так как одним из требований, предъявляемых к дозирующим устройствам, является универсальность.

Поэтому дальнейшим направлением совершенствования дозирующего устройства катушечного типа для высева трудносыпучих семян трав является введение в его конструкцию активирующего элемента, обеспечивающего равномерное заполнение желобков катушки, что позволит дозировать трудносыпучие семена трав в соответствии с агротехническими требованиями.

Литература

1. Машины посевные и посадочные. Правила установления показателей назначения: ТКП 078–2007. – Введ. 06.08.2007. – Минск: Беларус. научн. ин-т внедрения новых форм хозяйствования в АПК, 2007. – 40 с.
2. Карягдыев, Н. Н. Разработка пневмоструйного тукорассеивающего органа кузовных машин с эжекторным питателем: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Н. Н. Карягдыев. – Харьков, 1989. – 186 с.
3. Зуев, Ф. Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях / Ф. Г. Зуев. – М.: Колос, 1976. – 344 с.
4. Семенов, А. Н. Зерновые сеялки / А. Н. Семенов. – Киев: Машгиз, 1959.
5. Сторна, И. Г. Травмирование семян и его предупреждение / И. Г. Сторна. – М.: Колос, 1972. – 160 с.
6. Кардашевский, С. В. Высевающие устройства посевных машин / С. В. Кардашевский. – М.: Машиностроение, 1973. – 197 с.
7. Клишин, А. И. Тенденция развития вибрационных высевающих аппаратов / А. И. Клишин, Е. В. Красовский, С. А. Тарасов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2004. – № 2. – С. 156–161.

УДК 631.3/.17:635.21

Поступила в редакцию 25.08.2017
Received 25.08.2017

А. В. Ленский, А. А. Жешко

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: alex_lensky@mail.ru; azeshko@gmail.com

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ В РАЗЛИЧНЫХ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В настоящей работе выполнен анализ различных технологий возделывания картофеля, установлены их преимущества и недостатки, а также возможность применения в сельскохозяйственных предприятиях республики.

Обоснованы общие и специализированные технологические приемы, используемые при возделывании картофеля, рассмотрены способы подготовки почвы, посадки, ухода за посадками и уборки конечной продукции.

Результаты исследований направлены на формирование информационной базы, что позволит оперативно проводить экономическую оценку вышеуказанных технологий, а также сравнительный анализ машин и оборудования, в том числе и зарубежных, используемых при возделывании картофеля.

Ключевые слова: тенденции развития картофелеводства, технологии возделывания картофеля, комплекс машин для возделывания картофеля, анализ технологий возделывания картофеля, экономическая эффективность технологий возделывания картофеля.

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

TECHNOLOGICAL FEATURES OF POTATO CULTIVATION FOR VARIOUS SOIL CONDITIONS

In the present work, the analysis of various potato growing technologies has been carried out, their advantages and disadvantages have been identified, as well as the possibility of application in agricultural enterprises of the republic.

The general and specialized technological methods used in the cultivation of potatoes are substantiated, the methods of soil preparation, planting, care of planting and harvesting of final products are considered.

The results of the research are aimed at the formation of an information base, which will allow us to promptly conduct an economic evaluation of the above-mentioned technologies, as well as a comparative analysis of machines and equipment, including foreign ones, used in the cultivation of potatoes.

Keywords: trends in the development of potato cultivation, potato growing technologies, a complex of potato cultivation machines, analysis of potato cultivation technologies, economic efficiency of potato cultivation technologies.

Введение

В мировой практике существует множество разнообразных технологий возделывания картофеля, различающихся уровнем агротехники, возможностью применения в различных природно-климатических условиях, способом посадки и пр. Наиболее распространенные технологии возделывания картофеля представлены на рисунке 1 в виде схемы.

Анализ результатов исследований [1] показывает, что на средне- и тяжелосуглинистых почвах хорошие результаты по продуктивности и параметрам комбайновой уборки показывают западноевропейские технологии возделывания картофеля. По сравнению с традиционными технологиями они обеспечивают существенное повышение продуктивности, снижение в 1,5...2,0 раза засоренности вороха и степени повреждения клубней. Однако эти технологии требуют применения большого количества средств химической защиты растений и строгого соблюдения технологической дисциплины.

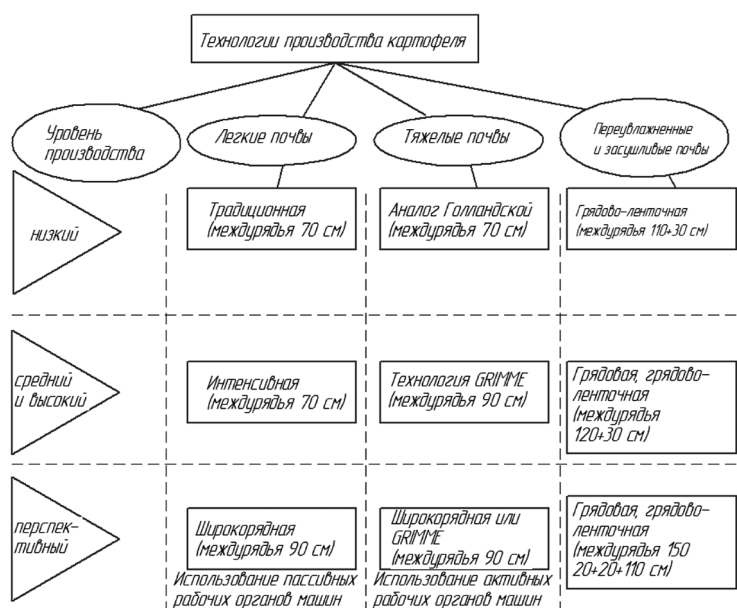


Рисунок 1. – Схема технологий производства картофеля

Основная часть

Возделывание картофеля на почвах с повышенным содержанием гумуса (голландская технология). Рассмотрим основные факторы, определяющие эффективность возделывания картофеля по голландской технологии. Рост урожайности картофеля зависит от правильно выбранного чередования культур. Оптимальным решением является отказ от широкого набора культур и переход на специализированный полевой севооборот с очень короткой ротацией с таким расчетом, чтобы картофель возвращался на прежнее место *не ранее чем через три года* (например, однолетние травы – озимая пшеница – картофель – кукуруза или другая пропашная культура). Такой севооборот исключает возможное заражение клубней нематодой [2, 3].

Основная задача голландской технологии – обеспечить рыхлую и оптимальную структуру почвы при минимальном числе проходов агрегатов по полю. Принципиальное ее отличие от других технологий состоит в том, что *рыхлый слой почвы создается не под клубнем, а над ним*.

Отличительная особенность голландской технологии – сокращение до минимума количества механических обработок при уходе за посадками.

После формирования высокообъемных гребней (23–25 см) за один проход агрегата между-рядную обработку почвы в дальнейшем не проводят, а против сорняков применяют гербициды [2, 4].

При посадке очень важно выдержать технологические требования по соблюдению равномерности и одинаковой глубины, а также, чтобы между уплотненным слоем почвы и клубнем был слой рыхлой почвы в 1–2 см, который сыграет важную роль при уборке.

Посадку картофеля проводят любыми 2–6-рядными сажалками с междурядьем 0,75 м, причем одновременно с выполнением посадки можно выполнить протравливание клубней, что технически осуществимо на предлагаемых машинах (например, при помощи оборудования для протравливания, опционально устанавливаемого на отечественной сажалке СК-4).

Необходимо отметить, что голландская технология отличается малой энергоемкостью и отвечает принципам минимизации обработок почвы. В ней большое внимание уделяется семеноводству и селекции, а непосредственно семенной картофель должен быть высокой репродукции, сортовой чистоты и всхожести. Голландские сорта отличаются дружностью созревания, повышенной интенсивностью развития, быстрым формированием клубней. В основе голландской технологии возделывания картофеля лежит соблюдение технологической дисциплины, то есть слаженность всех работ по обеспечению высокой урожайности. Особенностью является и использование для обработки почвы орудий с фрезерными рабочими органами.

Возделывание картофеля на почвах, засоренных камнями (гриммовская технология). Технология Grimme применяется в основном на тяжелых, каменистых почвах. Наличие значительного количества камней в почве снижает товарность выращенной продукции, исключает механизированную уборку картофеля из-за многочисленных повреждений клубней и значительных затрат на переработку картофельного вороха. Поэтому в данных условиях применяют технологию возделывания картофеля с предварительной сепарацией слоя почвы, в котором размещаются картофельные клубни.

Технология Grimme основана на использовании специальных сельскохозяйственных машин: грядообразователя (рисунок 2); сепаратора каменистой почвы (рисунок 3); картофелесажалки и картофелеуборочного комбайна (рисунок 4) [4, 5, 6].

Весной перед посадкой специальная машина – камнеудалитель – сепарирует из почвы камни и комки, укладывая их в заранее подготовленные борозды. Таким образом, после посадки картофеля любые почвообрабатываю-



Рисунок 2. – Грядообразователь Grimme BF [3]



Рисунок 3. – Сепаратор камней Grimme CS 150 [3]

щие операции полностью исключаются во избежание выноса камней из междурядий в зону клубня.

Данная технология позволяет при посадке, уходах за посадками и уборке использовать тракторы «Беларус1221», снизить энергозатраты при комбайновой уборке за счет уменьшения объема сепарируемой почвы на 38–44 %, снизить расход посадочного материала, уменьшить плотность почвы в результате минимизации проводимых обработок, повысить товарность и качество картофеля.

Отрицательной стороной технологии является тот факт, что возделывание картофеля на

каменистых почвах приводит к значительному износу механизмов и большому количеству поломок техники. Особенно эффективна грядовая технология на избыточно увлажненных почвах, а ее применение в таких условиях позволяет повысить урожайность картофеля на 17–25 %.

Весной проводится нарезка гряд глубиной до 60 см и последующая их сепарация. Ширина захвата камнеуборочных машин-сепараторов составляет 1 или 3 гряды. Крупные камни накапливаются в специальном бункере и свозятся на край поля. Мелкие камни, размером менее 5 см, укладываются на дно гряды и прикатываются колесами трактора. Почва сепарируется на глубину до 30 см. Посадка картофеля проводится специальными 2-, 4- или 6-рядными сажалками с одновременным протравливанием клубней, формированием объемных гребней высотой 30–35 см и заделкой клубней на 15–18 см от вершины гребня. Рабочая колея составляет 180 см, расстояние между рядами в гряде – 75 см, между грядками – 105 см. Густота посадки зависит от целей возделывания картофеля. На продовольственные цели достаточно высаживать 35–40 тысяч клубней на 1 гектар.

Через 3–5 дней после посадки, когда почва полностью осядет, вносится гербицид почвенного действия, что полностью исключает последующие междурядные обработки. Перед уборкой ботву обрабатывают десикантами с целью улучшения условий работы картофелеуборочных комбайнов.

Система удобрений, а также защиты посадок от вредителей и болезней аналогична голландской технологии при возделывании картофеля с шириной междурядий 70–75 см.

Таким образом, можно отметить, что применение технологии Grimme позволяет получать на засоренных камнями землях высокие урожаи картофеля отличного качества. При этом почва на глубину пахотного горизонта значительно освобождается от камней, на таких участках в последующие годы можно с успехом выращивать как зерновые, так и пропашные и технические культуры.

Возделывание картофеля на мелиорированных землях и в условиях повышенной влажности (грядово-ленточная технология). Широкоярусные и грядовые технологии являются новы-



а



б

Рисунок 4. – Картофелесажалка Grimme GL 34 Т (а) и картофелеуборочный комбайн Grimme SE 260 (б) [3]

ми ресурсосберегающими технологиями. Широкоярядные технологии выращивания картофеля с шириной междурядий 90 см имеют преимущества на высокоплодородных почвах для уровня урожайности свыше 25 т/га. Потенциальная урожайность при использовании данных технологий составляет более 80 т/га. При увеличении ширины междурядий с 70 (75) до 90 см прирост урожайности картофеля составляет 30–45 %. На супесчаных почвах эта технология предполагает использование машин с пассивными рабочими органами для обработки почвы и ухода за посадками, а на суглинистых почвах – с активными рабочими органами. При этом расход топлива на единицу продукции снижается до 25 %, эффективнее используются новые энергонасыщенные тракторы [1, 7].

Преимуществами грядковых систем являются более высокая степень влагозадержания при сухой погоде, меньшая опасность дождевого смыва (или эрозии) и уменьшение степени позеленения клубней картофеля, больший объем почвы, приходящийся на одно растение, что улучшает структуру распределения клубней и создает одинаковые условия для их формирования.

Недостатки технологии: затруднено высыхание и нагревание гряд, что может сместить уборку картофеля на поздние сроки, больший объем почвы, пропускаемый через картофелеуборочный комбайн, что может привести к повреждению клубней, увеличение затрат ручного труда и снижение эффективности уборки на тяжелых почвах с камнями и почвенными комками. Также исключается уборка картофеля с гряд однорядными сельскохозяйственными машинами.

Важное *достоинство грядовой и грядово-ленточной технологий* – их адаптивность к существующему шлейфу машин и высокий коэффициент размножения клубней. Для выращивания картофеля на грядах можно переоборудовать машины, предназначенные для реализации технологий с шириной междурядий 70 см, или приобрести полностью переоборудованные комплекты, в том числе укомплектованные специальными сажалками.

Производственные испытания грядовой и грядово-ленточной технологий выращивания картофеля продемонстрировали их пригодность на различных типах почв: суглинистых, легкосуглинистых и супесчаных.

Грядовая и грядово-ленточная технологии более устойчивы к неблагоприятным воздействиям окружающей среды. В условиях избыточного увлажнения на грядах снижается опасность повреждения клубней в результате удушья, поскольку они находятся выше дна борозды, к тому же гряды меньше размываются ливневыми осадками. В условиях засухи или в периоды высоких температур воздуха массивная гряда меньше перегревается и медленнее пересыхает, чем гребни при традиционных технологиях выращивания. Высокую эффективность эта технология показывает при специальном выращивании крупных клубней (например, для производства картофеля фри).

Кроме того, грядовая технология позволяет в 1,2–2 раза повысить коэффициент размножения ценного семенного материала и получить урожайность товарного картофеля на 40–80 % выше по сравнению с технологией с междурядьями 70 (75) см в условиях повышенного и недостаточного увлажнения.

Эта технология позволяет снизить объемы пестицидов, используемых на посадках. Таким образом, открываются возможности создания экологически безопасных и альтернативных технологий для получения экологически чистой продукции. В условиях глобального изменения климата грядовые технологии по сравнению с гребневыми являются более перспективными.

Возделывание картофеля в условиях орошения. Методов полива посадок картофеля существует несколько. Для небольших объемов производства наиболее эффективным на сегодняшний день является капельный полив, представляющий собой сеть укладываемых на поверхности почвы шлангов (магистрального и распределительных), по которым вода под давлением подается через отверстия непосредственно к корневой системе вегетирующих растений [4–6].

К преимуществам капельного орошения относятся:

- Экономия поливной воды, которая при правильном ведении работ может достигать до 50 % по сравнению с обычными способами.
- Метод капельного орошения картофеля способствует повышенной аэрации почвы, поскольку она не переувлажняется, а почвенный кислород полностью обеспечивает потребность корней растения в дыхании.

- Капельное орошение картофеля способствует быстрому формированию усиленной разветвленной корневой системы, которая способна более интенсивно потреблять влагу и питательные вещества из грунта.

- Вместе с капельным поливом непосредственно в прикорневую зону вносятся необходимые для растений удобрения. В засушливых условиях это самый эффективный способ внесения в грунт питательных веществ в период роста растения.

- Поскольку при капельном орошении листья картофеля не увлажняются, то сводится к минимуму возможность распространения заболеваний, фунгициды и инсектициды находятся на листе более длительное время.

При применении данного метода полива опрыскивание картофеля, обработку почвы и сбор урожая можно производить в любое время, поскольку междурядья на грядах всегда остаются сухими, не происходит образования почвенной корки, не разрушается структура грунта [4, 7, 8].

В то же время следует отметить, что такая система орошения является трудоемкой и материалоёмкой, поэтому ее нецелесообразно применять при крупнотоварном производстве картофеля.

Отдельным видом орошения является внутрипочвенное (подпочвенное) орошение. В этом случае воду подают в активный слой почвы (внутрь почвы) к корням растений по увлажнителям, уложенным на глубину 35–60 см (ниже пахотного слоя).

Внутрипочвенное орошение основано на действии всасывающей силы почвы, поэтому его можно применять на почвах с хорошими капиллярными свойствами и нельзя на песчаных и супесчаных почвах. По способу подачи воды внутрипочвенные системы делят на вакуумные или адсорбционные с капиллярным увлажнением (вода поступает к растениям благодаря всасывающим свойствам почвы), низконапорные с капиллярно-гравитационным увлажнением (вода распределяется по сети самотеком) и напорные с гравитационно-капиллярным увлажнением (вода подается в почву при создании искусственного напора). Система внутрипочвенного орошения состоит из источника, головного водозабора (насосной станции), водорегулирующего блока (подкормщика), магистрального и распределительных трубопроводов, внутрипочвенных увлажнителей.

Наибольшее применение нашли перфорированные увлажнители, которые закладывают навесным бестраншейным трубокладчиком на глубину 0,45–0,6 м с расстоянием 1,25–1,5 м (не более 2 м) друг от друга, длиной 50–200 м.

Рекомендуют в качестве увлажнителей применять полиэтиленовые трубы диаметром 20–40 мм с толщиной стенок 1,5–2 мм. Основные преимущества внутрипочвенного орошения следующие: возможность поддерживать влажность активного слоя почвы на уровне капиллярной влагоемкости; структура пахотного горизонта не разрушается поливами, не образуется почвенная корка; уменьшается испарение с поверхности почвы и запасы воды сохраняются дольше, чем при поливе дождеванием; полив автоматизирован, затраты труда при этом незначительны; нет препятствий для механизации всех сельскохозяйственных работ, так как отсутствуют временная оросительная и поливная сеть; уменьшается количество сорняков; возможно использовать сточные воды и тепловые отходы ТЭС для выращивания раннего картофеля.

Недостатки внутрипочвенного орошения: высокая стоимость строительства системы; невозможность использования на легких почвах; слабое увлажнение верхнего слоя почвы, что ухудшает условия всходов и приживаемости растений; большие потери воды на фильтрацию в горизонты ниже активного слоя почвы; необходимость осветления оросительной воды во избежание заиливания оросительных труб.

Таким образом, система внутрипочвенного орошения достаточно сложная и дорогостоящая, что сдерживает ее применение в технологиях возделывания картофеля.

В целях снижения себестоимости полива может применяться прицепная дождевальная установка, агрегатируемая с трактором, который обеспечивает ее транспортировку в требуемый сектор поля (при этом производится размотка шланга с барабана). Вода под давлением подается по шлангу к гидранту, через который равномерно распыляется на определенном секторе поля. По мере полива при помощи гидротурбины осуществляется постепенное наматывание шланга обратно на барабан, редуктор регулирует скорость наматывания и тем самым дозу полива [4, 5, 9–12].

Заключение

Анализ технологических особенностей возделывания картофеля позволил сделать следующие выводы:

1. Голландская технология отличается малой энергоемкостью и отвечает принципам минимизации обработок почвы. В ней большое внимание уделяется семеноводству и селекции, а непосредственно семенной картофель должен быть высокой репродукции, сортовой чистоты и всхожести. В основе голландской технологии возделывания картофеля лежит соблюдение технологической дисциплины, то есть слаженность всех работ по обеспечению высокой урожайности. Особенностью является и использование для обработки почвы орудий с фрезерными рабочими органами. Голландская технология предусматривает большие финансовые затраты, в том числе на покупку специальной техники, дорогостоящих гербицидов от сорных растений и пр. Кроме того, возделывание картофеля по голландской технологии возможно лишь на очень плодородных почвах, поэтому земли нужно постоянно удобрять, что также приводит к росту материальных затрат.

2. Применение технологии Grimme позволяет получать на засоренных камнями землях высокие урожаи картофеля отличного качества. При этом почва на глубину пахотного горизонта значительно освобождается от камней, и на таких участках в последующие годы можно с успехом выращивать как зерновые, так и пропашные и технические культуры. Отрицательной стороной технологии является тот факт, что возделывание картофеля на каменистых почвах приводит к значительному износу механизмов и большому количеству поломок техники. Особенно эффективна технология Grimme на избыточно увлажненных почвах, а ее применение в таких условиях позволяет повысить урожайность картофеля на 17–25 %.

3. Особенности грядовой технологии является более высокая степень влагозадержания при сухой погоде, меньшая опасность дождевого смыва (или эрозии) и уменьшение степени позеленения клубней картофеля, больший объем почвы, приходящийся на одно растение, что улучшает структуру распределения клубней и создает одинаковые условия для их формирования. В то же время данные системы не лишены отрицательных сторон: затруднено высыхание и нагревание гряд, что может сместить уборку картофеля на поздние сроки, больший объем почвы, пропускаемый через картофелеуборочный комбайн, что может привести к повреждению клубней, увеличение затрат ручного труда и снижение эффективности уборки на тяжелых почвах с камнями и почвенными комками. Также исключается уборка картофеля с гряд однорядными сельскохозяйственными машинами.

4. Картофель является культурой, предъявляющей достаточно высокие требования к содержанию влаги в почве, причем эти требования могут различаться в зависимости от фазы вегетации. Для небольших объемов производства наиболее эффективным на сегодняшний день является капельный полив, представляющий собой сеть укладываемых на поверхности почвы шлангов (магистрального и распределительных), по которым вода под давлением подается через отверстия непосредственно к корневой системе вегетирующих растений. Отдельным видом орошения является внутрипочвенное (подпочвенное) орошение, когда воду подают в активный слой почвы (внутрь почвы) к корням растений по увлажнителям, уложенным на глубину 35–60 см (ниже пахотного слоя). В то же время такие системы являются весьма дорогостоящими и технически сложными, что не позволяет широко использовать их в крупнотоварном производстве. Наибольшее распространение в производственной практике получил вариант орошения при помощи «разматываемых катушек с гидрантом».

Литература

1. Индустрия картофеля: (справочник) / Российская акад. с.-х. наук, ГНУ Всероссийский науч.-исслед. ин-т картофельного хоз-ва им. А. Г. Лорха, ГНУ Всероссийский науч.-исслед. ин-т крахмалопродуктов, ГНУ Всероссийский науч.-исслед. ин-т механизации агрохимического обслуживания сельского хозяйства, КУП Чувашской Республики «Агро-Инновации»; под ред. В. И. Старовойтова. – Изд. 2-е, доп. – Москва: НПФ АгроНИР, 2013. – 272 с.
2. Шайкин, В. Г. Особенности возделывания и хранения картофеля в Голландии / В. Г. Шайкин // Картофель и овощи. – 1999. – № 6. – С. 78.

3. Grimme / Planting technology [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.grimme.com>. – Дата доступа: 31.07.2017.
4. Коротченков, А. А. Эффективные приемы повышения продуктивности картофеля в повторных посадках Центрального Черноземья: дис... канд. с.-х. наук: 06.01.01 / А. А. Коротченков. – Курск, 2012. – 155 с.
5. Настольная книга картофелевода / С. А. Турко [и др.] // под ред. С. А. Турко; РУП «Науч.-практ. центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству». – Минск, 2007. – 165 с., ил.
6. Минсельхозтехника Полтава. Статьи // Прогрессивная технология производства картофеля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kruchkov.com.ua>. – Дата доступа: 25.05.2017.
7. Возделывание картофеля в индивидуальном секторе: рекомендации / С.А. Банадысев [и др.]. – Минск, 1998. – 48 с.
8. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур. Сб. отрасл. регламентов. – Минск: Белорус.наука. – 2005. – С. 160–194.
9. Павлович, А. А. Современные технологии и технические средства для возделывания, уборки и хранения картофеля: аналит. обзор / А. А. Павлович, А. Л. Рапинчук, С. А. Банадысев. – Минск. – 2000. – 52 с.
10. Справочник картофелевода / Под ред. Н. А. Дорожкина, З. А. Дмитриевой, А. Ф. Богдановского. – Минск: Ураджай, 1989. – 304 с.
11. Прямов, С. Б. Усовершенствование технологии выращивания, уборки, хранения и товарной подготовки картофеля в условиях крупнотоварного производства при орошении: дис. ... канд. с.-х. наук: / С. Б. Прямов; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева. – Москва, 2016.
12. Машинные технологии и техника для производства картофеля. – М.: Агроспас, 2010. – 316 с.

УДК 631.362.3:633.491

Поступила в редакцию 13.10.2017
Received 13.10.2017

Д. И. Комлач¹, В. Н. Еднач², Д. Н. Бондаренко²

¹ РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
² УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
email: komlach.d@mail.ru;
val-e@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАРТОФЕЛЕСОРТИРОВАЛЬНОЙ МАШИНЫ С КОМБИНИРОВАННОЙ КАЛИБРУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

В статье приведен сравнительный анализ современных калибрующих поверхностей, представлен расчет сравнительной экономической эффективности машины с комбинированной калибрующей поверхностью и серийно выпускаемых машин РК-1100 и МК-15, с учетом сопряженных операций, в базовой технологии послеуборочной обработки и калибровки клубней картофеля.

На основании анализа выполненных расчетов установлено, что калибрующая поверхность с продольным расположением вальцов обеспечивает высокое качество разделения клубней картофеля на фракции, при этом достигается экономия средств в результате снижения затрат на электроэнергию, реновацию, ремонт, техническое обслуживание и повышается качество калибрования.

Ключевые слова: картофель, клубни, калибрование, сортировка, ролики, фракции, показатели.

D. I. Komlach¹, V. N. Ednach², D. N. Bondarenko²

¹ RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
² Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: komlach.d@mail.ru;
val-e@mail.ru

DETERMINATION OF ECONOMIC EFFICIENCY OF GRADING MACHINE FOR POTATOES WITH COMBINED CALIBRATION SURFACE

The article provides comparative analysis of modern calibration surfaces, the calculation of comparative economic efficiency of the machine combined bearing surface with commercially available machines RC-1100 and MC-15 taking into account the paired transactions in the underlying technology of post-harvest handling and

calibration of potato tubers. Based on the analysis of the performed calculations it is established that the bearing surface with longitudinal rollers provides high-quality separation of potato tubers into factions, while achieving savings by reducing costs of electricity, renovation, repair, maintenance and improvement of the quality of the calibration.

Keywords: potatoes, tubers, calibration, sorting, rollers, fractions, indices.

Введение

В соответствии с Государственной программой развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы предусмотрено увеличение объема производства картофеля до 5,6 млн тонн при росте урожайности 309 *ц/га*, при этом предусматриваются развитие и модернизация овощехранилищ.

В результате анализа применяемых в настоящее время технологий переработки установлено, что на потребительские свойства товарного картофеля существенное влияние оказывает процесс послеуборочной обработки (очистка, разделение на фракции, закладка на хранение). Недостатками в технологии послеуборочной обработки являются низкая точность разделения клубней на фракции и высокий уровень повреждений, наносимых клубням рабочими органами.

При производстве картофеля основные потери урожая наблюдаются при хранении. Прежде всего, это связано с условиями хранения: с высокой влажностью и низкой температурой, способствующими развитию болезнетворных бактерий и микроорганизмов. Как правило, причиной заражения клубней является повреждение целостности кожуры картофеля при уборке, перевалках и послеуборочной доработке.

Во всех странах, занимающихся производством картофеля, при послеуборочной доработке используются картофелесортировальные пункты. Наиболее производительны и надежны в эксплуатации машины с роликовой калибрующей поверхностью, однако они наносят значительные повреждения клубням. Также широкое распространение получили калибраторы с сетчато-транспортными рабочими органами, но они обладают существенным недостатком – низкой удельной производительностью.

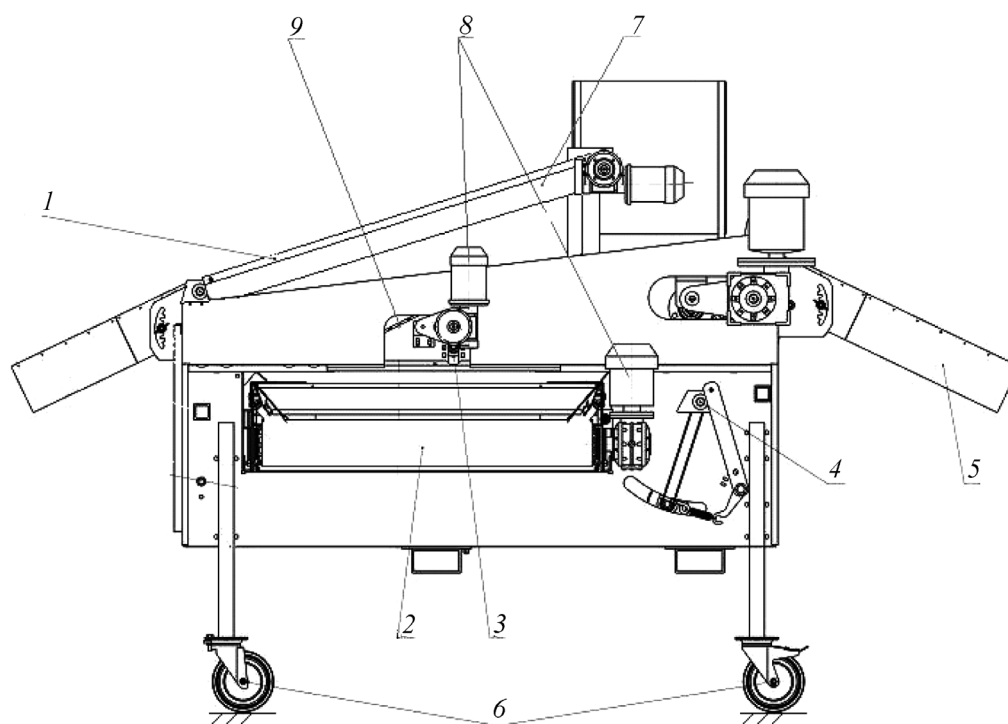
Повышение производительности и снижение уровня механических повреждений, наносимых клубням при сортировке и калибровке, может быть достигнуто посредством комбинации роликовых и сетчатых калибрующих поверхностей. Учитывая тот факт, что удельный объем клубней крупной фракции возрастает с увеличением урожайности и в среднем составляет более 30 %, выделение крупной фракции в начале технологического процесса значительно уменьшит нагрузку при отделении средней и мелкой фракций. Кроме того, исследованиями установлено, что степень повреждений клубней зависит от времени их контакта с активными рабочими органами. Следовательно, в отличие от базовых технологий, когда крупные товарные клубни вынуждены последовательно проходить зоны калибровки мелкой и средней фракций, получая значительные повреждения, предложенное нами решение выделить первоначально крупную фракцию предотвратит значительную часть повреждений.

Основная часть

Данная задача решена путем разработки калибрующей поверхности, образованной продольно расположенными роликами с пропорционально изменяющейся частотой вращения от центра к периферии. Разработанная роликовая поверхность устанавливалась на базовую машину для калибровки картофеля МК-15 с сетчатой калибрующей поверхностью транспортного типа.

Машина состоит из следующих основных частей (рисунок 1): рамы 1, выгрузного транспортера мелкой проходящей фракции 2, встряхивателя 3, механизма натяжения 4, лотка отвода крупной и лотка отвода средней фракций 5, колесного хода 6, роликовой калибрующей поверхности с механизмом регулировки угла наклона 7, электрооборудования 8, включающего пульт управления и четыре электромотора с редукторами, ячеистого транспортера 9.

Машина для калибровки картофеля устанавливается на ровную площадку при помощи колесного хода 6 и фиксируется тормозными устройствами. Поступающие клубни картофеля по-



- 1 – рама; 2 – выгрузной транспортер мелкой проходящей фракции; 3 – встряхиватель;
 4 – механизм натяжения ячеистого транспортера; 5 – отводящий лоток; 6 – колесный ход;
 7 – роликовая калибрующая поверхность с механизмом регулировки угла наклона;
 8 – электрооборудование; 9 – ячеистый транспортер

Рисунок 1. – Схема машины для калибрования клубней картофеля с комбинированной калибрующей поверхностью

даются на верхнюю роликовую калибрующую поверхность 7. Под действием составляющей силы тяжести, направленной вдоль роликов, клубни крупной фракции движутся в нижнюю часть поверхности. Для стабилизации скорости движения клубней по поверхности ролики через один имеют спиральную навивку. При вращении спираль толкает клубни неправильной формы в направлении схода или притормаживает, круглые вращающиеся ролики способствуют изменению ориентации клубня относительно щели.

Клубни мелкой и средней фракций проходят сквозь щели между роликов калибрующей поверхности 7 и попадают на поверхность ячеистого транспортера 9, частота колебаний которого под воздействием встряхивателя 3 регулируется пультом управления.

Клубни, размеры которых меньше размера калибрующих ячеек, проваливаются и попадают на выгрузной транспортер мелкой (проходящей) фракции 2. Откалиброванный картофель средней фракции, не провалившийся через ячеистый транспортер, попадает в лоток 5.

Расчет экономических показателей использования спроектированной машины с комбинированной калибрующей поверхностью произведен по методике экономической оценки новой техники (ТКП151–2008 (02150)) [1] с использованием нормативно-справочных материалов и действующих тарифных ставок оплаты труда механизаторов, а также цен на электроэнергию на 20.09.2017 г. Для сравнения использовались данные испытаний машины с разработанной роликовой поверхностью. В качестве аналога для эксплуатационно-технологической оценки при калибровке картофеля приняты две наиболее подходящих по конструкции и выполняемым операциям базовых машины: установка калибровочная РК-1100 [2] и машины МК-15, установленные в паре [3].

С целью исключения влияния технологических отказов на эффективность использования машины с разработанным калибратором в сравнении с серийными были взяты нормативные коэффициенты.

Расчет показателей производится с учетом сопряженных операций в базовой технологии послеуборочной обработки и калибровки клубней картофеля: загрузки картофельного вороха

в бункер; отделения примесей (растительных и почвенных остатков); разделения клубней на фракции; отделения некондиционных клубней на переборочном столе; загрузки клубней в контейнеры, сетки либо подачи к месту хранения.

Согласно первой операции базовой технологии, загрузка клубней картофеля в бункер осуществляется при использовании всех сравниваемых сортировок. В расчетах используется серийная модель приемного бункера.

Для определения влияния качества калибрования клубней картофеля на расчет экономической эффективности использования машин для калибровки картофеля используем сумму издержек от потерь продукции, повреждения и засоренности.

Общую стоимость одной тонны откалиброванного картофеля можем определить, зная цену и удельный вес каждой фракции после калибрования от общей массы полученного продукта.

Цена Π_j^i доли j -ой фракции, выделенной в ходе калибрования, при работе i -ой машины может быть определена как

$$\Pi_j^i = \Pi_j \cdot Y_j^i / 10^2,$$

где Π_j — цена клубней картофеля j -ой фракции, руб./т;

Y_j^i — доля картофеля, выделенного в j -ую фракцию i -ой машиной при калибровании, %.

Долю клубней картофеля, выделенных в j -ую фракцию в ходе калибрования, определим из суммарной массы картофеля всех фракций после калибрования.

$$Y_j^i = M_j \cdot 10^2 / (M_k + M_c + M_m),$$

где M_j — масса клубней картофеля j -ой фракции, т;

M_k — масса клубней картофеля, выделенных в крупную фракцию, т;

M_c — масса клубней картофеля, выделенных в среднюю фракцию, т;

M_m — масса клубней картофеля, выделенных в мелкую фракцию, т.

Издержки от потерь клубней крупной, средней и мелкой фракций представляют собой невозвратимые потери продукта:

$$I_{np}^i = X_n^i \cdot (\Pi_k^i + \Pi_c^i + \Pi_m^i) / 10^2,$$

где X_n^i — потери картофеля при калибровании, %;

Π_k^i — цена доли клубней картофеля крупной фракции, руб./т;

Π_c^i — цена доли клубней картофеля семенной фракции, руб./т;

Π_m^i — цена доли клубней картофеля мелкой фракции, руб./т.

Измененная цена Π_j^i реализации более дорогих клубней картофеля с учетом доли их фракции, выделенной в ходе калибрования, может быть определена как

$$\Pi_j^i = (\Pi_j - \Pi_0) \cdot Y_j^i / 10^2,$$

где Π_0 — цена, по которой мы вынуждены реализовать клубни картофеля j -ой фракции (должна быть меньше исходной цены), руб./т.

В данном случае повреждения клубней картофеля крупной и средней фракций приводят к необходимости его реализации по меньшей стоимости как технического на переработку. При этом клубни мелкой фракции также реализуем на переработку. Измененная цена клубней крупной и средней фракций определена как

$$\Pi_k^i = (\Pi_k - \Pi_m) \cdot Y_k^i / 10^2,$$

где Π_c — цена клубней картофеля семенной фракции, руб./т;

Π_m — цена клубней картофеля мелкой фракции, руб./т;

Y_k^i — доля клубней картофеля, выделенных в крупную фракцию в ходе калибрования, %.

$$C_c^i = (C_c - C_m) \cdot Y_c^i / 10^2,$$

где C_c – цена клубней картофеля семенной фракции, руб./т;

Y_c^i – доля клубней картофеля, выделенных в среднюю фракцию в ходе калибрования, %.

$$H_o^i = X_o^i \cdot (C_k^i + C_c^i) / 10^2,$$

где X_o^i – повреждения картофеля рабочими органами калибратора, %.

Издержки от засоренности, учитывающие потери от перехода клубней более дорогой фракции в дешевую, могут быть определены путем учета точности разделения клубней на фракции. Большая часть засоренности крупной фракции вызвана попаданием в ее состав клубней средней фракции. Засоренность мелкой фракции также вызвана попаданием клубней средней фракции, следовательно, клубни средней фракции реализуются по меньшей стоимости. В данном случае учитывается то, что средняя фракция является семенной и может быть реализована по более выгодной цене. При этом учитываем допустимое содержание примесей в более дорогой фракции, соответствующее ее назначению.

$$H_z^i = C_c \cdot \left((100 - K_{fk}^i) \cdot Y_k^i + (100 - K_{fm}^i) \cdot Y_m^i \right) / 10^4,$$

где K_{fk}^i – точность выделения клубней крупной фракции, %;

K_{fm}^i – точность выделения клубней мелкой фракции, %.

Исходные данные для расчета экономических показателей выполнения процесса с применением проектируемой машины для калибровки картофеля и базовых машин МК-15, установленных в паре, для последовательного выделения мелкой, средней и крупной фракций картофеля, а также базовой машины РК-1100 [2] приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Исходные данные к расчету экономической эффективности

Наименование показателя	Значения показателей		
	Базовая машина МК-15 (пара)	Базовая машина РК-1100	Проектируемая
Наименование операции	Калибровка картофеля		
Обслуживающий персонал, чел. (кол-во/разряд)	I/ IV	I/ IV	I/ IV
Производительность, т/ч:			
– сменного времени	8,95	10,00	10,80
– эксплуатационного времени	8,95	10,00	10,80
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	0,14	0,17	0,12
Цена электроэнергии, руб./кВт·ч	0,106	0,106	0,106
Балансовая цена машины (без НДС), руб.	20833	42800	21700
Коэффициент отчислений на:			
– амортизацию	0,125	0,125	0,125
– текущий ремонт и техническое обслуживание	0,135	0,135	0,135
Годовая загрузка машины, ч	140	140	140

Результаты исследований

Результаты расчета экономических показателей выполнения процесса с применением проектируемой машины для калибровки картофеля и базовых МК-15 и РК-1100 приведены в таблице 2.

Экономия средств при эксплуатации достигается в результате снижения затрат на электроэнергию, реновацию, ремонт, техническое обслуживание и повышение качества калибрования.

Заключение

1. Установлено, что калибрующая поверхность с продольным расположением валцов обеспечивает высокое качество разделения клубней картофеля на фракции. Качественные показатели работы соответствуют агротехническим требованиям и ТКП151–2008 (02150). В результате полевых испытаний установлено: точность выделения клубней картофеля крупной фракции

Таблица 2. – Результаты расчета показателей экономической эффективности

Наименование показателя	Значения показателей		
	Базовая машина МК-15	Проектируемая	Базовая машина РК-1100
Затраты труда, чел.-ч/т	0,11	0,09	0,1
Затраты на оплату труда, руб./т	0,07	0,06	0,07
Затраты в фонд соц. защиты и страхование, руб./т	0,02	0,02	0,02
Затраты на электроэнергию, руб./т	0,02	0,01	0,02
Затраты на техническое обслуживание и ремонт, руб./т	2,24	1,94	4,13
Затраты на реновацию, руб./т	2,08	1,79	3,82
Удельные прямые эксплуатационные затраты, руб./т	30,23	15,05	22,79
Удельные капиталовложения, руб./т	3,33	2,87	6,11
Зональная годовая наработка машины, т	1253	1512	1400
Прямые эксплуатационные затраты на годовой объем работ, руб.	37878	22756	31906
Балансовая цена машины, руб.	20833	21700	42800
Приведенные затраты на единицу наработки, руб./т	33,56	17,92	28,9
Годовой приведенный эконом. эффект, руб.	23648		16602
Годовая экономия затрат труда, чел.-ч	30,24		15,12
Срок окупаемости абсолютных капиталовложений, лет	0,95		1,86
Степень снижения затрат труда, %	18		10
Степень снижения расхода электроэнергии, %	13		30
Капитализированная стоимость нового калибратора, руб.	94463		72783
Годовая экономия себестоимости механизированных работ, руб.	22952		11703

находилась в интервале от 95 до 97 %, точность средней фракции – от 86 до 91 %, мелкой – от 89 до 99 %, уровень повреждений клубней картофеля рабочими органами калибратора не превышал 1,6 %

2. В результате проведенных хозяйственных испытаний машины с экспериментальной калибрующей поверхностью в сравнении с поверхностью калибровок (пары машин) МК-15 и РК-1100 экономический эффект составил соответственно:

- годовой приведенный экономический эффект от эксплуатации новой машины – 23648 руб. и 16602 руб.;
- срок окупаемости капитальных вложений – 0,95 и 1,85 года.

Литература

1. Сельскохозяйственная техника. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей: ТКП 151–2008(02150). – Введ. 01.02.2009. – Минск: Минсельхозпрод Республики Беларусь, 2009. – 20 с.
2. Машина калибровочная РК-1100 // Eznan [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://eznan.by/our-production/predprodajnaa-podgotovka/rk-1100>. – Дата доступа: 18.06.2017.
3. Протокол № 117 Б 1/8-2014 ИЦ приемочных испытаний машины для калибровки картофеля МК-15. – Привольный: ИЦ ГУ «Белорусская МИС», 2014.

А. Н. Юрин¹, В. В. Викторович¹, А. Д. Чечеткин²

¹РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: anton-jurin@rambler.ru; lab_plodoyagoda@mail.ru

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ АГРЕГАТА САМОХОДНОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО АСУ-6

В статье приводятся результаты выполненных исследований по обоснованию конструкции плодуборочной машины и даются предложения по наиболее оптимальной конструктивно-технологической схеме самоходного агрегата для уборки плодов.

Ключевые слова: механизация, уборка плодов, конструктивно-технологическая схема, плодуборочный агрегат, конвейер.

A. N. Jurin¹, V. V. Viktorovich¹, A. D. Chechetkin²

¹RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus

e-mail: anton-jurin@rambler.ru; lab_plodoyagoda@mail.ru

²Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»
Minsk, Republic of Belarus

THE RESULTS OF THEORETICAL RESEARCH ON THE SUBSTANTIATION OF THE CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL SCHEME OF THE SELF-PROPELLED UNIVERSAL ASU-6 UNIT

The article presents the results of the studies carried out to substantiate the design of the fruit harvesting machine and gives suggestions on the most optimal design and technological scheme of the self-propelled unit for harvesting fruits.

Keywords: mechanization, fruit harvesting, constructive technological scheme, fruit harvesting unit, conveyor.

Введение

В настоящее время уровень механизации плодоводства не превышает 30–40 %. Для полной механизации технологических процессов в возделывании различных видов плодовых и ягодных культур в существующую систему перспективных машин необходимо включить 44 наименования машин, из которых:

- производится – 26;
- разрабатывается – 1;
- требуется разработать – 8;
- требуется закупить – 9.

Разработка и внедрение в производство этих машин позволит значительно сократить затраты ручного труда при производстве плодов и ягод, снизить их себестоимость, повысить качество, срок хранения, конкурентоспособность по отношению к продукции импортного производства.

В сложившейся ситуации необходимо уделить большое внимание одному из наиболее трудоемких технологических процессов при производстве плодов – уборке урожая [1].

Существующий способ механизированной уборки плодов семечковых и косточковых культур с применением уборочных комбайнов вибрационного принципа действия непригоден для уборки плодов, предназначенных для длительного хранения, так как приводит к значительному повреждению плодов (более 30 %).

Для реализации технологического процесса уборки и механизированной обрезки крон деревьев необходим самоходный агрегат, оборудованный рабочими местами для сборщиков, устройством подъема и опускания рабочих площадок, а также перемещения их в горизонтальной плоскости, с возможностью механизированной погрузки пустых контейнеров, выгрузки заполненных, включающий транспортеры для доставки собранных плодов в контейнеры.

Объекты и методы исследований

Объектом исследований являлась машина для уборки плодов семечковых и косточковых культур. Исходные данные получали на основе анализа результатов опубликованных работ, посвященных механизированной уборке плодов.

Результаты исследований

Обоснование конструктивно-технологической схемы агрегата. Анализ исследований технологических особенностей различных механизированных средств уборки плодов семечковых и косточковых культур позволил установить, что наиболее перспективным орудием для уборки десертных плодов является плодуборочная платформа с контейнеровозом (рисунок 1), оборудованная системой конвейеров для транспортировки убранных сборщиками плодов. Такой тип платформы является наиболее рациональным для работы в садах интенсивного типа [2].

При этом плоды будут сниматься с деревьев вручную, а транспортировка и укладка их в контейнеры будет осуществляться механизированным способом. Это позволит получить максимальную производительность труда сборщиков при сохранении высокого качества убранных урожая.

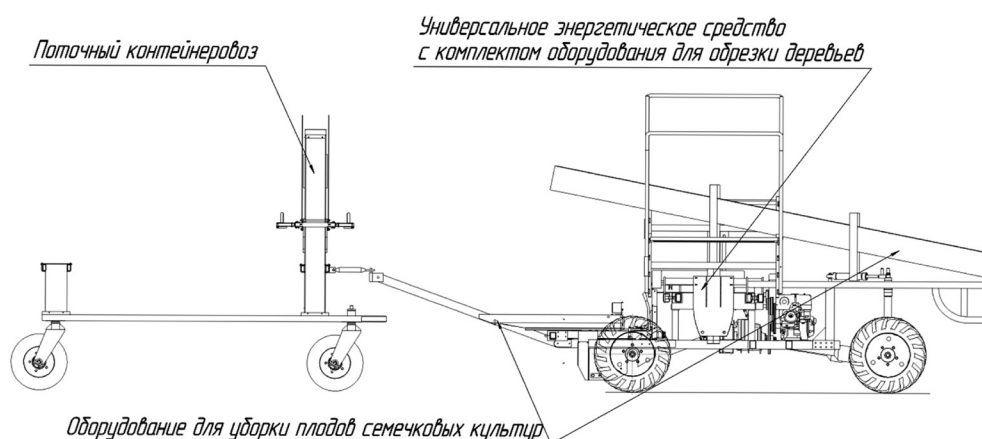


Рисунок 1. – Общий вид самоходной плодуборочной платформы с контейнеровозом

Убранные плоды должны укладываться в контейнеры.

Агрегат должен быть оборудован уборочными площадками для второго и третьего ярусов. Для первого яруса площадки не предусматриваются, так как уборку нижнего яруса плодов сборщикам необходимо производить, находясь на земле рядом с машиной.

При этом должна быть возможность изменять положение платформ по вертикали и горизонтали, исходя из ширины междурядий сада и высоты деревьев. Очевидно, что для снижения трудоемкости и повышения удобства регулировка должна осуществляться механизированно и индивидуально для каждой из площадок.

Для удобства сборщиков плодов агрегат должен быть оборудован системой подручных конвейеров – лотков. Они необходимы для уменьшения времени, которое сборщик сможет потратить на выполнение других операций.

Для максимального снижения трудоемкости съема должна иметься возможность изменять положение лотков в горизонтальной и вертикальной плоскостях с возможностью фиксации.

Кроме того, с учетом возможной неравномерности распределения урожая плодов семечковых и косточковых культур по высоте дерева и различной ширины междурядий сада длина лотка должна быть изменяемой.

Горизонтальный конвейер должен обеспечивать прием плодов со всех лотков и транспортировку их на вертикальный конвейер, который, в свою очередь, должен без повреждений укладывать их в контейнер.

При этом, с учетом низких прочностных свойств плодов и их легкой повреждаемости, а также изменения в процессе уборки высоты слоя плодов в контейнере вертикальный конвейер должен иметь возможность вертикального перемещения. Кроме того, конвейер должен иметь автоматическое устройство, обеспечивающее поддержание минимально возможной высоты выгрузки плодов в контейнер.

При свободной выгрузке плодов в контейнер в нем будет образовываться конус из плодов. Это приведет к уменьшению степени заполнения контейнера плодами и к травмированию их при транспортировке. Для устранения данного негативного явления загрузку плодов необходимо осуществлять во вращающийся контейнер на некотором расстоянии от его центра.

В Республике Беларусь в основном при уборке плодов используются деревянные контейнеры промышленного производства с наружными размерами 1200x100x800 мм. Масса контейнера в зависимости от вида, плотности и массы плода составляет 350–450 кг. При средней урожайности 30–50 т/га, длине рядов, равной 100–120 м, и ширине междурядий 3,5–4,5 м для сбора плодов с одного ряда необходимо 5–9 контейнеров общей массой 1750–4050 кг. Очевидно, что заполненные плодами контейнеры целесообразно оставлять в междурядьях сада, а на контейнеровозе, агрегируемом с самоходным агрегатом, перевозить пустые. При этом конструкция контейнеровоза должна быть порталной и высококлиренсной для обеспечения свободного прохода контейнера под направляющими контейнеровоза.

Контейнеровоз должен обеспечивать перевозку не менее 9 контейнеров для обеспечения уборки плодов с одного ряда за один проход. Очевидно, что для этого он должен обеспечивать возможность многорядной установки контейнеров и быстрой их разгрузки.

Таким образом, к исследованию нами была принята конструктивно-технологическая схема самоходного агрегата с контейнеровозом, оборудованного приемными лотками, центральным и вертикальным конвейерами для сбора и транспортировки плодов, стола для размещения на нем контейнера с возможностью его вращения. Контейнеровоз должен иметь высококлиренсную порталную конструкцию и обеспечивать возможность многоярусной установки 9 порожних контейнеров [3, 4].

Обоснование ширины рабочих платформ. Наибольший эффект от применения многоместных платформ для уборки плодов и обрезки кроны плодовых деревьев достигнут при использовании платформ в пальметтных садах.

Ширина платформы может быть определена по формуле:

$$B_{\text{плт}} = (B_{\text{меж}} - 2\delta_{\text{т}} - 0,4),$$

где $B_{\text{меж}}$ – ширина междурядья, м;

$\delta_{\text{т}}$ – ширина кроны в сторону междурядья, м;

0,4 – двусторонний зазор между габаритами платформы и «стеной» сада, м.

В Республике Беларусь сады высаживаются с междурядьем 3,5–5,0 м. Кроме того, в зависимости от возраста, периода вегетации и вида обрезки ширина кроны может составлять от 0,4 до 0,8 м. Соответственно, ширина агрегата должна быть изменяемой и составлять от 2,3 до 3,4 м.

Высота $H_{\text{в}}$ расположения верхней рабочей площадки определяется исходя из условий снятия всех верхнерасположенных плодов:

$$H_{\text{в}} = H_{\text{дер}} - (1,3 \div 1,4),$$

где $H_{\text{дер}}$ – высота дерева, м;

1,3–1,4 – средняя высота расположения рук сборщика от плечевых суставов до основания верхней рабочей площадки, м.

При механизированном способе уборки плодов и обрезки высота деревьев достигает 4,5 м. Увеличение высоты позволяет повысить урожайность с единицы площади. Однако при ручном способе уборки плодов высота кроны должна соотноситься с ростом обслуживающего персонала. В этом случае общая высота деревьев составляет 2,7–3,0 м.

Таким образом, максимальная высота рабочей площадки должна составлять 2,6 м (средний рост сборщика принимаем 1,7 м, максимальная высота расположения плода на кроне дерева, который он способен снять – 1,9 м). Учитывая требования к формированию кроны деревьев семечковых и косточковых культур, получаем, что плод может быть расположен на высоте 0,6–4,5 м кроны. В то же время для сборщика естественной является уборка плодов с высоты H_a , равной 0,8–1,7 м. Очевидно, что рационально разделить диапазон высот расположения плодов на три яруса.

Учитывая нижний предел расположения плодов на деревьях и минимальную высоту расположения рабочих площадок не менее 350 мм (минимальный дорожный просвет сельскохозяйственной машины – 300 мм и конструктивный размер площадки – 50 мм), очевидно, что для удобства и повышения производительности труда рабочие нижнего яруса должны осуществлять уборку плодов, находясь на земле.

Таким образом, высота первого яруса $H_{я}$ (при $H_{дер} = 4,5$ м) должна составлять 0,6–1,9 м, второго – 1,9–3,2 м, третьего – 3,2–4,5 м.

Плодоношение в садах интенсивного типа наступает со 2–3 года вегетации, а убирать плоды механизированными средствами начинают, когда возраст сада достигает 4–5 лет. При этом высота деревьев может достигать 3 м.

Высота ярусов $H_{я}$ в данном случае будет составлять: первого – 0,6–1,4 м, второго – 1,4–2,2 м, третьего – 2,2–3,0 м.

Таким образом, учитывая агротехнические требования и рост сборщиков, определяем высоту рабочих площадок. Устанавливаем, что высота рабочих площадок должна составлять:

для второго яруса:

$$H_{пл_2}^{min} = H_{я_2}^{min} - H_a^{min},$$

$$H_{пл_2}^{max} = H_{я_2}^{max} - H_a^{max},$$

для третьего яруса:

$$H_{пл_3}^{min} = H_{я_3}^{min} - H_a^{min},$$

$$H_{пл_3}^{max} = H_{я_3}^{max} - H_a^{max},$$

где $H_{пл_2}^{min}$, $H_{пл_3}^{min}$, $H_{пл_2}^{max}$, $H_{пл_3}^{max}$ – минимальная и максимальная высота платформ, м;

$H_{я_2}^{min}$, $H_{я_2}^{max}$, $H_{я_3}^{min}$, $H_{я_3}^{max}$ – минимальная и максимальная высота ярусов расположения плодов, м;

H_a^{min} , H_a^{max} – минимальная и максимальная высота, с которой может осуществляться уборка плодов сборщиком ростом 1,7 м.

Из уравнений получим: $H_{пл_2}^{min} = 0,6$ м; $H_{пл_2}^{max} = 1,5$ м; $H_{пл_3}^{min} = 1,4$ м; $H_{пл_3}^{max} = 2,8$ м.

Таким образом, диапазон изменения высоты положения площадки второго яруса составит 0,9 м, третьего – 1,4 м.

Очевидно, что для удобства эксплуатации и настройки машины регулировка высоты рабочих площадок должна быть легкой и не требовать инструмента. В то же время в любой определенный момент времени в сложившихся обстоятельствах обслуживающему персоналу потребуется не более 1–2 регулировок высоты расположения площадок в сезон. Таким образом, очевидно, что регулировку можно выполнить механической и дискретной с равным шагом.

Заключение

1. Наиболее перспективной схемой агрегата для уборки десертных плодов является конструктивно-технологическая схема самоходного агрегата с контейнеровозом, оборудованного приемными лотками, центральным и вертикальным конвейерами для сбора и транспортировки плодов, стола для размещения на нем контейнера с возможностью его вращения.

2. Контейнеровоз должен иметь высококлиренсную порталную конструкцию и обеспечивать возможность многоярусной установки не менее 9 порожних контейнеров.
3. Ширина плодуборочного агрегата должна быть переменной и составлять от 2,3 до 3,4 м.
4. Сборщики плодов на агрегате должны быть размещены на трех ярусах.
5. Высота первого яруса $H_я$ должна составлять 0,6–1,9 м, второго – 1,9–3,2 м; третьего – 3,2–4,5 м.
6. Диапазон изменения высоты положения площадки второго яруса должен составлять 0,9 м, третьего – 1,4 м.

Литература

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2013. – 364 с.
2. Варламов, Г. П. Машины для уборки фруктов / Г. П. Варламов. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
3. Юрин, А. Н. Агрегат для уборки плодов и обрезки деревьев в садах / А. Н. Юрин, А. А. Лях // Сельскохозяйственная научно-техническая и рыночная информация. – 2013. – № 8. – С. 39–43.
4. Юрин, А. Н. Агрегат самоходный универсальный АСУ-6 для уборки плодов и обрезки деревьев в садах интенсивного типа / А. Н. Юрин, А. А. Лях, В. М. Резвинский, А. Д. Кузнецов // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 1. – С. 218–224.

УДК 631.331.022

Поступила в редакцию 06.10.2017
Received 06.10.2017

А. Н. Юрин, В. В. Викторович

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: anton-jurin@rambler.ru; lab_plodoyagoda@mail.ru*

ОБОСНОВАНИЕ РАБОЧЕЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПЛОДУБОРОЧНОГО АГРЕГАТА

В статье приводятся результаты анализа рабочего процесса многоместных мобильных платформ для уборки плодов и даются предложения по наиболее перспективной схеме агрегата для уборки десертных плодов.

Ключевые слова: плодоводство, уборка плодов, механизированные работы, производительность труда сборщиков плодов, рабочий процесс, многоместные мобильные платформы, теория систем массового обслуживания с отказами.

A. N. Jurin, V. V. Viktorovich

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: anton-jurin@rambler.ru; lab_plodoyagoda@mail.ru*

EXPERIMENTAL STUDIES OF DAMAGE TO FRUITS AT THEIR MECHANIZED CLEANING

The article presents the results of the performed studies on the analysis of the working process of multi-seat mobile platforms for fruit harvesting and gives suggestions on the most promising scheme of the unit for harvesting dessert fruits.

Keywords: fruit-growing, harvesting of fruits, mechanized work, productivity of fruit pickers, the working process, multi-seat mobile platforms, queuing theory of queuing systems.

Введение

В соответствии с нормами рационального питания и условиями продовольственной безопасности каждый человек должен потреблять в год 90–100 кг плодов и ягод, без учета цитрусовых. В Республике Беларусь душевое потребление плодов и ягод отечественного производства

составляет около 20 кг, общее же потребление – около 60 кг. При этом общее потребление плодово-ягодной продукции в год на одного человека в США – 127 кг, Франции – 135 кг, Германии – 126 кг, Италии – 187 кг.

В результате республика вынуждена импортировать свежую плодово-ягодную продукцию. В 2015 году объем поставок составил 1649,8 тыс. тонн. При этом импорт плодово-ягодной продукции за последние 5 лет увеличился в 4 раза.

В то же время плодородческая отрасль в Беларуси располагает потенциальными возможностями для увеличения объемов производства плодов и ягод при высоком уровне окупаемости затрат и рентабельности отрасли. Отрасль также обладает высоким экспортным потенциалом, принимая в внимание крайне низкий объем душевого потребления плодов и ягод в соседних государствах (Россия – 18 кг, Казахстан – 12 кг, Украина – 44 кг).

При этом плодоводство в Беларуси остается одной из наименее механизированных отраслей сельского хозяйства – доля механизированных работ не превышает 25...30 %, а затраты на содержание и обслуживание плодоносящего сада или ягодника составляют до 8,9 млн *чел.-ч/га*, что негативно сказывается на качестве производимой продукции и ее стоимости за счет несоблюдения агротехнических сроков уборки плодов и ягод.

Несмотря на высокую ресурсоемкость производства плодово-ягодной продукции, плодоводство рентабельно более чем на 200 % по сравнению с возделыванием однолетних полевых культур. Прибыль от реализации плодово-ягодной продукции в 3–9 раз больше, чем от реализации пшеницы и других однолетних культур.

Уборка плодов – заключительная и решающая операция в общем плане работ по выращиванию плодов, которая во многом определяет качественные и количественные показатели производимой продукции и экономики отрасли в целом.

Объекты и методы исследований

Объектом исследований являлись механизированные средства для уборки плодов. При исследовании применялась теория систем массового обслуживания с отказами.

Результаты исследований

Производительность труда сборщиков плодов или обрезчиков, а также качество выполнения операций зависят от ряда факторов, таких как скорость движения платформы, количество сборщиков или обрезчиков в рабочей зоне, плотность и характер распределения плодов или удаляемых ветвей в кроне деревьев, компоновка рабочих мест, а также эргономические способности рабочих.

В связи с большим числом взаимосвязанных факторов решение такой задачи чисто экспериментальным путем трудоемко и недостаточно надежно. Поэтому определение оптимальных режимов движения платформы для заданных агротехнических условий может быть достигнуто на основании комплексных исследований.

В данном случае движущаяся платформа с рабочими и деревья с плодами или ветвями, подлежащими сбору или удалению, рассматриваются как система массового обслуживания, включающая определенное число обслуживающих единиц и поступающий поток плодов или ветвей. В дальнейшем будем называть обслуживающие единицы каналами обслуживания, а поток плодов или ветвей – заявками. Работа такой системы заключается в обслуживании заявок, которые поступают к рабочему месту в случайные моменты времени. Эти заявки обслуживаются некоторое время, после чего канал освобождается и готов обслужить очередную заявку.

Анализ условий функционирования системы и событий, происходящих при сборе плодов или срезании ветвей рабочими, находящимися на подвижной платформе, дает основание считать ее, с определенным приближением, системой массового обслуживания с отказами. В такой системе заявка, пришедшая в момент, когда каналы обслуживания заняты, получает отказ и покидает ее. Подобный случай произойдет тогда, когда рабочий не сможет справиться с потоком поступающих плодов или ветвей, в результате часть из них останется на деревьях.

С известным приближением поток поступающих плодов или ветвей можно считать пуассоновским, так как если одиночные точки распределены в поле статистически равномерно, со средней плотностью X и попадают в неперекрывающиеся области независимым образом, то такое распределение в основном подчиняется закону Пуассона:

$$P_k = \frac{\alpha^k}{k!} e^{-\alpha},$$

где α – среднее число точек, попадающих в область D .

Для случая распределения точек в пространстве объемом V_D значение $\alpha = V_D \lambda$.

Работа системы массового обслуживания с отказами определяется следующими параметрами: числом n каналов обслуживания, плотностью λ потока заявок, плотностью $\mu = 1/t_{\text{обсл}}$ обслуживания одного канала, средним временем $t_{\text{обсл}}$ обслуживания одной заявки.

Для установившегося режима работы системы с отказами вероятность состояний определяется формулой Эрланга:

$$P_k = \frac{\alpha^k / k!}{\sum_{k=0}^n \alpha^k / k!} (k = 0, 1, \dots, n), \quad (1)$$

где $\alpha = \frac{\lambda}{\mu} = \lambda \cdot t_{\text{обсл}}$ – приведенная плотность заявок, то есть среднее число заявок, приходящих на среднее время обслуживания одной заявки;

k – число занятых каналов.

В качестве одной заявки для удобства изложения системы массового обслуживания с отказами в дальнейшем подразумеваем одиночный плод или совокупность плодов, а в качестве канала – приемный ленточный конвейер (лоток).

Равенство (1) представляет собой закон распределения числа занятых каналов в зависимости от характеристик потока заявок и производительности системы обслуживания. Рассматривая случай, когда $k = n$, получим вероятность отказа системы, то есть вероятность того, что поступившая заявка найдет все каналы занятыми:

$$P_{\text{отк}} = P_k = \frac{\alpha^n / n!}{\sum_{n=0}^n \alpha^n / n!}.$$

В частности, для одноканальной системы $n = 1$ получается:

$$P_{\text{отк}} = P_1 = \frac{\alpha}{1 + \alpha}.$$

Вероятности P_k могут быть вычислены с помощью таблиц пуассоновского распределения по формуле:

$$P_k = \frac{P(k; \alpha)}{R(n; \alpha)} = \frac{R(k; \alpha) - R(k-1; \alpha)}{R(n; \alpha)} (k = 0, 1, \dots, n).$$

Вероятность того, что заявка будет обслужена определенным каналом и не получит отказа, выражается формулой:

$$P_{\text{обсл}} = 1 - P_k = 1 - \frac{P(n; \alpha)}{R(n; \alpha)} = \frac{R(n-1; \alpha)}{R(n; \alpha)}.$$

Среднее число занятых каналов составляет

$$k = \alpha \cdot P_{\text{обсл}}.$$

Вероятность того, что канал занят, выражается формулой:

$$P_{\text{зан}} = \frac{k}{n} = \frac{\alpha}{n} \cdot P_{\text{обсл}}.$$

Среднее время простоя канала

$$t_{\text{пр}} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{1 - P_{\text{зан}}}{P_{\text{зан}}}.$$

Приведенные формулы справедливы для случая, когда время обслуживания и плотность потока заявок подчиняются показательному закону распределения:

$$q(t) = \mu e^{-\mu t} (t > 0); f(t) = \lambda e^{-\lambda t} (t > 0).$$

На основании результатов исследований систем массового обслуживания можно сделать вывод, что формулы Эрланга остаются справедливыми при любом законе распределения времени, но при условии, что поток заявок будет стационарным пуассоновским. Этим условиям в основном отвечает поток плодов, поступающих к рабочим на платформе, то есть заявки, как правило, ординарны. Отдельные скопления плодов можно рассматривать как единичную заявку, так как она может быть обслужена рабочим за один прием.

Для эффективного использования многоместной мобильной платформы необходимо уметь определять оптимальную скорость ее перемещения при различном характере и плотности распределения плодов в сфере действия каждого канала обслуживания и разной плотности обслуживания заявок в зависимости от количества рабочих, обслуживающих ярус или платформу в целом. Наиболее эффективное использование обслуживающего персонала будет достигнуто при перемещении платформы с такой скоростью, при которой рабочий сможет обслужить наибольшее количество заявок, а количество отказов в обслуживании будет минимальным.

Конкретные данные о плотности плодов на дереве, зависящие от возраста и размера дерева, влияют на производительность мобильной платформы, которая, в свою очередь, зависит от индивидуальных способностей рабочих и условий их работы. Такие данные могут быть получены только в результате экспериментальных исследований.

На рисунке 1 показаны интегральные кривые плотности распределения плодов по высоте в кроне плодовых деревьев пальметтной формировки шести-семи летнего возраста пяти наиболее распространенных сортов плодов.

С помощью данных этого графика можно определить размеры и расположение ярусов, имеющих равнозначную плотность плодов, а значит, определить оптимальную компоновку рабочих площадок платформы. Так, при трехъярусной компоновке рабочих площадок платформы размеры равнозначных (по плотности плодов) ярусов, содержащих примерно по 33 % плодов, будут следующими: нижний ярус будет иметь высоту до 0,8 м от уровня почвы, средний ярус расположится на высоте 0,8–1,5 м, верхний – на высоте 1,5–3,5 м.

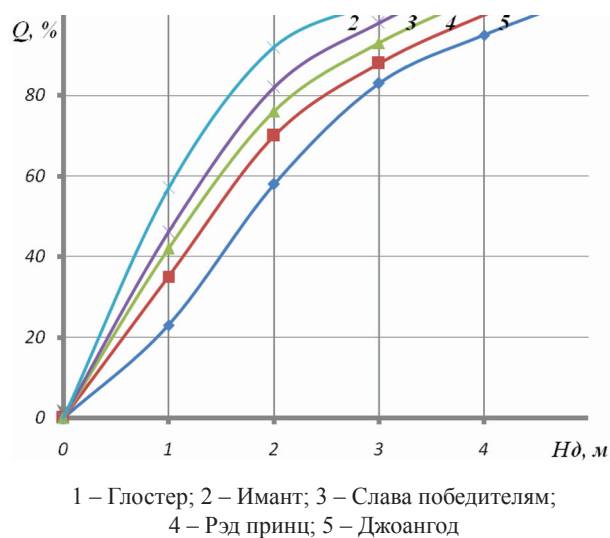
На рисунке 2 показана диаграмма плотности плодов $q_{\text{пл}}$ (в штуках на метр яруса) для различных ярусов деревьев.

При известной плотности плодов $q_{\text{пл}}$ и скорости движения платформы можно определить плотность потока заявок по формуле:

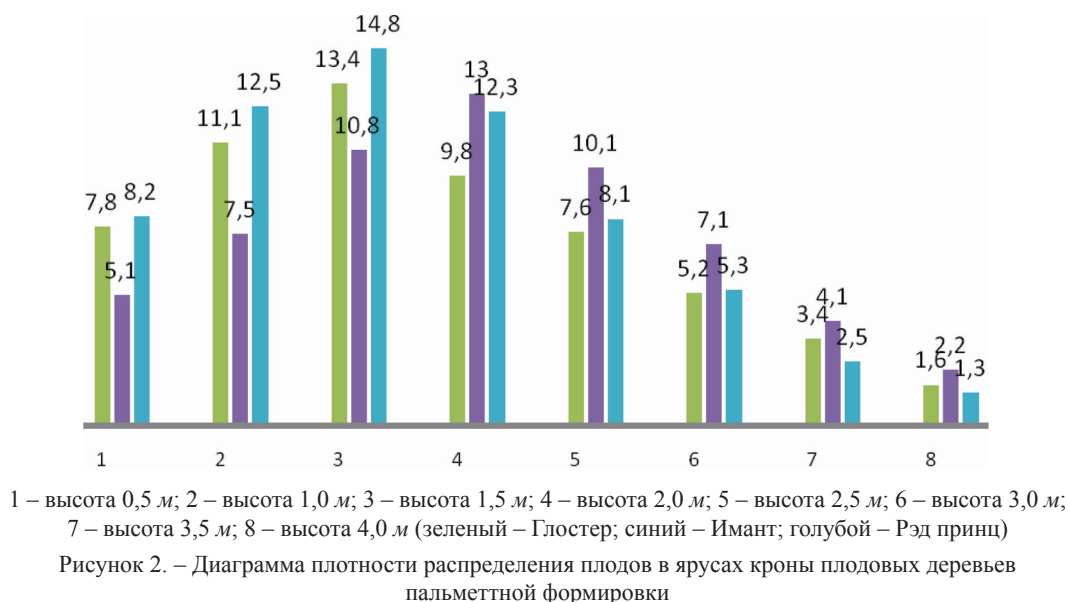
$$\lambda_{\text{пл}} = q_{\text{пл}} V_{\text{плт}}$$

Изучение способностей сборщиков проводилось многими исследователями, которые устанавливали производительность труда рабочих на сборе плодов с деревьев, имеющих различную плотность и характер распределения плодов.

Установлено, что производительность труда квалифицированных сборщиков составляет 65–105 плодов в минуту, сборщиков средней



1 – Глостер; 2 – Имант; 3 – Слава победителям; 4 – Рэд принц; 5 – Джоангод
Рисунок 1. – Интегральные кривые плотности распределения плодов в кроне плодовых деревьев пальметтной формировки



квалификации 50–94 плода в минуту. Среднее время на обслуживание заявки (съем одного плода) колеблется в пределах соответственно для квалифицированных сборщиков 0,5– 0,92 с, для сборщиков средней квалификации – 0,63–1,2 с. Полагая, что в основном на платформе будут работать сборщики средней квалификации, плотность потока обслуживания может быть принята $\mu_{пл} = 0,6–1,2$ с.

Проведенные исследования позволяют построить номограмму, связывающую вероятность обслуживания заявок с количеством каналов обслуживания n , плотность потока обслуживания с приведенной плотностью потока заявок α и скоростью движения платформы $V_{плт}$. На рисунке 3 приведена номограмма для определения рабочих режимов мобильной платформы для сбора плодов семечковых и косточковых культур.

С помощью этой номограммы можно, задаваясь требуемой полнотой съема плодов, определить скорость движения платформы при соответствующих α , μ и плотности плодов $q_{пл}$.

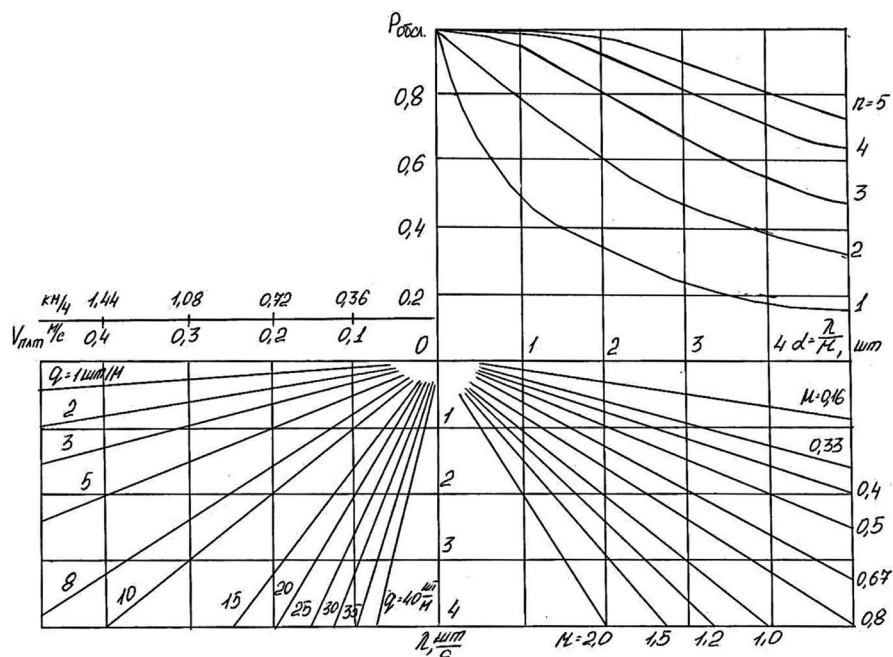


Рисунок 3. – Номограмма для определения рабочих режимов мобильной платформы для сбора плодов и обрезки плодовых деревьев

Исходя из целесообразности компоновки рабочих площадок плодосборной платформы, определяем необходимое количество рабочих ярусов, после чего, пользуясь графиками распределения плодов, устанавливаем размеры ярусов, а также плотность плодов $q_{пл}$ в каждом ярусе. Затем, задаваясь необходимой полнотой съема плодов, определяем оптимальную скорость движения платформы. Так, если требуемая полнота съема плодов должна быть не менее 90 % и ярус с плотностью $q_{пл} = 15$ плодов на 1 м обслуживается двумя сборщиками, обеспечивающими плотность обслуживания заявок $\mu_{пл} = 1$, то рабочая скорость передвижения платформы должна быть $V_{плт} = 0,12$ км/ч.

Сравнение средних скоростей движения платформы, полученных в результате исследований, со скоростью, определяемой по номограмме, показывает достаточно удовлетворительное совпадение экспериментальных и расчетных данных. Так, на участке сада со средней урожайностью 109 ц/га (что соответствует средней плотности плодов в каждом из трех ярусов $q_{пл} = 10$ плодов на 1 м) замеренное значение средней скорости движения платформы при обслуживании каждого яруса одним рабочим составляло 0,042 км/ч. По номограмме для этих же условий при $\mu_{пл} = 1$ скорость платформы составляет 0,038 км/ч, то есть расхождение не превышает 10 %.

Представленная номограмма позволяет сделать вывод, что для увеличения скорости движения платформы и повышения эффективности ее применения целесообразно увеличить число рабочих на каждом канале обслуживания. Например, при увеличении числа рабочих на каждом из каналов с двух до четырех ($P_{обсл} = 0,9$, $\mu = 1$, $q_{пл} = 15$ плод./м) скорость платформы может быть увеличена почти в 4 раза. В этом же случае можно обеспечивать более высокую полноту съема плодов ($P_{обсл} = 0,98$) при повышении скорости платформы в 2 раза.

Таким образом, с увеличением числа рабочих обеспечивается более эффективное их использование и повышается полнота съема плодов.

Для уточнения этого вывода с помощью формулы была выявлена зависимость простоя каналов обслуживания от приведенной плотности потока заявок в ярусе при $\mu_{пл} = 1$. Результаты расчетов показаны на рисунке 4, из которого видно, что среднее время простоя каждого канала обслуживания при увеличении их числа возрастает. Однако в этом случае, как следует из номограммы (рисунок 3), может быть увеличена производительность платформы в результате повышения приведенной плотности потока заявок α до 2,1, в связи с чем среднее время простоя каналов обслуживания практически не возрастает. Это подтверждает целесообразность увеличения количества рабочих на платформе для повышения эффективности ее применения.

Следует отметить, что скорость движения платформы нельзя увеличивать беспрестанно, так как может наступить момент, когда за промежуток времени заявки очередная заявка переместится за пределы зоны действия сборщика. Исходя из этого условия, предельная скорость движения платформы

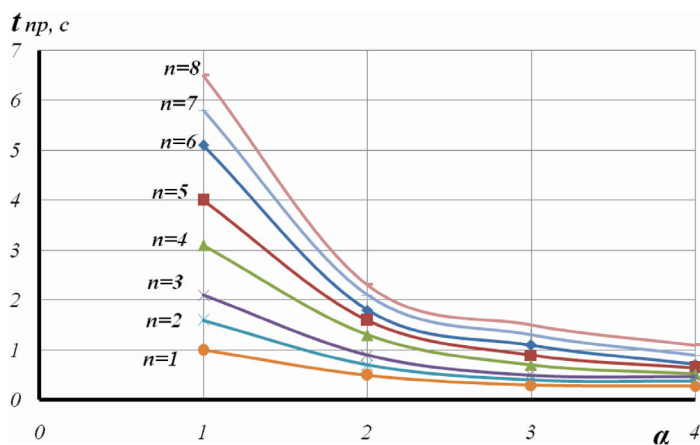


Рисунок 4. – Зависимость простоя каналов обслуживания от их числа и приведенной плотности потока заявок в ярусе кроны

$$[V_{плт}] = \frac{\alpha}{q_{пл}}.$$

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что при анализе рабочего процесса многоместных мобильных платформ для уборки плодов приемлема теория систем массового обслуживания с отказами.

Заключение

При анализе рабочего процесса многоместных мобильных платформ для уборки плодов приемлема теория систем массового обслуживания с отказами.

Номограмма для определения рабочих режимов мобильной платформы позволяет определить допустимую рабочую скорость движения плодуборочной платформы в зависимости от полноты уборки плодов, количества сборщиков, плотности распределения плодов на дереве и времени, затрачиваемого сборщиком на уборку одного плода.

Литература

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический сборник/ Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2013. – 364 с.
2. Варламов, Г. П. Машины для уборки фруктов / Г. П. Варламов. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
3. Юрин, А. Н. Агрегат для уборки плодов и обрезки деревьев в садах / А. Н. Юрин, А. А. Лях // Сельскохозяйственная научно-техническая и рыночная информация. – 2013. – № 8. – С. 39–43.
4. Юрин, А. Н. Агрегат самоходный универсальный АСУ-6 для уборки плодов и обрезки деревьев в садах интенсивного типа / А. Н. Юрин, А. А. Лях, В. М. Резвинский, А. Д. Кузнецов // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 1. – С. 218–224.

УДК 631.331.022

Поступила в редакцию 06.10.2017

Received 06.10.2017

А. Н. Юрин, 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

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЛНОТЫ СБОРА ПЛОДОВ И ИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ УБОРКЕ

В статье изложено обоснование рабочей скорости движения плодуборочной платформы, а также представлены зависимости количества поврежденных плодов от скорости их столкновения и времени, затраченного сборщиком на уборку одного плода.

Ключевые слова: плодоводство, уборка плодов, механизированные работы, производительность труда сборщиков плодов, рабочий процесс, многоместные мобильные платформы, теория систем массового обслуживания с отказами.

A. N. Jurin, V. V. Viktorovich

RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: anton-jurin@rambler.ru; lab_plodoyagoda@mail.ru

JUSTIFICATION OF WORKING SPEED OF MOVEMENT OF FRUIT-CLEANING UNIT

The article presents the results of the performed studies on the analysis of the working process of multi-seat mobile platforms for fruit harvesting and gives suggestions on the most promising scheme of the unit for harvesting dessert fruits.

Keywords: fruit-growing, harvesting of fruits, mechanized work, productivity of fruit pickers, the working process, multi-seat mobile platforms, queuing theory of queuing systems.

Введение

Уборка плодов – заключительная и решающая операция при возделывании многолетних насаждений, определяющая качественные и количественные показатели производимой продукции, на выполнение которой приходится 20–40 % всех затрат на производство плодов [1].

В большинстве садоводческих хозяйств данная операция выполняется вручную. Однако существуют многоместные плодуборочные агрегаты различных конструкций, позволяющие повысить производительность труда сборщиков плодов в 1,5–2,5 раза, в зависимости от условий работы и урожайности возделываемых культур.

При этом параметры и режимы работы данных платформ требуют обоснования [2, 3].

Объекты и методы исследований

Объектом исследований, которые проводились на основе теории систем массового обслуживания с отказами, являлись механизированные средства для уборки плодов. При исследованиях применялись абстрактно-логический и расчетно-конструктивный методы. Исходные данные получали на основе многовариантных технологических карт и материалов статистической отчетности.

Результаты исследований

В результате теоретических изысканий установлено [4], что скорость движения плодуборочной платформы ограничена таким показателем, как полнота сбора плодов. Очевидно, что чем выше скорость движения, при неизменном значении урожайности, тем меньше времени отводится сборщику на уборку одного плода. В конечном итоге может сложиться ситуация, при которой сборщиком могут допускаться пропуски плодов, предназначенных к уборке, что влечет за собой снижение такого важного агротехнического показателя, как полнота сбора плодов. В соответствии с агротехническими требованиями полнота сбора плодов должна быть не менее 95 %. Следовательно, при определении допустимой скорости движения плодуборочного агрегата будем руководствоваться именно этой цифрой.

Из графиков, изображенных на рисунке 1, видно, что для обеспечения 95 % полноты сбора яблок скорость движения платформы должна быть не более 0,15–0,25 м/с (0,54–0,9 км/ч) при урожайности 17–34 т/га. При уборке слив скорость не должна превышать 0,1–0,2 м/с (0,36–0,72 км/ч), вишни и черешни – не более 0,1 м/с (0,36 км/ч).

Таким образом, очевидно, что для обеспечения полноты сбора плодов семечковых и косточковых культур плодуборочный агрегат должен иметь возможность передвигаться со скоростью 0,1–0,25 м/с (0,36–0,9 км/ч).

Результаты экспериментальных исследований зависимости количества поврежденных плодов от скорости их столкновения

При столкновении плодов между собой и с поверхностями плодуборочной машины из различных материалов возможно возникновение повреждений, которые впоследствии приводят к снижению их качества и порче при хранении. Для повышения качества убранных плодов необходимо снизить вероятность возникновения критических повреждений плодов при транспортировании их рабочими органами агрегата и укладке в тару.

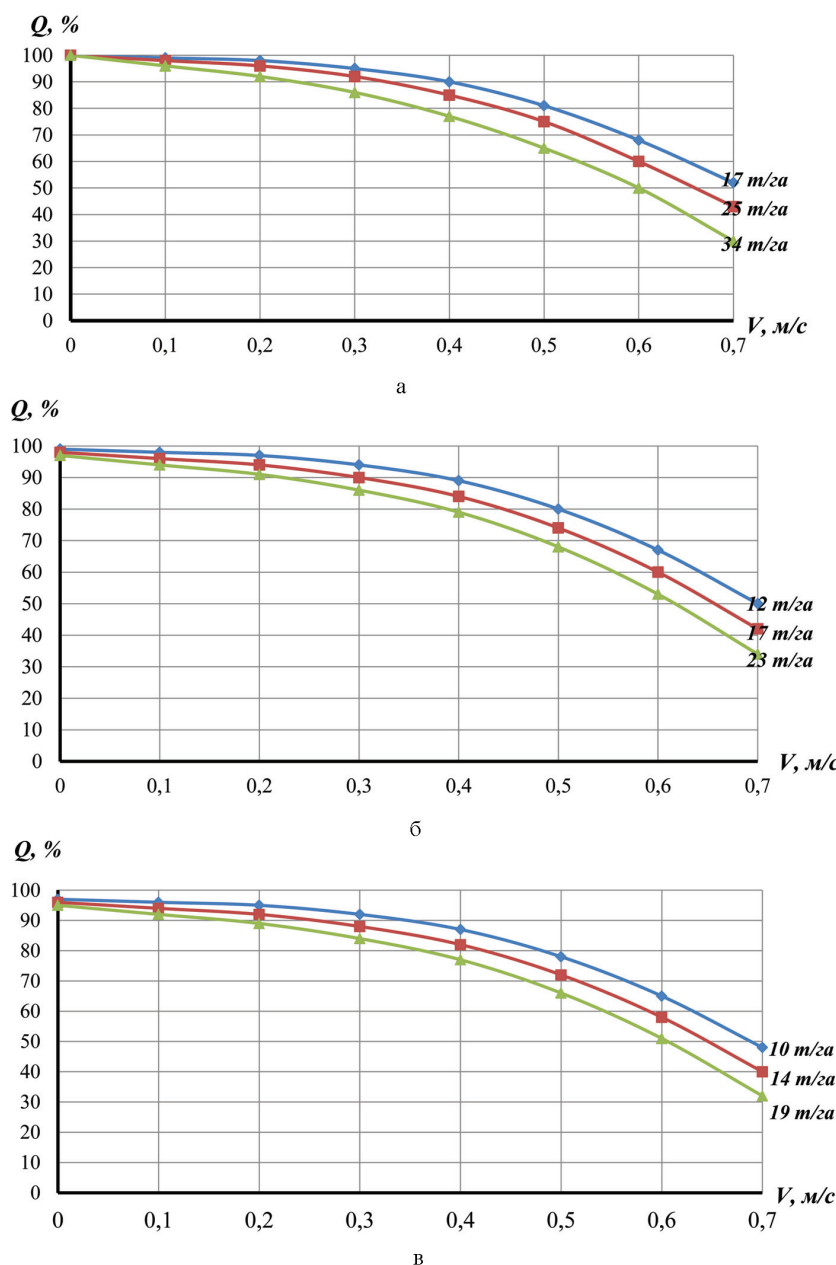
Кинетическая энергия столкновения плодов пропорциональна произведению массы плода на квадрат скорости движения. Очевидно, что в конструкции машины можно регулировать только скорость столкновения плодов, которая будет определять уровень их повреждений.

Из [1] известно, что допустимое количество поврежденных плодов не должно превышать 2 % от всех убранных плодов. При этом 98 % плодов будут неповрежденными и пригодными к хранению.

Данный показатель примем за допустимый при определении максимальной скорости столкновения плодов.

При проведении исследований в соответствии с теоретическими выкладками проводили 3 вида столкновения плодов:

- вертикальное падение плода под действием силы тяжести на деревянную поверхность, имитирующую дно контейнера;
- вертикальное падение плода на поверхность из плодов, имитирующее выгрузку плода в контейнер, частично заполненный плодами;
- столкновение плодов, движущихся друг навстречу другу в горизонтальной плоскости, имитирующее взаимодействие плодов на транспортирующих рабочих органах плодуборочного



а – яблоко; б – слива; в – вишня, черешня

Рисунок 1. – Зависимость полноты сбора плодов от скорости движения плодуборочного агрегата (уборку осуществляют 6 сборщиков)

агрегата. Ситуация соударения двух свободных плодов может возникать, когда плоды сталкиваются друг с другом в воздухе в момент перехода с лотков на горизонтальный конвейер или при свободном их перекаатывании по рабочим поверхностям конвейеров.

Для упрощения систематизации экспериментальных данных плоды в соответствии с сортом выбирались одинакового веса (примем допустимую погрешность в 2–5 %). Взвешивание проводили при помощи весов РП-15ШЗ.

После осуществления эксперимента плоды отправлялись на хранение, где находились в течение 20 суток при оптимальных условиях: в пластиковых ящиках, в темном помещении, температура воздуха поддерживалась в пределах 3–5 °С, влажность – 90–95 %. Уже через 5–8 дней на поврежденных плодах в местах удара начали проявляться темные пятна диаметром 6–12 мм. В течение срока хранения пятна повреждения увеличивались. Плоды с темными пятнами относились при подсчетах к поврежденным.

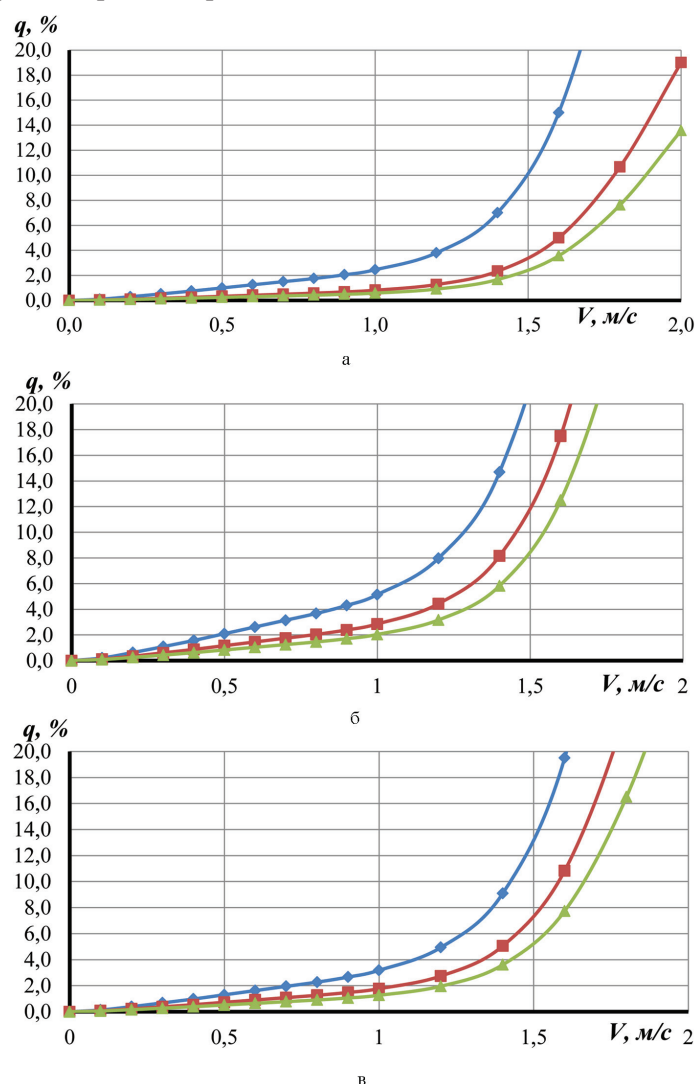
Из графиков, приведенных на рисунке 2, следует, что для яблок допустимая скорость падения на дно контейнера составляет 0,9 м/с, что соответствует высоте падения 5,2 см, скорость падения на другой плод, лежащий на жесткой поверхности – 0,5 м/с (высота падения – не более 3,5 см), скорость столкновения двух свободных плодов – не более 0,7 м/с (высота падения – не более 4,2 см).

Для вишни и черешни значения допустимой скорости движения составляют 1,8; 1,4 и 1,2 м/с соответственно. Для слив – 1,7; 1,3 и 1,1 м/с.

Результаты экспериментальных исследований по определению зависимости количества поврежденных плодов от времени, затраченного на уборку одного плода

Обеспечение уборки плодов высокого качества в настоящее время возможно только посредством ручной уборки. В данном случае немаловажным параметром, характеризующим процесс уборки, является скорость, с которой сборщики осуществляют сьем плодов, или время, затрачиваемое на сьем одного плода.

В [5] установлено, что производительность труда квалифицированных сборщиков при уборке яблок составляет 65–105 плодов в минуту, сборщиков средней квалификации – 50–94 плода в минуту. Таким образом, среднее время на сьем одного плода колеблется в пределах соответ-



а – падение плода на деревянную поверхность; б – падение плода на другой плод, лежащий на жесткой поверхности; в – столкновение плодов, двигающихся в горизонтальной плоскости друг навстречу другу с суммарной скоростью V (синий – яблоко; зеленый – вишня, черешня; красный – слива)

Рисунок 2. – Зависимость степени повреждения плодов от скорости их столкновения

ственно для квалифицированных сборщиков – 0,5–0,92 с, для сборщиков средней квалификации – 0,63–1,2 с.

В то же время нет точных данных о времени, затрачиваемом на съем косточковых плодов (сливы, вишни и черешни), а также не определено время, необходимое для качественного съема плодов без повреждений при работе сборщиков на плодосборочной платформе.

С целью установления указанной выше зависимости были проведены экспериментальные исследования.

Методика определения количества поврежденных плодов была аналогична указанной в предыдущем разделе.

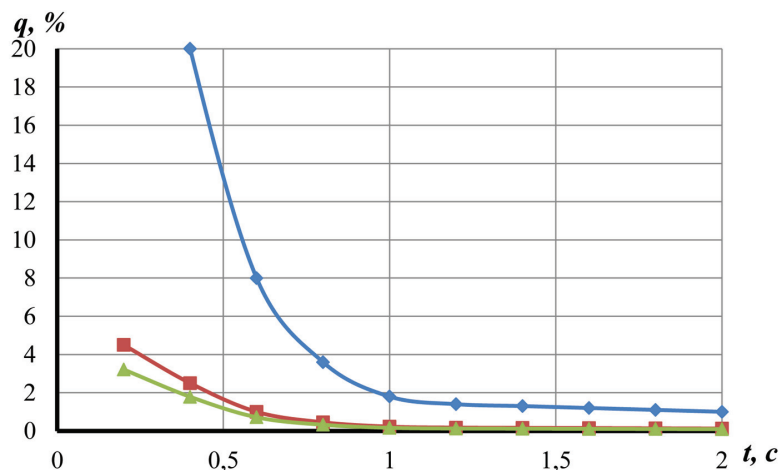


Рисунок 3. – Зависимость степени повреждения плодов от времени, затрачиваемого на съем одного плода (синий – яблоко; зеленый – вишня, черешня; красный – слива)

Из графика, приведенного на рисунке 3, видно, что для обеспечения не более 2 % повреждения плодов для яблок допустимое минимальное время на уборку одного плода составляет 0,85 с, для вишни и черешни – 0,35 с, сливы – 0,42 с.

Заключение

Для обеспечения 95 % полноты сбора яблок скорость движения платформы должна быть не более 0,15–0,25 м/с (0,54–0,9 км/ч) при урожайности 17–34 т/га. При уборке слив скорость не должна превышать 0,1–0,2 м/с (0,36–0,72 км/ч), вишни и черешни – не более 0,1 м/с (0,36 км/ч).

Для яблок допустимая скорость падения на дно контейнера составляет 0,9 м/с, что соответствует высоте падения 5,2 см, скорость падения на другой плод, лежащий на жесткой поверхности – 0,5 м/с (высота падения – не более 3,5 см), скорость столкновения двух свободных плодов – не более 0,7 м/с (высота падения – не более 4,2 см). Для вишни и черешни значения допустимой скорости движения составляют 1,8; 1,4 и 1,2 м/с соответственно. Для слив – 1,7; 1,3 и 1,1 м/с.

Для обеспечения не более 2 % повреждения плодов для яблок допустимое минимальное время на уборку одного плода составляет 0,85 с, для вишни и черешни – 0,35 с, сливы – 0,42 с.

Литература

1. Юрин, А. Н. Агрегат самоходный универсальный АСУ-6 для уборки плодов и обрезки деревьев в садах интенсивного типа / А. Н. Юрин, А. А. Лях, В. М. Резвинский, А. Д. Кузнецов // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 1. – С. 218–224.
2. Варламов, Г. П. Машины для уборки фруктов / Г. П. Варламов. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
3. Самусь, В. А. Система сельскохозяйственных машин и орудий для механизации работ в плодоводстве / В. А. Самусь, А. М. Криворот, В. А. Мычко; РУП «Институт плодоводства». – Минск, 2010. – 40 с.
4. Юрин, А. Н. Агрегат для уборки плодов и обрезки деревьев в садах / А. Н. Юрин, А. А. Лях // Сельскохозяйственная научно-техническая и рыночная информация. – 2013. – № 8. – С. 39–43.
5. Самощенко, Е. Г. Плодоводство: учебник для нач. проф. образования / Е. Г. Самощенко, И. А. Пашкина. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 320 с.

В. И. Передня

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: belagromech@tut.by*

**РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА МОЛОЧНО-ТОВАРНЫХ ФЕРМАХ
(к 70-летию со дня образования
РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»)**

В статье показано, как совершенствовались планы научных исследований в области механизации молочно-товарных ферм по мере развития сельского хозяйства.

В первые послевоенные годы деятельности института стояла задача исследования и обоснования параметров отдельных машин для механизации наиболее трудоемких процессов на фермах крупного рогатого скота. Экспериментальные установки разрабатывались, испытывались в хозяйственных условиях и затем в местах испытания оставались для эксплуатации.

С 1975 года – начала активного строительства новых ферм, встала задача разработки комплексов машин для механизации технологических процессов.

Поскольку в стране сложилось многокомпонентное кормление и сохранялась низкая продуктивность, то в первую очередь начали разрабатывать комплексы машин для кормоприготовления на основе смесителей периодического действия.

Исследования и испытания машин показали, что такое оборудование малопродуктивно, энерго- и металлоемко. Поэтому было разработано новое научное направление по разработке поточных линий с оптимизацией и совмещением технологических операций в кормоприготовлении.

На основе этих исследований были разработаны механизированные технологии и комплекты машин в области кормоприготовления, доения и раздачи кормов.

В настоящее время для эффективного использования многокомпонентного рациона и сокращения расхода кормов их готовят в виде сбалансированной по питательности кормосмеси с высокой степенью усвояемости.

Ключевые слова: исследования, параметры машин, технологии, комплексы машин, кормоприготовление, поточные линии, сбалансированные кормосмеси.

V. I. Perednya

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: belagromech@tut.by*

**DEVELOPMENT OF RESEARCH ON MECHANIZATION
AND AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES ON DAIRY-TRADE FARMS
(to the 70th anniversary of the founding of RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»)**

The article shows how the plans for scientific research in the field of mechanization of dairy farms were improved as agriculture developed.

In the first post-war years of the institute's activity, the task was to investigate and substantiate the parameters of individual machines for mechanizing the most labor-intensive processes on cattle farms. The experimental installations were developed, tested in economic conditions and then remained in the test sites for operation.

Since 1975 – the beginning of the active construction of new farms, the task was to develop machines for mechanization of technological processes.

Since the country has multicomponent feeding and low productivity, first of all began to develop complexes of machines for feed preparation based on batch mixers.

Research and testing of machines have shown that such equipment is inefficient, energy-intensive and metal-intensive. Therefore, a new scientific direction was developed to develop production lines with the optimization and combining of technological operations in feed preparation.

Based on these studies, mechanized technologies and sets of machines were developed in the field of feed preparation, milking and distribution of feed.

Currently, for the effective use of a multicomponent diet and reduce the consumption of feed, they are prepared in the form of a nutritionally balanced feed mixture with a high degree of digestibility.

Keywords: research, machine parameters, technologies, machine complexes, feed preparation, production lines, balanced feed mixtures.

Введение

Планы научных исследований в области механизации молочно-товарных ферм по мере развития сельского хозяйства постоянно совершенствовались.

Так, в первые годы деятельности института стояла задача исследования и обоснования параметров отдельных машин для механизации наиболее трудоемких процессов на фермах крупного рогатого скота. Экспериментальные установки разрабатывались, испытывались в хозяйственных условиях и затем в местах испытания оставались для эксплуатации.

С 1975 года – начала активного строительства новых ферм, потребовалась разработка комплексов машин для механизации технологических процессов.

Основная часть

В 70-х годах прошлого века особое внимание было уделено кормоприготовлению, поскольку в стране сложилось многокомпонентное кормление и сохранялась низкая продуктивность животных. Начали проектировать и создавать комплекты оборудования на базе смесителей периодического действия. Однако комплекты оборудования периодического действия не нашли широкого применения в связи с малой производительностью, большой металлоемкостью и низкой равномерностью смешивания. Так как в рационы животных вводили длинноволокнистые (силос, солома и т. д.) и мелкоизмельченные корма (комбикорм, концентраты), требовался иной подход к приготовлению кормосмесей. В процессе изучения этой проблемы было разработано новое научное направление по измельчению стебельчатых кормов с использованием встречного резания и одновременного смешивания их с мелкоизмельченными кормами в потоке [1, 2, 3].

На основании теории измельчения стебельчатых кормов лезвием с встречным резанием был разработан измельчитель-смеситель кормов вертикального типа ИСК-3 [4]. Машина для измельчения кормов методом резания с встречным резанием и одновременным смешиванием многокомпонентного рациона в бывшем Союзе была разработана и поставлена на серийное производство впервые. Всего выпущено более 130 тысяч измельчителей-смесителей кормов ИСК-3 (рисунок 1).

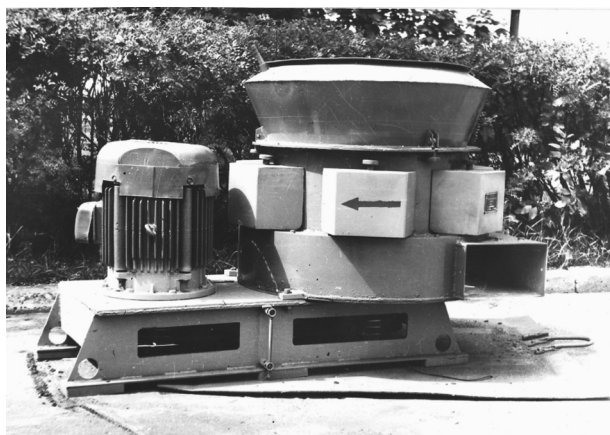


Рисунок 1. – Измельчитель-смеситель кормов ИСК-3

С применением измельчителя-смесителя кормов ИСК-3, работающего в непрерывном режиме, а также в рамках научного направления на основе теории поточности, совмещения операций, оптимизации количества машин в технологических процессах были разработаны поточная технология приготовления кормосмесей и комплект оборудования

КОРК-15 (рисунок 2) [5, 6]. КОРК-15 стал первым в Советском Союзе разработанным и поставленным на производство комплектом оборудования для приготовления рассыпных кормосмесей [7].

Во всей стране функционировало более 100 тысяч комплектов этого оборудования, а для него совместно с ГипроНИсельхозом (г. Москва) были разработаны типовые проекты кормоцехов 201-460, 801-6-4-83, 801-6-5-83 [6, 8].

Теория резания лезвием с встречным резанием легла в основу создания поточной линии измельчения стебельчатых кормов ЛИС-3, линии влаготепловой обработки соломы ЛОС-1 и ЛОС-3 (рисунок 3), также поставленных на серийное производство [9, 10].

Так как КОРК-15 применялся не только в Беларуси, но и в регионах с суровым климатом, для надежной работы линии подготовки корнеплодов к скормливанню была разработана специальная линия сухой очистки корнеплодов с сухим способом отделения посторонних примесей ЛОК-10 (рисунок 4) [11].

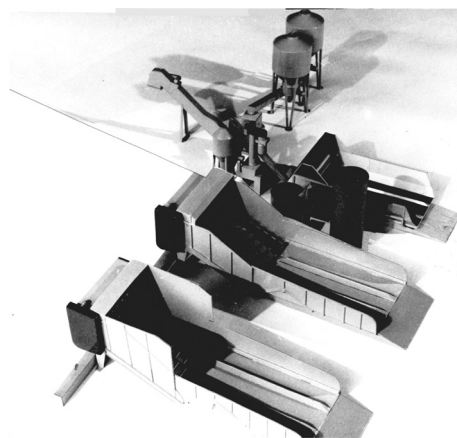
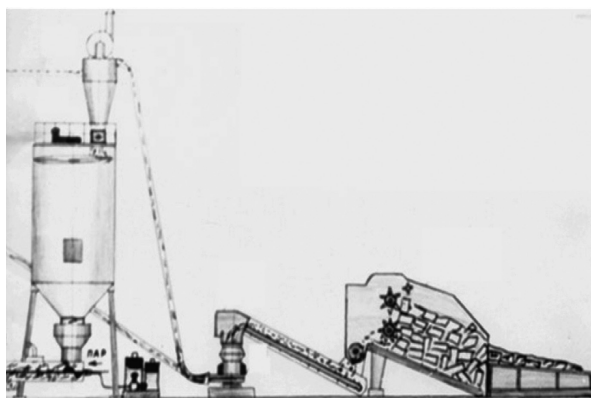
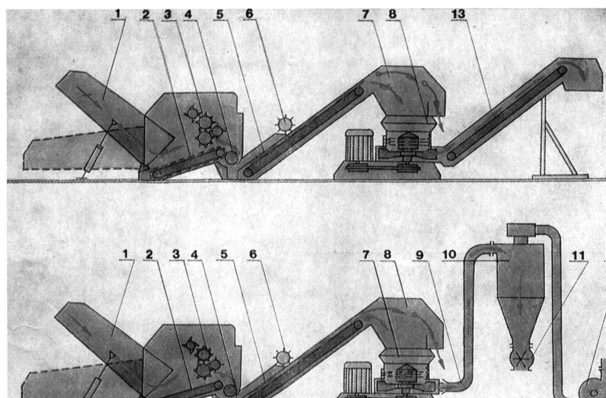


Рисунок 2. – Комплект оборудования КОРК-15



а



б

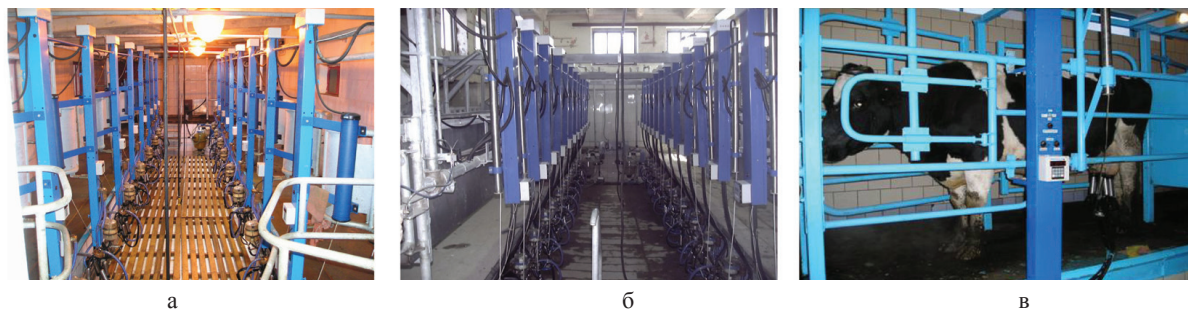
Рисунок 3. – Линия влаготепловой обработки соломы ЛОС-3 (а) и линия измельчения стебельчатых кормов ЛИС-3 (б)



Рисунок 4. – Линия сухой очистки корнеплодов с сухим способом отделения посторонних примесей ЛОК-10

Наряду с кормоприготовлением, не менее остро в 90-х годах прошлого столетия стояла проблема доения коров и первичной обработки молока. Поскольку к этому времени было создано Союзное государство, новые требования рыночной экономики обусловили разработку и утверждение российско-белорусской программы «Развитие производства оборудования для обеспечения качественной молочной продукции».

В соответствии с программой модернизирована доильная установка для доения коров в молокопровод, которую выпустило ОАО «Гомельагрокомплект». Разработаны автоматизированные доильные установки трех типов: «Тандем», «Елочка» и «Параллель» (рисунок 5) [12, 13, 14].



а) «Ёлочка»; б) «Параллель»; в) «Тандем»

Рисунок 5. – Автоматизированные доильные установки

Впервые в Беларуси разработана, изготовлена и поставлена на производство автоматизированная станция кормления СКА-25 (рисунок 6). Для ее успешного функционирования создан алгоритм кормления коров в зависимости от удоев с индивидуальной выдачей комбикормов и взвешиванием животных.

Автоматизированная станция кормления СКА-25 позволяла производить также раздой коров и включала автоматическую идентификацию животных и компьютерное управление процессом дозирования и выдачи комбикорма.

В начале 2000-х годов потребовалось техническое переоснащение животноводства и особенно молочно-товарных ферм. Модернизация ферм не мыслилась без разработки нового оборудования. Учеными научно-практического центра был разработан и поставлен на производство ряд машин, в числе которых свое достойное место заняли мобильные смесители-раздатчики РСК-12, ПРСК-12, СРК-12, ИСРВ-12 и самоходный ССР-12.



Рисунок 6. – Автоматизированная станция кормления СКА-25

Беларусь традиционно специализируется на производстве молока и молочных продуктов. Уже несколько лет белорусское животноводство является экспортно ориентированной отраслью.

Страна продает за границу порядка 56 % производимого молока и молокопродуктов. В условиях рыночной экономики основная цель производственной деятельности любого хозяйства – получение прибыли за счет производства конкурентоспособного молока, последнее должно иметь меньшую стоимость и высокое качество, что возможно только при высоких удоях.

Для получения высоких удоев необходимо кормить животных сбалансированными по питательности кормами. Это лучше всего осуществлять с помощью полнорационных комбикормов. В стране 60 % комбикормов выпускается на крупных специализированных комбикормовых заводах, а остальные 40 % – в хозяйственных цехах.

Производство комбикормов непосредственно в хозяйствах дает возможность сократить транспортные расходы на перевозку исходного сырья и готового продукта, из-за чего, по данным Института аграрной экономики НАН Беларуси, ежегодная экономия только на перевозках составляет 25–30 тыс. тонн топлива.

В целях уменьшения стоимости получаемых в хозяйствах комбикормов, а главное, обеспечения разрозненных небольших ферм сбалансированными по питательности комбикормами разработан мобильный комбикормовый завод производительностью 4 т/ч (рисунок 7) [15].



Рисунок 7. – Мобильный комбикормовый завод производительностью 4 т/ч

Как показали исследования, в хозяйствах экономически выгоднее применять такие мобильные комбикормовые установки. Они имеют ряд преимуществ:

- производство дешевого комбикорма за счет более низкой стоимости оборудования и устранения транспортных расходов по перевозке зерна и комбикорма;
- в комбикорм можно добавлять все компоненты, которые есть на данный момент в хозяйстве;
- качественное приготовление комбикорма за счет двухстадийного смешивания и послойной подачи в смеситель;
- комбикорм можно готовить в любом удобном месте, поскольку не требуется подвод электроэнергии;
- возможность использовать как в передвижном, так и в стационарном варианте;
- при отключении энергии можно использовать как временный источник электроэнергии.

Существенным недостатком при производстве в условиях хозяйств является низкая обеспеченность комбикормов белковым сырьем. Потребность в белковом сырье до последнего времени удовлетворялась только на 60–65 %, что влекло за собой перерасход зерна и повышение нормы расхода кормов на единицу продукции.

Основными источниками кормового белка остаются корма растительного происхождения. Хорошим источником протеина могут быть семена рапса и продукты их переработки.

В связи с этим в НППЦ по механизации был разработан комплект оборудования для производства белково-витаминных добавок на основе жмыха рапса (рисунок 8).

Производство белково-витаминных добавок (БВМД) на основе жмыха рапса – реальная возможность наиболее экономичного решения проблемы кормового белка.

Разработанные технология и комплект оборудования для производства БВМД на основе рапсового жмыха позволяют сократить расходы кормов на 10–16 %, снизить себестоимость продукции животноводства на 12–15 % и значительно сократить закупки импортных БВМД.

Комплект оборудования позволяет принимать зернобобовые культуры и рапс прямо из самосвального транспорта и дальше в автоматическом режиме осуществлять дозирование, измельчение, тепловую обработку методом экструзии, смешивание с комплексными минеральными добавками и премиксом, взвешивание и затаривание в мешки 20, 30, 50 кг.

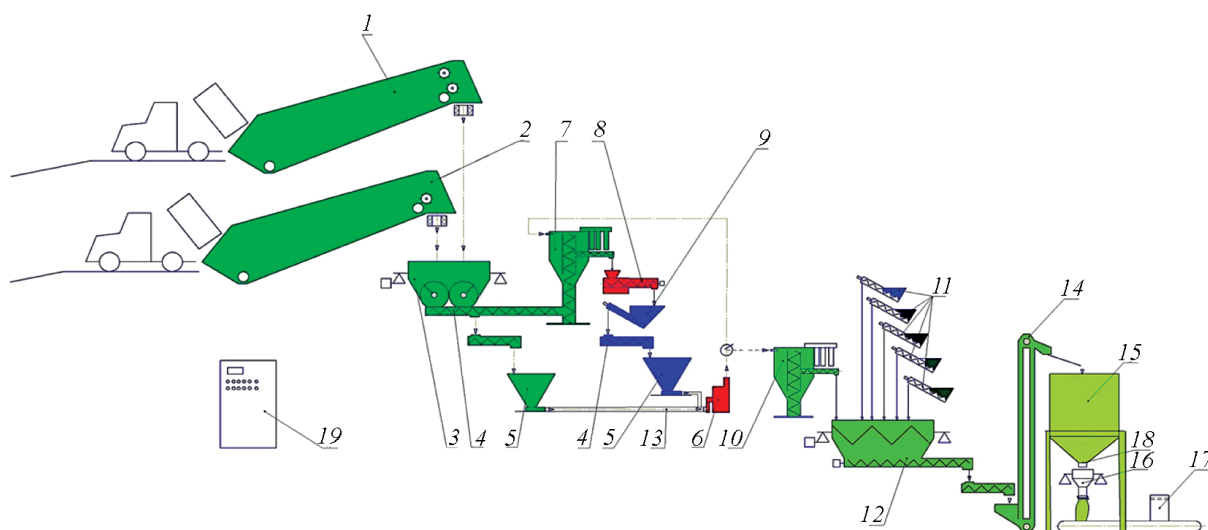


Рисунок 8. – Комплект оборудования для производства белково-витаминных добавок на основе жмыха рапса

Согласно зоотехническим исследованиям, молочная продуктивность коров закладывается на этапе их выращивания и зависит более чем на 60 % от условий содержания и кормления. В связи с этим встает проблема эффективного кормления телят молочного периода.

Основным кормом телят молочного периода в хозяйствах Беларуси является цельное молоко. В настоящее время, при дефиците молока, на выпойку одного теленка расходуют до 400 литров цельного молока, что в итоге составляет около 12–16 % его валового производства. В развитых странах скормливают не более 6–8 % молока, компенсируя остальное количество заменителем.

В зернах злаковых, бобовых и масленичных культур содержится большое количество белков, жиров, углеводов, но перевариваемость их без углубленной переработки невысока.

Зерна злаковых культур наряду с белками содержат много крахмала, который у животных усваивается медленно. Как показывают исследования, усвояемость питательного потенциала крахмала в природной форме не превышает 20–25 %, в зависимости от вида культур.

Воздействие тепла и влаги на зернобобовую смесь вызывает в ней биохимические процессы, в результате которых происходят ферментативное расщепление, декстринизация, желатинизация крахмала и другие процессы. В процессе обработки крахмал зернобобовых гидролизуются до мальтозы, дающей после присоединения воды две молекулы глюкозы. Кроме того, в качестве промежуточного продукта образуются полисахариды с разной молекулярной массой – декстрины. В зависимости от степени гидролиза их молекулярная масса понижается и они все больше приближаются к сахарам.

Исходя из приведенных выше исследований, РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству» разработана технология приготовления жидких легкоусвояемых кормов на базе местных зерновых культур, таких как узколиственный люпин, рапс, горох, овес, льносемя, в сочетании с другими обогатительными добавками и витаминно-минеральным комплексом для скормливания телятам после 30-дневного возраста [16, 17].

В основу технологии приготовления жидких легкоусвояемых кормов положена идея влаготепловой обработки зернофуража на специальной гидродинамической установке, которая позволяет прямо из зерновых компонентов получить однородную гомогенную мелкодисперсную массу. Этому способствует процесс кавитации, а после смешивания с водой продуктов, полученных при обработке белково-жирового сырья растительного происхождения на гидродинамической установке, получают высокопитательные влажные кормосмеси или заменители цельного молока, необходимые при выращивании телят. Содержание питательных веществ в получаемых кормосмесях приведено в таблице 1.

Таблица 1. – Содержание питательных веществ, г/кг

Показатели	Масса		
	Зерносмесь до обработки	Паста	%
Органическое вещество	969	968,6	99,9
Азот	43,6	42,2	96,7
Протеин	272	266	97,7
Сахар	49,2	75,1	152,6
Клетчатка	121,7	58,8	48,3
Жир	131,6	131,7	100
БЭВ	319,9	363,4	113,6
ЗОЛ	31,0	31,4	101,3

Влаготепловая обработка зернофуража позволяет получать мелкодисперсную однородную массу, которая вполне может быть использована вместо заменителя цельного молока при кормлении телят после 30-дневного возраста.

В результате влаготепловой обработки зернофуража количество питательных веществ в полученном продукте не уменьшается, количество сахара и свободных аминокислот даже несколько увеличивается, а клетчатки – уменьшается.

Как видно из таблицы 1, для сохранения количества витаминов целесообразно температурный режим приготовления зернофуража ограничить 75 °С.

В настоящее время продолжаются исследования по автоматизации параметров гидродинамического способа обработки зернофуража в легкоусвояемый корм.

Заключение

В первые годы после образования лаборатории механизации молочно-товарных ферм проводились исследования по обоснованию параметров отдельных машин для механизации трудоемких процессов.

Начиная с 80-х годов, когда активизировалось строительство новых ферм, потребовались комплекты машин. Были разработаны научное направление по созданию поточных линий с совмещением отдельных операций и оптимизацией комплектов машин, а также новая теория резания стельчатых кормов с встречным резанием и одновременным смешиванием их с другими кормами. На основании разработанной теории был поставлен на производство ряд комплектов машин.

В 2000 году встал вопрос о разработке доильного оборудования, поскольку последнее не выпускалось в Беларуси. Были проведены исследования и создана совместная российско-белорусская программа «Молоко», что позволило разработать и поставить на производство современное автоматизированное доильное и холодильное оборудование.

В настоящее время Беларусь выходит на мировой рынок по производству молока и молочных продуктов. Для получения конкурентоспособной продукции необходимо иметь высокие удои с низкими затратами, что возможно главным образом при эффективном использовании кормов. Поэтому новым актуальным направлением в научных исследованиях является задача о переработке кормов в легкоусвояемые полнорационные кормосмеси.

Литература

1. Передня, В. И. Кормоцех по приготовлению полнорационных кормосмесей с поточной линией термохимической обработки соломы / В. И. Передня, В. А. Жебко. – Минск: Ураджай, 1979. – 7 с.
2. Передня, В. И. Механизация приготовления полноценных кормосмесей в поточных линиях для эффективного использования кормов на скотоводческих фермах: дис. ... д-ра техн. наук / В. И. Передня. – Минск, 1984. – 320 с.
3. Передня, В. Методические рекомендации по оптимизации комплектов машин и оборудования для реконструируемых животноводческих ферм с использованием математических методов и ЭВМ / В. Передня, Д. Пешко, В. Рабштына. – Запорожье, 1998. – 60 с.
4. Измельчитель-смеситель кормов: а. с. 677722 А1 СССР, МПК А01F 29/00 (2000.01) / С. И. Назаров, В. И. Передня, В. А. Жебко; заявитель ЦНИИМЭСХ Нечерноземной зоны СССР. – № 2565509; заявл. 05.01.1978; опубл. 05.08.1979 // БИ. – 1979. – № 29. – 6 с.

5. Передня, В. И. Комплект оборудования для приготовления кормосмесей / В. И. Передня, Л. Я. Степук, В. А. Жабко // Сб. Проблемы создания оборудования кормоцехов. – Вильнюс, 1980.
6. Передня, В. И. Инженерные основы построения технологических линий приготовления кормовых смесей / В. И. Передня // Сб. тезисов докладов на Всесоюзной НТК «Проблемы комплексной механизации и автоматизации кормопроизводства, приготовления и раздачи кормов животным». – М.: ВАСХНИЛ, 1981.
7. Технологическая линия для приготовления рассыпных кормосмесей: а. с. 1138106 А1 СССР, МПК А23N 17/00 (2000.01) / В. И. Передня, В. В. Шумакарис, З. М. Кучинская, В. А. Жабко, Л. Я. Степук, А. В. Матеюнас, Р. П. Гашка, В. А. Мартынов, В. С. Сыманович, Э. Е. Левин, В. И. Мандрик; заявитель ЦНИИМЭСХ Нечерноземной зоны СССР. – № 3427645; заявл. 19.04.1982; опубл. 07.02.1985 // БИ. – 1984. – № 5. – 8 с.
8. Передня, В. И. Комплект оборудования для поточной линии приготовления кормосмесей / В. И. Передня, В. А. Жабко, Р. П. Гашка. – М., 1981. – 81 с.
9. Установка для измельчения грубых кормов: а.с. 908275 А1 СССР, МПК А01F 29/00 (2000.01), А01F 29/10 (2000.01) / М. М. Севернев, В. И. Передня, В. А. Жабко, В. В. Шумакарис, И. Н. Трайнис, Р. П. Гашка, Ю. К. Гаспарюнас, В. А. Мартынов; заявители: ЦНИИМЭСХ Нечерноземной зоны СССР; Головной экспериментально-конструкторский институт по машинам для переработки травы и соломы; Литовское производственное объединение «Нерис». – № 2938997; заявл. 09.06.1980; опубл. 28.02.1982 // БИ. – 1982. – № 8. – 7 с.
10. Установка для термохимической обработки соломы: а. с. 912135 А1 СССР, МПК А23N 17/00 (2000.01) / В. И. Передня, Л. Я. Степук, Р. П. Гашка, В. А. Мартынов, Ю. К. Гаспарюнас, В. А. Жабко, К. К. Сивакова, В. С. Сыманович; заявители: ЦНИИМЭСХ Нечерноземной зоны СССР; Головной экспериментально-конструкторский институт по машинам для переработки травы и соломы. – № 2993465; заявл. 08.10.1980; опубл. 15.03.1982 // БИ. – 1982. – № 10. – 7 с.
11. Способ подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию и устройство для его осуществления: а. с. 1613100 А1 СССР, МПК А23К 1/00 (2000.01) / В. И. Передня, В. В. Пусвашкис, В. Н. Полобок, М. Д. Зеленченко, И. А. Осинкин, К. К. Сивакова, В. А. Мартынов, В. Н. Трухоновец, В. И. Рига, А. В. Уткин, А. Т. Забашта; заявитель ЦНИИМЭСХ Нечерноземной зоны СССР. – № 4600301; заявл. 11.08.1988; опубл. 15.12.1990 // БИ. – 1990. – № 46. – 7 с.
12. Передня, В. И. Пути модернизации доильного оборудования для доения коров в Беларуси / В. И. Передня, В. Романюк // Сб. тр. V Междунар. науч. конф. – Варшава, 1999.
13. Передня, В. И. Переоснащение молочно-товарных ферм и комплексов Республики Беларусь новым доильным и холодильным оборудованием / В. И. Передня, В. О. Китиков, Э. П. Сорокин // Труды 10 международного симпозиума по машинному доению животных и переработке молока. – Переславль-Залесский, 2000.
14. Передня, В. И. Современное энергосберегающее оборудование для эффективного доения коров в залах / В. И. Передня, В. О. Китиков, Э. П. Сорокин // Энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 2-й Междунар. НТК к 70-летию ВИЭСХ. – М.: ВИЭСХ, 2000.
15. Мобильный агрегат для приготовления комбикорма: а.с. 20107 ВУ, МПК А23N17/00 (2006.01) / В. И. Передня, В. И. Хруцкий, А. М. Тарасевич, А. А. Кувшинов; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № а20121200; заявл. 14.08.2012; опубл. 30.04.2014 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 3. – С. 62–63.
16. Способ приготовления жидкого зернового корма: а. с. 2313229 С1, РФ, МПК А23К 1/00 (2006.01), А23К 1/14 (2006.01) / Ю. А. Цой, И. Э. Мильман, А. И. Зеленцов, В. И. Передня, А. Д. Селезнев, В. И. Хруцкий, А. В. Китун; заявитель ГНУ ВИЭСХ. – № 2006118933/13; заявл. 31.05.2006; опубл. 27.12.2007 // Изобретения. Полезные модели / Официальный бюллетень ФГУ ФИПС. – 2007. – № 36. – 5 с.
17. Новая технология производства ЗЦМ / И. И. Горячев [и др.] // Белорусское сельское хозяйство. – 2008. – № 8. – С. 45–47.

В. А. Афанасьев

*АО «Всероссийский научно-исследовательский институт
комбикормовой промышленности» (АО «ВНИИКП»)
г. Воронеж, Российская Федерация
e-mail: vnii_kp@yml.ru*

СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОМБИКОРМОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ

В статье приводятся результаты аналитических исследований состояния и развития комбикормовой отрасли России в 2012–2017 годах и делается прогноз ее развития на ближайшую перспективу.

Ключевые слова: комбикорма, полнорационные комбикорма, премиксы, БВМК, птицы, свиньи, КРС, рыбы, цены, сырье, кормовые белки, аминокислоты, себестоимость, рентабельность, импортозамещение, агрохолдинги.

V. A. Afanasev

*«Ail-Russian Scientific Research Institute of feed industry» Joint-Stock
Company («RSRIFI» JSC), Voronezh, Russian Federation
e-mail: vnii_kp@yml.ru*

STATUS AND KEY TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF COMBIKORMUM INDUSTRY OF RUSSIA

In the article presents the results of the analyses of the status and development of feed industry of Russia for 2012–2017 years and makes a forecast of its development in the near future.

Key words: forage, complete forage, premixes, PVMC, birds, pigs, cattle, fish, prices, raw materials, proteins, amino acids, cost, ROI, import substitution, agricultural holdings.

Введение

Основные направления развития сельского хозяйства России на 2013–2020 годы определены государственной программой. Новый импульс для решения поставленных в ней задач дает Указ Президента Российской Федерации «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства» на 2017–2025 годы от 21 июля 2016 года № 350. Отрадно отметить, что в рамках разрабатываемой Минсельхозом Российской Федерации программы, направленной на реализацию этого Указа, комбикормовой отрасли посвящена подпрограмма «Производство высококачественных кормов и кормовых добавок для животных».

Комбикормовая отрасль неразрывно связана с производством животноводческой и птицеводческой продукции. Поэтому преобладающие тенденции в этих отраслях напрямую отражаются на комбикормовой промышленности.

Показатели по мясу и мясопродуктам в результате серьезной государственной поддержки, которая оказывалась этим отраслям последние годы, демонстрировали стабильный положительный рост. Производство мяса в России в 2016 году увеличилось на 13,3 % по сравнению с 2015 годом. Этот прирост в основном связан с увеличением производства свинины. Так, согласно данным Минсельхоза, производство говядины за первые пять месяцев 2016 года увеличилось на 3,6 % и возросло в абсолютных показателях всего до 364,2 тыс. тонн, по свинине прирост составил 15,4 % (до 1,389 млн тонн), а по птице – 5,8 % (до 2,377 млн тонн). При этом, согласно Росстату, поголовье свиней за первые семь месяцев выросло на 6,4 % – до 23,4 миллиона [1].

Развитие животноводства невозможно без профессионального, научно обоснованного кормления, без производства полнорационных комбикормов.

Объекты исследований

Объектами исследований являлись данные статистических наблюдений в комбикормовой отрасли относительно объемов производства комбикормов, БВМК, премиксов, сырья и динамики их цен.

Результаты исследований

По данным Росстата, объем производства комбикормов в последние годы ежегодно увеличивается на 5–7 % и более [1].

За 2016 г. в стране произведено на 4,1 % больше комбикормов, чем за 2015 г. (за 2015 г. – 24 586 451 тонна, за 2016 г. – 25 590 816 тонн) (таблица 1).

Таблица 1. – Производство комбикормов в России, тонн

	2014 г.	2015 г.	2016 г.
январь	1 852 622	1 962 353	2 075 506
февраль	1 759 283	1 865 349	2 082 225
март	1 960 437	2 066 306	2 223 932
апрель	1 936 593	2 048 610	2 162 071
май	1 937 217	2 040 232	2 178 108
июнь	1 847 829	1 974 344	2 086 808
июль	1 897 694	2 053 373	2 062 710
август	1 903 938	2 061 247	2 099 410
сентябрь	1 898 952	2 043 342	2 107 374
октябрь	2 021 638	2 174 384	2 165 624
ноябрь	1 947 061	2 122 044	2 191 129
декабрь	2 049 692	2 174 868	2 155 919
Всего	23 012 956	24 586 451	25 590 816

За 7 месяцев 2017 г. в Российской Федерации произведено 15,5 млн тонн комбикормов, это на 4,5 % больше, чем в аналогичный период 2016 г., в том числе: для птиц – 8,8 млн тонн (на 7,5 % больше, чем в аналогичный период 2016 г.), для свиней – 5,5 млн тонн (на 1,4 % больше, чем в аналогичный период 2016 г.), для КРС – 1,2 млн тонн (на 2,1 % меньше, чем в аналогичный период 2016 г.). Три основных направления, которые формируют более 99,5 % всего производства комбикормов – это комбикорма для птицы, свиней и крупного рогатого скота (КРС). Первые две категории уверенно прибавляют от года к году.

В сравнении с объемами производства комбикормов внутри страны доля их импорта крайне мала. В основном импортируются комбикорма для рыб, в 2016 году их импорт составил около 40 тыс. тонн.

С начала 2016 г. средняя цена комбикормов в стране снизилась на 1,7 %. За период с января 2014 г. минимальная цена на комбикорма в России была зафиксирована в январе 2014 г. – 11,4 тыс. руб./т; максимальной стала цена в августе 2016 г. – 16,8 тыс. руб./т (таблица 2).

Таблица 2. – Средние цены на комбикорма в России, руб./т

	2014 г.	2015 г.	2016 г.
январь	11 446	13 894	16 128
февраль	11 610	14 943	16 423
март	11 736	15 268	16 186
апрель	11 906	15 409	16 076
май	12 139	15 153	16 366
июнь	12 278	15 200	16 475
июль	12 541	15 359	16 743
август	12 464	15 423	16 765
сентябрь	12 142	16 012	16 598
октябрь	11 900	16 100	16 222
ноябрь	12 183	16 314	16 056
декабрь	12 971	16 311	15 857

С учетом задач, поставленных в последних программах по развитию сельского хозяйства, потребность в полнорационных комбикормах в России только для сельскохозяйственных организаций составит к 2025 г. 38,0 млн тонн.

В комбикормовой промышленности в последние годы существенно изменилась ситуация с производством БВМК и премиксов. Несколько лет подряд наблюдался постоянный рост объемов производства этой продукции. В 2016 г. объем производства БВМК составил 214,6 тыс. тонн (таблица 3).

Таблица 3. – Производство БВМК, тонн

	2014 г.	2015 г.	2016 г.
январь	10 424	12 919	15 638
февраль	10 889	12 436	15 194
март	12 062	14 906	20 851
апрель	12 947	15 129	16 842
май	10 994	14 232	15 678
июнь	10 488	14 365	17 847
июль	10 309	14 365	15 967
август	10 061	14 496	18 348
сентябрь	11 550	13 390	14 168
октябрь	13 667	15 541	20 242
ноябрь	14 081	29 623	20 304
декабрь	16 509	28 397	23 562
Итого	143 982	199 799	214 641

Сохраняется также тенденция к увеличению производства премиксов. В 2016 г. в стране произведено на 7,8 % больше премиксов, чем в 2015 (в 2015 г. этот показатель составил 14,0 %) (таблица 4).

Таблица 4. – Производство премиксов, тонн

	2014 г.	2015 г.	2016 г.
январь	14 986	16 540	17 588
февраль	16 785	19 388	22 338
март	17 341	23 830	22 544
апрель	18 706	21 517	22 785
май	18 779	21 271	19 971
июнь	18 286	21 792	21 442
июль	17 705	20 809	21 837
август	17 165	19 861	22 881
сентябрь	18 938	18 225	23 695
октябрь	20 180	22 205	23 025
ноябрь	20 245	22 304	23 230
декабрь	23 549	26 157	32 481
Итого	222 663	253 899	273 817

В 2016 г. производство премиксов в денежном выражении составило 36058,5 млн рублей, это по сравнению с 2015 г. на 23,6 % больше (в 2015 г. по сравнению с 2014 г. производство премиксов в денежном выражении увеличилось в 1,56 раза) (таблица 5).

Таблица 5. – Производство премиксов в денежном выражении, млн рублей

	2014 г.	2015 г.	2016 г.
январь	1 173,9	1 669,4	2 241,0
февраль	1 371,5	1 900,9	3 210,7
март	1 395,1	2 900,7	2 999,5
апрель	1 593,3	2 371,7	3 097,0
май	1 470,7	2 500,6	2 874,3
июнь	1 466,9	2 465,6	2 722,8
июль	1 519,4	2 367,0	2 873,9
август	1 493,4	2 266,0	2 955,0
сентябрь	1 729,1	2 136,4	3 134,5
октябрь	1 745,7	2 765,9	2 878,2
ноябрь	1 781,9	2 525,7	2 946,3
декабрь	1 972,2	3 294,4	4 125,2
Итого	18 713,1	29 164,2	36 058,5

Продукция отечественных предприятий практически не уступает по качеству импортной и может конкурировать на рынке. Но при этом нужно учитывать, что для производства премиксов все сырье поступает из-за рубежа, а для БВМК эта цифра составляет 75–80 %. В настоящее время Россия уже насыщена мощностями по производству премиксов, при строительстве заводов и цехов используется современное оборудование с применением зарубежных технологий. Главной проблемой является отсутствие сырья для производства этого вида продукции. Импорт витаминных препаратов составляет 100 %, аминокислот (лизина, треонина и триптофана) – 100 %, кормовых ферментных препаратов – до 80 %. При этом необходимо учитывать, что их стоимость в России на 30 % и более выше, чем в Европе, а это оказывает большое влияние на стоимость конечной продукции, так как объем витаминов в составе премиксов составляет 90 % и более [2].

При поставке биологически активных компонентов в Россию производители премиксов платят налог НДС 18 %, а при продаже их сельхозпроизводителям – 10 %.

Одной из важных проблем является возрождение отечественной микробиологической промышленности, производящей компоненты премиксов. Так, в 2016 г. в некоторых регионах России открылись заводы по производству лизина. С учетом того, что производство метионина уже есть, можно ожидать, что большая часть потребности рынка кормовых аминокислот будет обеспечена за счет внутреннего производства. В таблице 6 приведены данные по валовому сбору основных сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий Российской Федерации за период с 2014 по 2016 год.

Таблица 6. – Валовой сбор сельхозпродукции, млн тонн

Наименование сельхозпродукции	Валовой сбор сельхозпродукции, млн тонн		
	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Зерновые и зернобобовые культуры, всего	106,7	104,8	119,1
в том числе:			
пшеница	61,1	63,9	73,3
ячмень	21,0	18,3	19,1
овес	5,3	4,5	4,0
кукуруза на зерно	9,1	13,0	13,8
Рожь	3,3	2,1	2,5
Сахарная свекла	33,2	37,9	48,3
Подсолнечник на зерно	7,9	9,6	10,7
Соя	2,0	2,7	3,1
Рапс	1,4	1,1	1,1

Одним из важных направлений развития АПК является разработка структуры производства зерновых и зернобобовых культур и реализация мероприятий по производству кормовых продуктов на основе отходов пищевых отраслей АПК. В настоящее время удельный вес зерновых компонентов в общем объеме комбикормов составляет свыше 70 %. При достаточном предложении фуражного зерна в стране все острее ощущается нехватка качественных шротов, гороха, сои, рапса – источников белка растительного происхождения [3, 4].

Из-за несбалансированности кормов для сельскохозяйственных животных, птицы и рыбы как по содержанию белка, так и по аминокислотному составу на производство животноводческой продукции в нашей стране затрачивается в 2 раза больше кормов по сравнению с нормативами развитых стран.

Ввиду ограниченности ресурсов традиционные виды белкового сырья (жмыхи и шроты, рыбная и мясокостная мука) часто не могут обеспечить комбикормовую отрасль белком [4]. Удельная масса перечисленных компонентов в вырабатываемых отечественной промышленностью комбикормах составляет: жмыхи и шроты – 8–9 %; корма животного происхождения – 0,7–1,0 %, что является явно недостаточным [5].

В 2016 г. по сравнению с 2015 г. производство жмыхов в стране выросло на 9,8 % и составило 7,5 млн тонн (в 2015 г. по сравнению с 2014 г. производство жмыхов выросло на 11,4 %) (таблица 7).

Таблица 7. – Производство жмыхов и прочих твердых остатков растительных жиров или масел, тонн

	2014 г.	2015 г.	2016 г.
январь	475 397	598 099	624 640
февраль	456 849	613 578	636 582
март	530 974	631 141	578 337
апрель	456 126	579 492	538 312
май	440 686	521 079	544 197
июнь	424 397	473 035	618 615
июль	388 651	436 320	506 378
август	332 961	337 285	456 395
сентябрь	503 858	501 643	560 475
октябрь	673 711	683 143	766 343
ноябрь	750 473	723 612	810 640
декабрь	677 776	712 466	838 344
Всего	6 111 858	6 810 893	7 479 258

С января по декабрь 2016 года цена российских жмыхов выросла на 14,2 % и составила 24,4 тыс. руб./т (таблица 8). На сегодняшний день только две культуры в мире способны полностью удовлетворить потребности современного животноводства в белке – соя и люпин. Динамика объемов производства жмыхов и шротов трех культур приведена в таблице 9.

Таблица 8. – Средние цены на жмых в России, руб./т

	2014 г.	2015 г.	2016 г.
январь	7 592	11 319	13 690
февраль	7 339	12 061	15 027
март	8 231	12 343	14 667
апрель	8 754	12 057	14 007
май	9 140	11 812	14 991
июнь	9 473	11 576	17 582
июль	10 377	12 238	20 739
август	8 445	15 347	21 688
сентябрь	8 614	16 003	24 391
октябрь	8 702	14 527	17 235
ноябрь	8 590	12 898	15 396
декабрь	10 029	12 479	15 633

Таблица 9. – Динамика объемов производства жмыхов и шротов трех масличных культур в России в 2012–2016 годах (тыс. тонн)

	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Подсолнечные	3200	3300	4200	3 380	3980
Соевые	1450	1400	1550	1770	1950
Рапсовые	350	310	400	325	300
Итого	5000	5010	6150	5475	6230

Разница заключается в том, что для американского континента с его теплым климатом больше подходит соя, а для холодных континентальных условий России – люпин [5].

Люпин – лучшая сельскохозяйственная культура для полей России. Белый люпин содержит 37–40 % белка, практически аналогичен по аминокислотному составу сое [3].

Люпин – себестоимость 4–6 тыс. руб. за 1 тонну, урожайность 25–40 ц/га, засухоустойчив, легко адаптируется в зонах рискованного земледелия.

Соя – себестоимость 8–12 тыс. руб. за тонну, урожайность 15–25 ц/га, очень влаголюбивая культура [4].

Увеличение количества компонентов с повышенным содержанием протеина и энергии оказывает положительное влияние на повышение качества комбикормов и их себестоимость. Необходимо ежегодно увеличивать производство зернобобовых культур, кукурузы, количество предприятий по их переработке, а также увеличивать использование побочных продуктов пищевой и перерабатывающих отраслей АПК.

Заключение

В современной комбикормовой промышленности России насчитывается около 500–600 предприятий, среди которых много новых, оснащенных дорогостоящим иностранным оборудованием, в связи с чем стоимость их продукции высока, а это, в свою очередь, ведет к повышению себестоимости животноводческой продукции. Сегодня существует острая необходимость создавать отечественное импортозамещающее оборудование и высокоэффективные технологии. Национальная продовольственная безопасность базируется на концепции самообеспечения основными видами продовольствия. Мировой опыт свидетельствует, что страна сохраняет независимость, если доля импорта к внутреннему потреблению составляет 20–25 %.

Только комбикормовые заводы, используя достижения научно-исследовательских центров и лабораторий, современные БВМК, премиксы и добавки, могут производить корма, которые обеспечивают промышленное производство мяса, молока, яиц и иных продуктов, гарантирующих продовольственную безопасность России. В этом производстве рентабельность составляет 10–12 %, а для того, чтобы получать 20 %, надо постоянно совершенствоваться.

В настоящее время на рынке комбикормов растет доля агрохолдингов: компании заявляют о планах увеличения производства мяса свинины и птицы, а значит, станут расширяться и их мощности по выпуску кормов – маловероятно, что кто-то захочет начинать с нуля проекты по бройлеру или свинине. Рынок постепенно станет переходить к модели концентрации производства в агрохолдингах. Чтобы обеспечить дальнейшее развитие комбикормовой отрасли, необходимо увеличение как инвестиций, так и числа инновационных разработок. Обнадеживающим обстоятельством, способствующим движению в этом направлении, может стать принятие подпрограммы «Производство высококачественных кормов и кормовых добавок для животных».

Литература

1. Данные ЕМИСС за 2013–2017 гг. // Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fedstat.ru/>. – Дата доступа: 18.08.2017.
2. Косолапов, В. М. Кормопроизводство в сельском хозяйстве, экологии и рациональном природопользовании (теория и практика) / В. М. Косолапов, И. А. Трофимов, Л. С. Трофимова. – М.: Издательский дом «Типография» Россельхозакадемии, 2014. – 135 с.
3. Штеле, А. Л. Белый люпин – новый белковый корм для высокопродуктивной птицы / А. Л. Штеле // Птицеводство. – 2013. – № 10. – С. 27–33.
4. Петриченко, В. Рекорд по сое очевиден / В. Петриченко // АГРОХХІ – агропромышленный портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agroxxi.ru/> – Дата доступа: 29.07.2015.
5. Артюхов, А. Люпин – эффективный источник белка / А. Артюхов // Животноводство России. – 2014. – № 1. – С. 55–57.

УДК 637.1:621.921.8

Поступила в редакцию 17.05.2017

Received 17.05.2017

В. И. Передня, Ю. А. Башко, А. А. Кувшинов, И. А. Ступчик

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: belagromech@tut.by

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО РЕСУРСА СОСКОВОЙ РЕЗИНЫ

Одним из важнейших узлов любой доильной установки является сосковая резина, поскольку от нее зависит количество и жирность получаемого молока, продолжительность доения, здоровье животных и качество молока. В связи с этим сосковая резина должна хорошо удерживать стаканы на сосках вымени, предупреждая их спадание и напозвание, не препятствовать истечению молока из вымени и одновременно плотно облегать соски выше зоны сфинктера, чтобы предохранить их от травмирующего воздействия вакуума во время такта сосания и полностью перекрывать доступ разряжению к соскам при такте сжатия

(отдыха) для восстановления в них нормального кровообращения. Для выполнения указанных функций и требований, как показывают многочисленные исследования, главными параметрами сосковой резины должны быть упругость (эластичность, жесткость) и удлинение. Упругие свойства резины влияют на продолжительность такта сосания и сжатия: чем жестче сосковая резина, тем больший перепад давления нужно приложить к ее стенкам, чтобы они сомкнулись под соском коровы в такте сжатия, то есть такт сжатия будет наступать несколько позднее, и его продолжительность, следовательно, уменьшится. Во время эксплуатации сосковая резина «стареет», что приводит к увеличению жесткости, снижению массажного действия на соски, увеличению времени на такт отдыха (сжатия), увеличению времени доения и появлению микротрещин на внутренней поверхности, где накапливаются молочные жиры и появляются микроорганизмы. Как показывают исследования компании Kingston, эффективное использование сосковой резины не должно превышать 2500 короводоек. При техническом обслуживании отечественная сосковая резина может эффективно функционировать не более 2300 короводоек.

Ключевые слова: сосковая резина, доильные стаканы, молоко, качество молока, такт сосания, сжатие, упругость, жесткость сосковой резины.

V. I. Perednya, Y. A. Bashko, A. A. Kuvshinov, I. A. Stupchik

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: belagromech@tut.by*

TO THE QUESTION OF DETERMINING THE EFFECTIVE RESOURCE OF NIPPLE RUBBER

The article shows that one of the most important knots of any milking plant is a nipple rubber, since the amount and fat content of the milk obtained, the length of milking, the health of animals and the quality of milk depend on it. In this regard, the nipple rubber should well hold the glasses on the udder's nipples, preventing them from falling and crawling, not to prevent the flow of milk from the udder and at the same time tightly fit the nipples above the sphincter zone to protect them from the traumatic effect of the vacuum during the sucking cycle and completely block access Discharge to the nipples with a compression stroke (rest) to restore normal circulation in them. To fulfill these functions and requirements, as shown by numerous studies, the main parameters of the nipple rubber should be elasticity (elasticity, rigidity) and elongation. The elastic properties of rubber affect the duration of the sucking and squeezing stroke, the harder the nipple rubber, the greater the pressure drop must be applied to its walls so that they close under the nipple of the cow in the compression stroke, that is, the compression stroke will come a little later, and its duration will therefore decrease. During operation, the nipple rubber «ages», which leads to an increase in stiffness, a decrease in the massage effect on the nipples, an increase in the time spent on resting (compressing), increasing the time of milking and the appearance of microcracks on the inner surface where milk fats accumulate and microorganisms appear. As shown by Kingston's research, effective use of teat rubber should be no more than 2500 cow. With maintenance, domestic nipple rubber can effectively serve no more than 2300 cowworms.

Keywords: nipple rubber, milking cups, milk, milk quality, sucking tact, compression, elasticity, stiffness of nipple rubber.

Введение

За последние 10 лет Беларусь увеличила экспортные поставки молочной продукции, доведя их до 5 % от мирового экспорта. Между тем стоимость и качество производимого молока во многих хозяйствах страны не соответствует конкурентным требованиям. Так, например, средняя жирность молока белорусского производства около 3,6 %, а в странах ЕС – 3,9–4 %.

Причин тому много – от неудовлетворительной кормовой базы многих хозяйств, слабой селекционной работы до некачественной эксплуатации доильного оборудования.

Результаты исследований

Одним из основных узлов любой доильной установки является сосковая резина, которая контактирует с сосками вымени и, как показывают исследования, от воздействия которой зависят интенсивность и полнота молоковыведения, являющиеся функциональной особенностью рефлекторной системы, а также начало и окончание доения, качество молока, воздействие вакуума на соски и т.д.

На динамику молоковыведения большое влияние оказывают свойства сосковой резины: длина, жесткость (упругость), форма, размер чулковой части и головка присоска [1]. Сосковые чулки должны хорошо удерживать доильные стаканы на сосках вымени, предупреждая их спадание или напозание, и препятствовать истечению молока. Кроме того, сосковая резина должна плотно облегать соски выше зоны сфинктера, чтобы предохранять их от травмирующего воздействия вакуума во время такта сосания и перекрывать доступ разрежению к соскам при такте сжатия (отдых) для восстановления в них нормального кровообращения.

Трудность выполнения этих требований заключается в том, что в молочном стаде коровы имеют различную длину, толщину и конфигурацию сосков. Результаты проведенных исследований и практический опыт показывают, что 20–25 % коров в Беларуси не соответствуют требованиям пригодности к машинному доению [2, 3]. Несмотря на упомянутые трудности, в условиях эксплуатации нельзя изменить параметры имеющейся в наличии сосковой резины, а также параметры вымени. Можно только уменьшить негативные воздействия сосковой резины на сосок путем правильного подбора резины и своевременного проведения диагностики.

Чтобы сосковая резина обеспечила должный эффект, в первую очередь молочное стадо должно быть подобрано более однородным как по морфологическим особенностям вымени, так и по продуктивности. Размер и форму сосковой резины нужно подобрать по наибольшему количеству сходных параметров сосков, животные со значительными отклонениями от средних показателей по группе не должны приниматься.

Как показывают исследования и многочисленные данные литературных источников [4], главными параметрами сосковой резины, влияющими на процесс доения и здоровье животных, являются упругость (жесткость, эластичность) и удлинение [4, 5, 6]. Однако нет единых методик дефектовки, не определены достоверные данные по комплектованию сосковой резины по группам жесткости как в одном аппарате, так и в аппаратах, закрепленных за одним оператором машинного доения [4–10]. Трудно судить и по срокам возможной эффективной эксплуатации сосковой резины, поскольку одни авторы дают данные ресурсной наработки в часах, другие – в днях, а некоторые – в короводойках [3, 8, 11].

От упругости (жесткости, эластичности) сосковой резины зависят интенсивность, полнота выдаивания, показатели надоев, здоровье животных. Новая сосковая резина имеет высокую упругость, что обеспечивает массаж сосков и стимуляцию вымени.

Корова отдаст молоко не только в результате механического процесса его отсасывания доильным аппаратом, но и включения физиологических процессов, которыми управляет мозг животного. Насколько эффективны будут эти процессы, сколько гормона окситоцина выделится в кровь и как долго он будет действовать, во многом зависит от массажа сосков и стимуляции вымени [2].

Анализ многочисленных экспериментов свидетельствует о том, что упругость сосковой резины больше, чем любой другой фактор, влияет на величину надоев и здоровье животных. Только из-за ухудшения упругости сосковой резины увеличивается травмирование сосков вымени и заболеваемость коров маститами на 6–8 % [1–9, 12].

При длительной эксплуатации снижается натяжение сосковой резины, которая растягивается до 30 мм, что приводит к изменению также упругих свойств резины, а на внутренней поверхности образуются многочисленные мельчайшие трещины [6], где накапливаются микроорганизмы, которые ухудшают качество молока.

Эти факторы приводят к повышению бактериальной обсемененности молока, снижению его качества, повышению вероятности инфицирования вымени, снижению продуктивности и к ранней выбраковке коров.

При доении коров с использованием удлиненной сосковой резины происходит:

- снижение массажного действия, что приводит к уменьшению эффекта стимуляции тока крови в сосках вымени;
- увеличение продолжительности воздействия вакуума на соски из-за уменьшения времени такта сжатия (отдых) и нарушения кровообращения в сосках;
- снижение интенсивности полноты молоковыведения.

По данным лаборатории физиологических механизмов лактации отдела физиологии и биохимии лактации Федерального научного центра животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста [3], скорость молоковыведения, зависящая от сосковой резины, – это параметр, который несет наиболее ценную информацию о характере проявления рефлекса молокоотдачи и тесным образом связан со скоростью молоковыведения, величиной разового удоя и жирностью молока, что подтверждено экспериментальными данными [5] (рисунки 1–3).

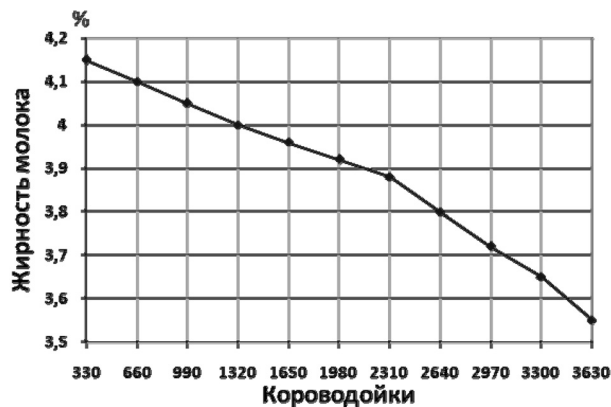


Рисунок 1. – Зависимость жирности молока от времени использования сосковой резины Д.00.41А

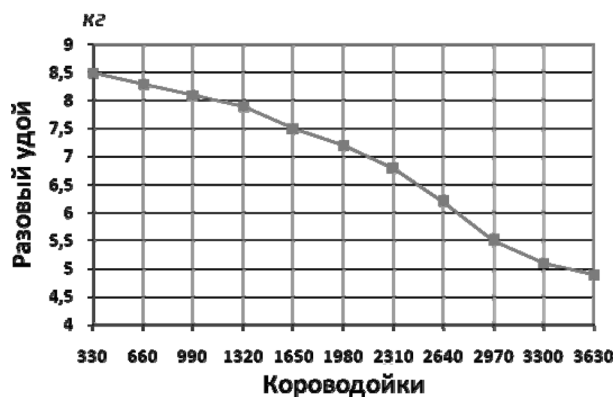


Рисунок 2. – Зависимость разового удоя от времени использования сосковой резины Д.00.41А

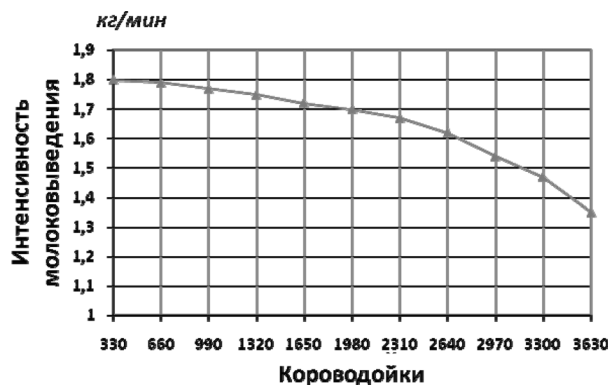


Рисунок 3. – Зависимость интенсивности молоковыведения от времени использования сосковой резины Д.00.41А

Из рисунка 3 видно, что при правильном подборе сосковой резины для стада животных она положительно влияла на уровень реализации рефлекса молокоотдачи. Так, до 660 короводоек средняя интенсивность молоковыведения находилась на относительно высоком уровне, и только после 990 короводоек начался процесс плавного уменьшения, а после 2300 короводоек стало более интенсивно уменьшаться молоковыведение.

Жирность молока (рисунок 1) после 2300 короводоек несколько в меньшей степени, чем интенсивность молоковыведения, но также начала уменьшаться.

Данные рисунков 1–3 свидетельствуют, что отечественная сосковая резина при ее качественном техническом обслуживании перед доением, во время доения и после окончания доения может эффективно обслуживать животных не более 2300 короводоек.

В результате исследований, проведенных компанией Kingston, было выявлено, что эффективное использование сосковой резины после 2500 доений нерентабельно (рисунок 4) [13].

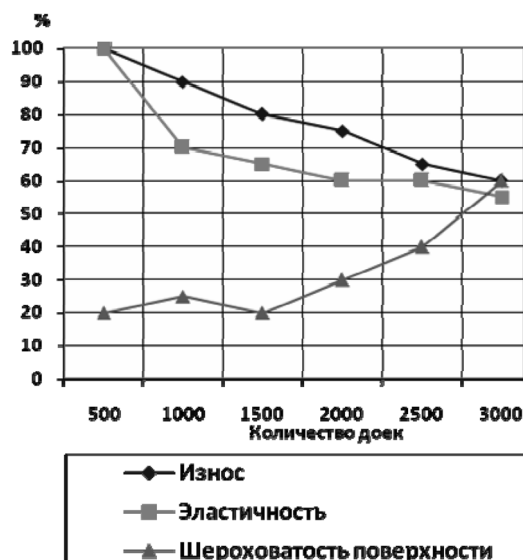


Рисунок 4. – Изменение физико-механических свойств резины в процессе эксплуатации

Как следует из рисунка 4, в процессе работы сосковой резины при достижении 2500 доений ее дальнейшее использование с такими физико-механическими свойствами становится нецелесообразным и опасным для здоровья животных.

Как было подчеркнуто выше, упругость сосковой резины и ее удлиненность в наибольшей степени влияют на процесс молоковыведения, удой и заболеваемость животных. Были проведены исследования для определения упругости (жесткости) сосковой резины. Упругие свойства, как показывают литературные источники, целесообразнее определять величиной вакуума смыкания сосковой резины под соском коровы в такте сжатия, а не удлинением. Величина вакуума смыкания, как показывают результаты исследований, должна находиться в пределах 6–10 кПа, а разброс ее в одном доильном аппарате не должен превосходить 0,6 кПа.

Результаты средних измерений величины вакуума смыкания сосковой резины в зависимости от наработки представлены на рисунке 5.

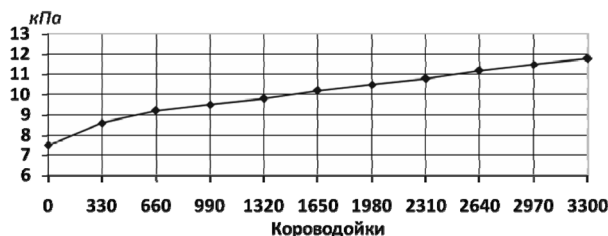


Рисунок 5. – Зависимость величины вакуума смыкания от времени наработки

Анализ изменения величины вакуума смыкания сосковой резины показал, что наиболее интенсивно упругость сосковой резины изменялась в течение 330–660 доек. В последующие сроки наработки увеличение вакуума смыкания носило практически прямолинейный характер.

Исследования величины вакуума смыкания проводились лишь до 60 дней, или 2000 короводоек. За указанный срок средняя величина вакуума смыкания противоположных стенок сосковой резины увеличилась с 7,35 до 10,2 кПа [5].

Наряду с упругостью сосковой резины учитывали изменение длины чулка и толщины стенок. Длина активной части сосковой резины увеличилась на 18 мм, а толщина стенок уменьшилась на 0,2 мм относительно первоначальной.

Разброс вакуума смыкания в одном доильном аппарате относительно первоначальных значений достигал значительных величин – 0,4...0,7 кПа.

Заключение

Эффективным сроком эксплуатации сосковой резины типа ДД.00.41А целесообразно считать 2300 короводоек. Использование сосковой резины свыше установленного срока будет приводить к напряжению физиологических функций организма, значительному снижению уровня молокоотдачи, потере молока, молочного жира и ухудшению здоровья животных.

После 1000 короводоек целесообразно произвести перенатяжение сосковой резины, а также возможна перекомплектация ее в доильном аппарате. Для выполнения такой работы хозяйство должно иметь прибор по определению величины вакуума смыкания.

Доильные аппараты должны комплектоваться сосковой резиной одинаковой упругости и при выявлении разницы более 0,7 кПа по величине вакуума смыкания хотябы в одной сосковой резине необходимо заменить все сосковые резины в аппарате.

Литература

1. Борознин, В. А. Определение оперативного ресурса сосковой резины / В. А. Борознин, А. В. Борознин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 4. – С. 15–16.
2. Курак, А. С. Реализация рефлекса молокоотдачи и физиологическое состояние молочной железы коров при применении усовершенствованной технологии машинного доения / А. С. Курак, М. В. Барановский, О. А. Кажико // Зоотехническая наука Беларуси. – 2011. – Т. 46. – № 2. – С. 211–218.
3. Кожешко, О. А. Биотехнологическое обоснование срока эксплуатации сосковой резины: дис. ... канд. с.-х. наук / О. А. Кожешко. – Жодино: БелНИИЖ, 1993.
4. Козлов, А. Н. Исследование сосковой резины доильных аппаратов / А. Н. Козлов, А. А. Козлов // Достижения науки агропромышленному производству: материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф. – Челябинск: ЧГАУ, 2006. – Ч. 2.
5. Сафиуллин, Н. А. Управление процессами совершенствования дойного стада и технологии производства молока / Н. А. Сафиуллин, А. Н. Калмыков. – Казань: Татарское книжное издательство, 1997. – 154 с.
6. Антошук, С. А. Сосковая резина. Менять или обслуживать? / С. А. Антошук, Э. П. Сорокин // Белорусское сельское хозяйство. – 2014. – № 3.
7. Анисько, Е. Н. Отбор коров, пригодных к интенсивной технологии / Е. Н. Анисько, Л. Г. Анисько, П. Е. Анисько // Проблемы интенсификации производства молока: тезисы научно-производственной конференции. – Минск, 1991. – Ч. 2. – С. 143–145.
8. Козлов, Н. А. Повышение точности и достоверности оценки жесткости сосковой резины доильных аппаратов / Н. А. Козлов, А. И. Тимбирбаева // Вестник ЧГАА. – Челябинск, 2014. – Т. 68.
9. Козлов, А. Н. Исследование сосковой резины доильных аппаратов в динамическом режиме / А. Н. Козлов, А. И. Тимбирбаева // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2014. – № 1. – С. 136–140.
10. Соловьев, С. А. Обоснование продолжительности эксплуатации сосковой резины доильных аппаратов / С. А. Соловьев, А. Н. Козлов, А. К. Ольховацкий // Труды ГОСНИТИ. – М., 2013. – Т. 113. – С. 26–32.
11. Бабкин, В. П. Исследование физико-механических свойств сосковой резины и пути повышения ее качества / В. П. Бабкин, В. П. Савран, В. Я. Круговой // VI Всесоюзный симпозиум по машинному доению с-х животных. Ч. 2. – Таллин, 1983.
12. Каналина, Н. М. Оценка жесткости сосковой резины / Н. М. Каналина, Л. Р. Загудилин // Ученые записки КГАВМ. – 2012. – Т. 212. – С. 298–302.
13. Сосковая резина для каждой фермы // Рекламный проспект Fabdec. – СПб, 2009.

А. И. Пунько

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: punko@tut.by*

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ И АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ВНУТРЕННЕЙ ОЧИСТКИ СИЛОСОВ

В статье проанализированы технологии и конструкции существующих устройств для внутренней очистки силосов от различных физико-биологических загрязнений.

Ключевые слова: хранилище, силос, загрязнения, устройство очистки.

A. I. Punko

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: punko@tut.by*

TECHNOLOGY REVIEW AND ANALYSIS OF CONSTRUCTIONS OF DEVICES FOR INTERNAL CLEANING OF SILAGE

The article analyzes technologies and constructions of existing devices for internal cleaning of silage from various physical and biological contaminations.

Keywords: storage, silage, pollution, cleaning device.

Введение

Производство высококачественной, безопасной и конкурентоспособной продукции в сельском хозяйстве невозможно без должного внимания к вопросам производства кормов. При этом важная роль отводится их качеству, в частности питательной ценности и отсутствию инородных загрязнений, в том числе биологического происхождения.

На МТФ, и особенно на свиноводческих и птицеводческих фермах, для хранения комбикормов широко используются хранилища в виде сборных металлических бункеров (силосов). В процессе их эксплуатации на внутренней поверхности оборудования, главным образом на конусных частях, создаются участки с плотными образованиями. Среди основных причин – образование конденсата (зимой), появление мест протеканий из-за негерметичности конструкции, попадание влаги во время загрузки бункера материалом. В теплый период с течением времени могут возникнуть очаги проросшей зерновой массы, мха, плесени.

В процессе хранения в результате биологических изменений питательная ценность зерна, комбикормов снижается из-за появления патогенной микрофлоры, размножения и дальнейшего распространения зерновых вредителей.

Особую опасность представляет заражение кормов микотоксинами. Наиболее существенным результатом их влияния на организм животного является ослабление иммунной системы, которое может привести к развитию отдельных болезней (мастит, метрит, задержка плаценты и т. д.). Микотоксины также могут поражать различные органы желудочно-кишечного тракта, печень, существенно влияют на продуктивность и в экстремальных случаях приводят к смерти. Эти токсичные продукты могут накапливаться в технологическом оборудовании производственных линий, поскольку его чистка и санация, как правило, проводится редко [1].

Для предупреждения развития и накопления патогенных микроорганизмов, возбудителей инфекционных болезней, с целью снижения уровня бактериологической обсемененности необходимо проводить ветеринарно-санитарные мероприятия и регулярную дезинфекцию оборудо-

вания для хранения кормов. При очистке внутренней поверхности силоса не только уничтожается благоприятная среда существования и размножения зерновых вредителей, но также удаляется поверхностный слой зерновой пыли, что существенно снижает угрозу пожара и взрыва, повышается точность работы измерительных приборов (термодатчиков, влагомеров, сигнализаторов уровня).

В настоящее время в нашей республике внутренняя очистка емкостных хранилищ (силосов) на МТФ не производится совсем. Поэтому состояние внутренней поверхности с точки зрения биологической безопасности вызывает серьезные нарекания. А в условиях постоянного замещения хранимого корма по мере использования происходит его повторное заражение.

Поэтому вопрос разработки способа и устройства для эффективной очистки внутренних поверхностей кормовых силосов в соответствии с ветеринарно-санитарными требованиями является актуальным и требующим изучения.

Для оценки существующих технологий и технических решений, а также определения дальнейшего направления совершенствования существующих конструкций устройства очистки проведен анализ разработок, применяемых в этой области.

Основная часть

Важность существующей проблемы неоднократно освещалась в отечественной и зарубежной печати. Известный научный тематический журнал *Global Milling* (вып. 2, 2015 г.) в статье «Deep cleaning your silo: keep them clean and pest-free» ставит проблему очистки емкостных хранилищ в череду важнейших, особенно в условиях возрастающих случаев вспышек инфекционных заболеваний на животноводческих и птицеводческих предприятиях.

Необходимо отметить актуальность данной проблемы в свете требований технического регламента Таможенного союза ТР ТС 015/2011 «О безопасности зерна», в котором отражены обязательные для применения и исполнения требования к зерну и связанные с ними требования к процессам производства, хранения, перевозки, реализации и утилизации в целях защиты жизни и здоровья человека, имущества, окружающей среды, жизни и здоровья животных и растений.

Аналогичные требования изложены и в проекте технического регламента Таможенного союза «О безопасности кормов и кормовых добавок», который вступит в действие в ближайшее время.

Литературные источники свидетельствуют, что разработки специализированных устройств для очистки силосов от остатков материалов ведутся более 20 лет [2]. Самый распространенный способ очистки емкостных хранилищ, например, на зернохранилищах осуществляется вручную с привлечением промышленных альпинистов и подъемной техники. Однако такие работы очень трудоемки и затратны. Очистка силосов является опасным для здоровья альпинистов видом работ, требует применения специального снаряжения и оборудования, четкого соблюдения правил техники безопасности. В отличие от обычных высотных работ, во время очистки силосов работникам приходится выполнять трудоемкие задачи в условиях замкнутого сильно запыленного пространства, применять противогазы с целью обеспечения чистым воздухом. Также необходимо организовать безопасную (низковольтную) систему освещения и использовать индивидуальные компактные осветительные приборы.

Ряд известных зарубежных фирм-производителей предлагает на рынке технические решения этой проблемы.

В устройстве Gironet, разработанном французской компанией *Standard industrie*, используется механический манипулятор со сменными рабочими органами, барабан для намотки шланга и гидравлический агрегат либо пневмоустановка [3]. Механизм, состоящий из шарнирного рычага с рабочим органом, находится внутри силоса, оператор же управляет устройствами, располагаясь на крыше силоса, при помощи установки дистанционного управления (рисунок 1).

Благодаря вращению шарнирного рычага на 360° и возможности очистки емкостей на глубину до 50 м, система Gironet может использоваться практически на всех видах силосов. Использование

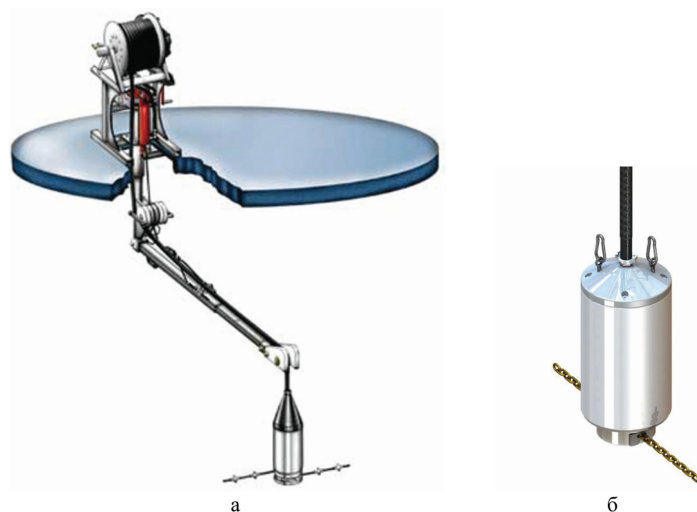


Рисунок 1. – Общий вид устройства Gironet для внутренней очистки силосов и емкостных хранилищ (а) и применяемый рабочий орган (б)

пневматической или гидравлической системы привода рабочих органов предотвращает риск взрыва, повышает безопасность работ, не повреждаются стенки силосов. В качестве отбойных инструментов в зависимости от типа и свойств налипшего материала используются стальные и латунные цепи или пластиковые щетки.

Применение данной системы исключает необходимость нахождения человека внутри очищаемого пространства, что гарантирует полную безопасность для его жизни и здоровья.

Однако это устройство обеспечивает в первую очередь сводообрушение зависшего материала без возможности воздействия на биологические загрязнения.

Компания Silo-RoBoFox (Германия) предлагает передвижной пункт, оснащенный роботизированным манипулятором с гидравлической мойкой высокого давления и дистанционным управлением (рисунок 2, 3) [4].

Среди преимуществ данной системы можно отметить:

- полную безопасность для операторов, так как применение оборудования исключает необходимость присутствия человека внутри силоса;



Рисунок 2. – Общий вид передвижного пункта для внутренней очистки силосов компании Silo-RoBoFox (Германия)

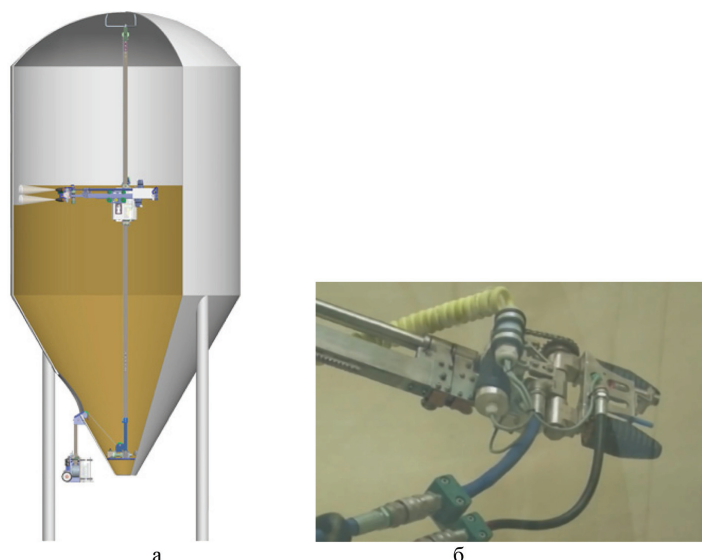


Рисунок 3. – Устройство внутренней очистки бункеров, производство компании Silo-RoBoFox (Германия): схема конструкции (а) и манипулятор с гидравлическими насадками (б)

- возможность регулировать интенсивность воздействия на материал в широком диапазоне;
- небольшую массу, легкость транспортировки и хранения;
- наличие антистатических свойств, предотвращающих риск возникновения искры;
- простоту установки и эксплуатации: достаточно двух операторов для установки системы и одного оператора для ее работы.

Главными недостатками этого устройства являются высокая стоимость (более 40 000 евро), сложность конструкции, ограниченность применения из-за различия геометрии используемых кормовых силосов.

Заключение

Анализ существующих способов и технических средств показал наличие широкой гаммы устройств, применяемых для очистки внутренней поверхности емкостных хранилищ: от ручной механической очистки до мобильных автоматизированных систем.

Учитывая разнообразие физико-механических свойств загрязнений внутри силосов и различие их конструкций, наиболее перспективной в конструктивно-технологической схеме устройства обработки будет использование манипулятора со сменными рабочими органами. Это позволит выполнить сводообрушение материала при механической очистке или гидравлическую промывку с моюще-дезинфицирующим раствором при санитарной обработке.

Литература

1. Головня, Е. Я. Распространение микотоксинов в кормах для КРС / Е. Я. Головня // Комбикорма. – 2013. – № 2. – С. 63–65.
2. Юдин, В. М. Применение современных ресурсосберегающих технологий очистки машин и оборудования в сельском хозяйстве / В. М. Юдин. – М.: Информагротех, 1998. – 48 с.
3. Каталог разработок фирмы Gironet // Standard Industrie International [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.standard-industrie.com>. – Дата доступа: 20.09.2017.
4. Каталог разработок фирмы Silo-RoBoFox [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.silo-robofox.de>. – Дата доступа: 20.09.2017.

В. В. Чумаков, И. В. Барановский, Е. Л. Жилич

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь*

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ВЫСОКОУСВОЯЕМЫХ КОРМОВ НА ОСНОВЕ ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР

Статья посвящена вопросу получения экструдированного корма из бобов сои и зерна кукурузы для животных и птиц. Экструзионная обработка увеличивает перевариваемость корма, делая более доступными аминокислоты в результате разрушения в молекулах белка вторичных связей; убирает все факторы, которые отрицательно сказываются на пищевой ценности сырья.

В работе представлен комплект оборудования для получения экструдата, описан технологический процесс.

Определены значимые достоинства экструдата, которые дают возможность внедрять новые программы кормления, позволяющие увеличивать продуктивность животных и одновременно снижать расход зерновых компонентов в составе комбикорма.

Ключевые слова: корм, экструдер, экструдат, питательная ценность, программное обеспечение.

V. V. Chumakov, I. V. Baranovsky, E. L. Zhilich

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus*

EQUIPMENT FOR THE PRODUCTION OF EXTRUDED HIGH-BINDING FEEDS ON THE BASIS OF GRAINED CROPS

The article is devoted to the issue of obtaining extruded fodder from soybean and corn kernels for animals and birds. Extrusion improves the digestibility of the feed, making amino acids more accessible as a result of the breakdown in the protein molecules of the secondary bonds; removes all factors that adversely affect the nutritional value of raw materials.

The paper presents a set of equipment for obtaining a extrudate, the technological process is described.

The significant advantages of the extrudate are determined, which enable the introduction of new feeding programs that allow increasing the productivity of animals and at the same time reducing the consumption of grain components in the compound feed.

Keywords: feed, extruder, extrudate, nutritional value, software.

Введение

В настоящее время в Республике Беларусь конкурентоспособное производство продукции животноводства возможно только с применением интенсивных технологий, одним из основных элементов которых является полноценное кормление животных и птицы высококачественными комбикормами, сбалансированными по всем питательным, минеральным и биологически активным веществам. Недобор сельскохозяйственной продукции в результате несбалансированности комбикормов достигает 30–35 %, себестоимость ее возрастает в 1,5 раза, затраты кормов увеличиваются в 1,3–1,4 раза [1].

Существующее состояние комбикормового производства в Беларуси не позволяет в короткие сроки решить проблему растущих потребностей в обеспечении животноводческих, птицеводческих и рыбоводческих хозяйств высококачественными комбикормами собственного производства. Требуется внедрение новых технологий и техническое переоснащение комбикормовых предприятий перспективным оборудованием [1].

Одним из необходимых условий достижения этой цели является термообработка исходного кормового продукта, в ходе которой происходят обеззараживание и обезвоживание сырья, от

правильности ее проведения зависит качество получаемого корма. В последние годы все большую популярность приобретают экструзионные технологии.

Основная часть

Наряду с увеличением объемов производства и повышением качества травяных кормов, необходимо расширять ассортимент и увеличить объем производства комбикормов, в частности для молодняка крупного рогатого скота, свыше 2 млн тонн. Тем не менее около 500 тыс. тонн зернофуража для молодняка крупного рогатого скота скармливается без обогащения. При вводе 15 % по массе концентрата необходимо иметь 75 тыс. тонн добавок, для производства которых требуются белковые корма, которые завозятся из стран дальнего и ближнего зарубежья, а также возделываются в Республике Беларусь.

В последнее время особое значение придается богатому крахмалом зерну кукурузы и белковому компоненту – бобам сои, которые частично возделываются в республике.

Кукуруза – культура не только высокой продуктивности, но и всестороннего применения. По характеру и разнообразию использования она превосходит все остальные злаки. В мире эта культура возделывается главным образом на фуражные цели. Зерно используют для кормления всех видов животных и птиц. В 1 кг зерна кукурузы при 14 %-й влажности содержится 90–100 г протеина, около 50 г жира, 30 г клетчатки, 10–15 г золы, 670–700 г безазотистых экстрактивных веществ, 1,34 кормовой единицы. Кукурузное зерно – превосходный источник энергии, но оно бедно протеином. В нем содержится недостаточное количество таких незаменимых аминокислот, как лизин, метионин, триптофан, а также минеральных веществ и витаминов, поэтому скармливать его животным и птицам рекомендуется в смесях с другими культурами, богатыми протеином [2, 3].

Одной из таких культур является соя. В соевом зерне содержится 35–45 % полноценного по аминокислотному составу, растворимости и усвояемости белка, 20–25 % высококачественного по жирно-кислотному комплексу масла, 25–30 % углеводных соединений разной степени усвояемости, около 5 % различных минеральных соединений, 12 основных витаминов, а также специфические биологически активные компоненты (фосфатиды, фитаты, олигосахариды, изофлавоны, сапониты), роль которых еще не изучена основательно.

Содержание переваримого протеина в бобах сои в 5 раз, сырого жира – в 5,5 раза, клетчатки – в 2,7, кальция и фосфора – в 2,5 и золы – в 2,6 раза больше, чем в зерне кукурузы. Но зерно кукурузы превосходит соевое по энергетической емкости на 5 кормовых единиц и по содержанию БЭВ – в 2,3 раза. Соя превосходит горох по содержанию переваримого и сырого протеина в 1,6 раза, сырого жира – в 10,5, кальция – в 2,6, фосфора – в 1,3 раза. По сравнению с зерном ячменя и пшеницы соевое зерно характеризуется не только 3-кратным превышением содержания переваримого протеина и 8-кратным – жира, но также значительно большим содержанием сырой клетчатки и минеральных веществ [4].

Достоинством белка сои является и его высокая усвояемость, благодаря содержанию 83–95 % в его составе водорастворимой фракции, представленной альбуминами и глобулинами. В белке гороха и подсолнечника ее содержится в 2 раза меньше (41–47 %), а в зерне пшеницы – в 5 раз (14–16 %), овса – в 12 раз (7,5 %) [5].

Все способы подготовки к скармливанию направлены на повышение питательной и биологической ценности комбикормов и в основном сводятся к изменению физической формы зерна путем дробления или плющения, что повышает усвоение питательных веществ, но не изменяет их структуры.

К новейшим приемам подготовки бобовых культур, зерна злаковых культур и зерна кукурузы, а также переработки биологических отходов относятся экструзионные технологии.

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» в рамках Государственной научно-технической программы «Агропромкомплекс», 2013–2015 годы, подпрограмма «Агропромкомплекс – устойчивое развитие», разработаны технология и комплект оборудования для получения высокоусвояемого экструдированного корма на основе бобовых культур и зерна кукурузы (рисунок 1).



Рисунок 1. – Комплект оборудования для получения высокоусвояемого экструдированного корма на основе бобовых культур и зерна кукурузы КОЭК-1

Технологический процесс приготовления двухкомпонентного экструдата протекает следующим образом. Из бункера норий первый компонент исходного сырья (зерно кукурузы) подается в секцию модуля сепарации, где производится его очистка от легких и тяжелых примесей. Далее очищенное сырье конвейером винтовым перемещается в смеситель, установленный на тензодатчиках. Заполнение первым компонентом производится согласно заданным в программном обеспечении весовым соотношениям. После заполнения смесителя первым компонентом заданной массы его подача прекращается. Из бункера норий второй компонент исходного сырья (бобы (соя)) подается в другую, параллельную секцию модуля сепарации, где производится его очистка от легких и тяжелых примесей. Далее очищенное сырье конвейером винтовым перемещается в смеситель. Заполнение смесителя вторым компонентом производится согласно заданному весовому соотношению. После заполнения смесителя вторым компонентом заданной массы его подача прекращается.

Легкие примеси перемещаются и накапливаются в биг-бэг установкой циклона. Тяжелые примеси винтовым конвейером перемещаются из модуля сепарации в биг-бэг или в иной накопитель.

После перемешивания исходных компонентов полученная однородная масса винтовым конвейером подается из смесителя в бункер-дозатор смеси компонентов.

По завершении разгрузки смесителя цикл заполнения бункера-дозатора смеси компонентов повторяется.

Из бункера-дозатора исходная смесь равномерным потоком катушечным питателем подается в дробилку молотковую, откуда размолотая смесь подается в питатель экструдера. Далее винтовым конвейером исходная масса подается непосредственно в ствол экструдера, где происходит процесс экструзии.

Полученный экструдат из ствола экструдера винтовым конвейером, с одновременным отбором пара центробежным вентилятором, подается в охладитель с циклоном.

Далее охлажденный экструдат винтовым конвейером подается в бункер готовой продукции, установленный на тензовесовой платформе, где происходит накопление экструдированного корма.

Из бункера готовой продукции экструдат затаривается в биг-бэги с одновременным взвешиванием. Транспортировка биг-бэгов в места складирования производится электрокарой.

Управление технологическим процессом в автоматическом или ручном режиме осуществляется с панели оператора (рисунок 2).

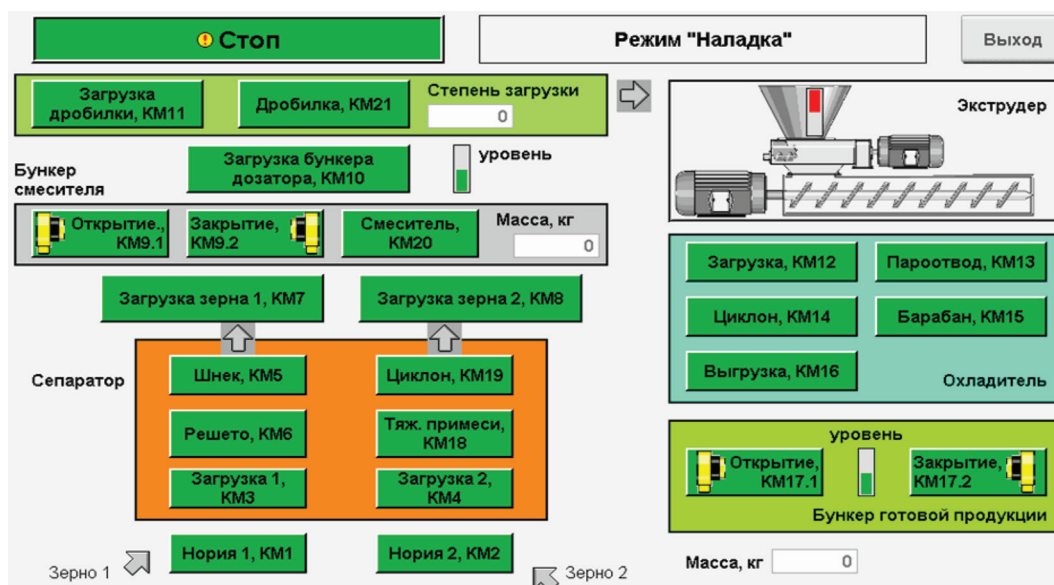


Рисунок 2. – Панель оператора

Метод экструзионной обработки позволяет:

- интенсифицировать производственный процесс;
- повысить степень использования сырья;
- получить готовые к применению пищевые продукты или создать для них компоненты, обладающие высокой сгущающей водо- и жирудерживающей способностью;
- расширить ассортимент пищевых продуктов;
- повысить усвоение корма животными и птицей;
- снизить микробиологическую обсемененность продуктов;
- уменьшить загрязнение окружающей среды.

Он обеспечивает получение высокоусвояемого экструдированного корма (рисунок 3).



Рисунок 3. – Экструдированный двухкомпонентный корм

Заключение

При введении экструдированных компонентов растительного происхождения в состав комбикорма на 10–30 % повышается их усвоение, на 20–30 % увеличиваются надои молока, на 15–30 % – среднесуточные привесы. При этом потребление корма уменьшается на 8–12 %. Экструдирование за счет высокой усвояемости экструдата (не менее 83 %) позволяет уменьшить расход зерновых компонентов на 30 %.

Все обозначенные факторы обуславливают необходимость по-новому оценивать экономическую, питательную и энергетическую значимость зерновых и бобовых ресурсов и место экструзионных технологий при производстве конкурентоспособных кормов, концентратов и добавок. Это необходимо для внедрения современных программ кормления с целью возрождения и интенсивного наращивания производства высококачественных мясных продуктов.

Данный комплект оборудования может устанавливаться как на комбикормовых заводах, так и в комбикормовых цехах сельскохозяйственных предприятий.

Литература

1. Попков, Н. А. О производстве комбикормов в РБ / Н. А. Попков, В. М. Голушко // Зоотехническая наука Беларуси: сб. науч. тр. – Жодино, 2013. – Т. 48, ч. 1. – С. 219–229.

2. Князюк, О. В. Структура питательности / О.В. Князюк // Кукуруза и сорго. – 1990. – № 4. – С. 21–23.
3. Надточаев, Н. Ф. Кукуруза на полях Беларуси / Н. Ф. Надточаев; Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 412 с.
4. Соя в кормопроизводстве: (научно-производственное издание) / В. Ф. Баранов [и др.]; ред.: В. М. Лукомец, Л. Г. Горковенко; РАСХН, Гос. науч. учрежд. масличных культур им. В. С. Пустовойта, Гос. науч. учрежд. Северо-Кавказский НИИ животноводства. – Краснодар: [б.н.], 2010. – 365 с.
5. Матюха, И. О. Физиологическое состояние и репродуктивная функция организма самок животных при скармливании кормов из сои: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 03.0013 / И. О. Матюха; М-во аграрной политики и продовольствия Украины, Львовский нац. ин-т ветеринарной медицины и биотехнологии им. С. З. Гжицкого. – Львов, 2012. – 18 с.

УДК 636.085.51.631.35

Поступила в редакцию 31.07.2017
Received 31.07.2017

И. М. Лабоцкий

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: belagromech@tut.by; labkormov@mail.ru*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАГОТОВКИ СЕНА

В статье изложены рекомендации по совершенствованию технологического процесса заготовки сена. Дано описание внедренных в производство новых машин, приведен расчет эффективности их применения.

Ключевые слова: технология, сено, качество кормов, кормоуборочные машины, скашивание трав, сушка, прессование, транспортировка, скирдование, тюки, рулоны, косилки, грабли, пресс-подборщики.

I. M. Labotsky

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: belagromech@tut.by; labkormov@mail.ru*

TECHNOLOGICAL FEATURES AND TECHNICAL PROVISION OF THE HAY

The article contains recommendations for improving the technological process of hay preparation. The description of new machines introduced into production is given, the efficiency of their application is calculated.

Keywords: technology, hay, forage quality, forage harvesters, grass mowing, drying, pressing, transportation, scouring, bales, rolls, mowers, rakes, balers.

Введение

Сено – вид корма, который заготавливают путем сушки скошенных трав до влажности не выше 17 % [1].

Значение сена как составной части рационов животных в последние годы снизилось. Основные причины: высокая зависимость процесса заготовки от погодных условий и потери растительной массы; большие затраты рабочей силы и энергии. На практике проще и дешевле заготавливать качественный сенаж из провяленных трав, чем досушивать их на сено. Вместе с тем сено играет важную роль в качестве корма для высокопродуктивных коров, коров с телятами, телят, при болезнях животных, при кормлении коров для получения отдельных видов твердых сыров и др. [2]. В республике заготавливают свыше 1 млн тонн сена. Сельхозпроизводители применяют несколько разновидностей технологий и комплексов машин для заготовки сена – это заготовка путем естественной сушки скошенных трав в рассыпном или запрессованном в рулоны или тюки видах и путем досушивания провяленных трав активным вентилированием холодным или подогретым воздухом. Из перечисленных разновидностей самой распространенной и экономически состоятельной является технология заготовки сена путем естественной сушки

скошенных трав и последующего прессования (в рулоны или тюки). По данной технологии можно заготавливать сено первого класса, а потери растительного сырья не будут превышать 20 %. При этом механизированы все операции технологического процесса [3]. В последние годы сельхозпредприятия республики заготавливают весь объем сена в запрессованном виде.

Вместе с тем в процессе заготовки сена при плохих погодных условиях может теряться до 30 % биологического урожая вследствие несоблюдения технологии и недостаточного технического оснащения.

Объекты и методы исследований

Объектом исследований являются технология и новые средства механизации, созданные с целью снижения потерь и повышения качества сена. Исходные данные для работы получены путем анализа технологических карт, материалов испытаний и статистических отчетов. При исследовании и разработке использованы эмпирические (измерения, сравнения) и теоретические (анализ, классификация) методы.

Результаты исследований

Технологический процесс заготовки сена включает следующие операции: скашивание, ворошение, сгребание провяленных трав в валки, сушку трав в валках (оборачивание валков), прессование в рулоны, подбор рулонов, транспортировку, скирдование. В настоящее время получает широкое распространение разновидность прессования сена в крупногабаритные тюки.

Изучены, определены и на практике подтверждены основные технологические условия, обеспечивающие получение высококачественного сена – это виды травостоя, своевременность скашивания, время проведения скашивания, высота скашивания, продолжительности сушки, способ прессования, продолжительность скирдования, условия хранения.

Качество сена во многом зависит от сырья. Лучшими видами трав являются бобовые и злаковые, менее ценны растения из семейства осоковых и разнотравья. Наиболее полноценным по содержанию питательных веществ является сено, заготовленное из смеси различных трав. Например, у бобовых трав в смеси со злаками лучше сохраняются при сушке цветочные головки и листья, которые содержат в два раза больше белковых и минеральных веществ, а каротина – в 10–15 раз больше, чем стебли, и переваримость питательных веществ в них выше на 40 %. Поэтому сельхозпроизводители республики практикуют заготовку сена из травосмесей. Содержание в сене органических и минеральных веществ зависит от фазы роста и развития растений. Многолетние травы наиболее питательны в ранние фазы вегетации. Они содержат не только полноценный белок и витамины, но и в наибольших количествах более приемлемую для животных клетчатку, в которой мало лигнина, благодаря чему она хорошо переваривается. По мере старения растения грубеют, в них увеличивается содержание клетчатки, лигнина, снижается количество белка и других питательных веществ и витаминов. Это приводит к заметному снижению и уменьшению питательности сухого вещества заготовленного корма. Поэтому важнейшее условие для заготовки сена высокого качества и других видов травяных кормов – своевременное скашивание трав. *Основным признаком для начала кошения трав является содержание сырой клетчатки в сухой массе на уровне от 19 до 23 %. В этом интервале энергетическая ценность корма обеспечивает получение животноводческой продукции (молока) с наименьшей себестоимостью* [4].

Установлено, что скашивание трав необходимо начинать после схода росы, поскольку на высушивание росы, особенно внутри валков, требуется дополнительно проводить одно ворошение.

Исследования и практический опыт показали, что высота среза травы должна быть 4–6 см. Отклонение в меньшую сторону ухудшает условия отрастания трав для последующих укосов, а также сушки скошенной массы.

Кроме того, установлено, что при увеличении высоты среза в пределах от 5 до 10 см потери (недобор сена) достигают 18 %. Исключением являются требования к скашиванию бобовых трав, в первый год использования их необходимо скашивать не ниже 8–10 см, а в последующие – 7–8 см.

В процессе сушки трав одновременно с испарением влаги происходит дыхание живых клеток растений, в результате чего расходуются сахара, распадается часть белков и разрушается каротин. Только при влажности трав 40–50 % дыхание прекращается. В зависимости от продолжительности процесса сушки потери каротина достигают 50 %, сахара – 20 %, сухого вещества – до 15 %, в сырую и дождливую погоду этот процесс может растянуться до нескольких суток и потери питательных веществ достигают 50 %, кроме того, потери питательных веществ происходят под влиянием ферментов и микроорганизмов. На этом этапе потери сухого вещества за сутки достигают 20 %. Потери питательных веществ прекращаются, когда влажность трав достигнет 17 %. Следует отметить, что при влажности свыше 20 % идет самосогревание сена, результатом которого может стать даже самовозгорание. Самосогревание – результат деятельности во влажном недосушенном сене микроорганизмов плесени и грибов. За 5–7 дней температура повышается до 40–50 °С, сено приобретает бурую или черную окраску, переваримость корма резко падает.

Вместе с тем перечисленные процессы управляемы, их продолжительность можно свести до минимального уровня путем ускорения процесса проявлявания или сушки трав до оптимальных значений влажности.

Для скашивания трав в республике применяли косилки с сегментно-пальцевыми и ротационными рабочими органами, которыми обеспечивалось скашивание в основном злаковых трав и травосмесей, а также трав на естественных угодьях. В парке насчитывалось свыше 8 тысяч тракторных косилок, больше половины из них были шириной захвата до 2,1 м, а косилки шириной захвата 3,1 м закупали у зарубежных фирм.

Взамен старых и импортных моделей («Диско-3050» и EasyCut-320) созданы и внедрены в производство тракторные косилки с дисковыми режущими аппаратами КДН-2,7 и КДН-3,1 (рисунок 1). Косилки различаются шириной захвата.

Предназначены для скашивания естественных и сеяных трав, бобово-злаковых и злаковых смесей трав с укладкой скошенной массы в прокос или валок. Применяются при заготовке сена, сенажа, травяного силоса, а также для ухода за пастбищами. Освоено серийное производство.

Косилки скоростные. Благодаря высокой скорости резания, до 90 м/с, работают на скоростях до 15 км/ч. Оснащены регулируемым валкователем, обеспечивающим укладку трав в валки переменной ширины – от 1,6 м до 2,0 м.

Экспериментально и практическим опытом установлено, что потери питательных веществ при заготовке травяных кормов напрямую зависят от продолжительности процесса полевой сушки (проявлявания) трав. Установлено, что ускорение влагоотдачи обеспечивает механическое повреждение поверхности стеблей и листьев специальными устройствами. Благодаря такой обработке, скорость влагоотдачи злаковых трав увеличивается на 25 %, а бобовых – на 35 %. Для этой цели разработаны и поставлены на производство навесные и прицепные косилки-плющилки КДП-310А, КРН-3,1, КДФ-310, оснащаемые билно-дековыми кондиционерами или плющильными аппаратами. Кондиционеры обеспечивают эффективную обработку злаковых трав и травосмесей, однако они не рекомендуются для обработки бобовых трав из-за сильного обивания листовой части растений, бутонов и соцветий. Изменение видового состава трав (увеличение объемов заготовки кормов из бобовых культур) потребовало применения новых конструкций устройств для дополнительной обработки скошенных трав, обеспечивающих щадящую обработку с минимальными потерями облиственных частей растений. Для этого созданы плющильные аппараты с шевронными вальцами.



Рисунок 1. – Косилка дисковая навесная КДН-3,1

Повышение производительности, снижение материалоемкости и снижение потерь при уборке трав обеспечивают созданные навесные косилки блочно-модульной компоновки

с шириной захвата 6 метров – КБМ-6 (рисунок 2).

Косилка обеспечивает скашивание, дополнительную обработку и укладку в прокосы или валки скошенных трав, преимущественно бобовых и бобово-злаковых травосмесей. Состоит из двух косилочных модулей (фронтального КДФ-310 и задненавесного КПП-3,1, каждый шириной захвата 3,1 м). Оснащается сменными адаптерами: плющильными вальцами для обработки бобовых трав, бильно-дековым кондиционером для обработки злаковых трав, валкообразователем для укладки трав в растил или валки. Заменяет три косилки, при этом снижается в 1,5...2 раза стоимость косилочного комплекса.

Для оснащения перечисленных выше косилок разработан унифицированный режущий брус шириной захвата 3,1 м, что позволяет снизить затраты на ремонт, обслуживание и эксплуатацию косилок. Кроме того, уменьшается номенклатура машин технологического комплекса, необходимых для ворошения и сгребания трав.

Заводы ОАО «Лидагропромаш», ПО «Гомсельмаш» выпускают тракторные косилки КСР-9,4; КПП-9; КПП-9-01, ширина захвата которых составляет 9 м. Все широкозахватные косилки оснащены бильно-дековыми кондиционерами. Установлено, что они эффективны при скашивании злаковых трав и травосмесей. При скашивании бобовых трав имеет место обивание листьев и соцветий. Кроме того, не рекомендуется применение этих косилок для скашивания трав на торфяниках вследствие высокой массы косилочного агрегата, приводящего к изменению высоты среза, повреждению травяного покрова и загрязнению торфом скошенных трав. В хозяйствах республики недостаточно широкозахватных косилок (имеется порядка 15 %). Нами намечено создание новых высокопроизводительных косилок для работы на торфяниках с учетом особенностей этих угодий.

Технические показатели косилок, косилок-плющилок приведены в таблице 1.

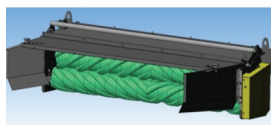
Ускорение процесса сушки (проявливания) скошенных трав обеспечивает ворошение. Благодаря ворошению, плотность укладки травы уменьшается, она легче проветривается, время высушивания после каждого ворошения сокращается на 15–20 %. В процессе заготовки сена злако-

Таблица 1. – Технические показатели косилок, косилок-плющилок

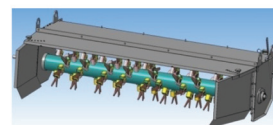
Наименование показателей	Марка косилки			
	КДН-3,1	КДП-310А	КБМ-6	КПП-9
Тип машины	навесная	полуприцепная	навесная	навесная
Агрегатирование с трактором, кл.	2,0	2,0	3,0	УЭС-2-250А
Конструктивная ширина захвата, м	3,1 ± 0,1	3,1	5,85	8,7
Производительность за час основного времени, га	2,2–4,2	до 4,0	5,7	от 7 до 10
Рабочая скорость, км/ч	от 9 до 15	от 6 до 12	до 12	до 12
Дополнительное оборудование	–	кондиционер бильно-дековый, плющильные вальцы	кондиционер бильно-дековый, плющильные вальцы	кондиционер бильно-дековый
Расход топлива, кг/га	3,3	3,4	4,6	5,2
Масса, кг	900	1700	2570	3900
Завод-изготовитель	ОАО «Лидсельмаш»	ОАО «УКХ» «Бобруйскагромаш»	ОАО «УКХ» «Бобруйскагромаш»	ПО «Гомсельмаш»



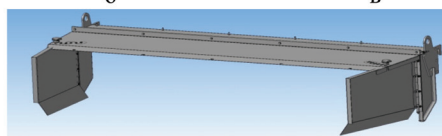
а



б



в



г

а) общий вид косилки КБМ-6; б) плющильные вальцы;
в) кондиционер; г) валкообразователь

Рисунок 2. – Косилка блочно-модульная КБМ-6



Рисунок 3. – Грабли-валкователи с центральным расположением вала ГВЦ-6,6

вые травы подлежат ворошению при их влажности не ниже 40 %, а бобовые – 50 %. Дальнейшая сушка осуществляется в валках, при этом валки необходимо ворошить только до влажности 20–25 %. Далее досушивание идет в валках. Для выполнения операции созданы специализированные роторные ворошилки-вспушители ВВР-7,5 и ВРП-8,3, а также универсальные грабли-ворошилки, которые при соответствующем режиме работы выполняют ворошение или сгребание трав. Это грабли-ворошилки ГВР-320/420; ГВЦ-6,6; ГВБ-6,2 (рисунок 3).

Предназначены для ворошения или сгребания в валки сухо провяленной или свежескошенной травяной массы, уложенной в расстил, прокосы или валки.

Рекомендуются для применения во всех зонах республики. Агрегируются с тракторами класса 1,4 т.с.

Показатели назначения граблей-валкователей приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Показатели назначения граблей-валкователей ГВБ-6,2 с боковым расположением вала

Наименование показателя	Значения
Ширина захвата, м	6,5
Рабочая скорость, км/ч	до 12
Производительность за час эксплуатационного времени, га	5,5
Расход топлива, кг/га	1,38

Практически все сено в республике заготавливают в запрессованном виде в рулонах или тюках, при этом сокращается потребность в хранилищах, уменьшаются транспортные расходы, качество и питательная ценность сена сохраняются за счет снижения потерь листовенной части растений, неизбежных при заготовке рассыпного сена.

Ключевая операция технологии – подбор и прессование растительной массы, высушенной до кондиционной влажности (17 %).

Для выполнения операции применяют рулонные или тюковые пресс-подборщики. Наибольшее распространение получили рулонные пресс-подборщики, вследствие несложной и неприхотливой в эксплуатации конструкции.

Рулонные пресс-подборщики отечественного производства ПРФ-110; ПРФ-145; ПРФ-180; РППО-445 выполнены с постоянной камерой прессования, поэтому рулоны формируются с переменной плотностью корма, которая минимальна в центре и постепенно увеличивается к периферии рулона. Вследствие низкой плотности кормов в центральной части рулон плесневеет и в большей мере подвержен порче, нежели более плотный слой по периферии рулона. С целью повышения плотности прессования кормов проведена модернизация и созданы рулонные пресс-подборщики с усиленным прессующим механизмом ПРМ-150, а также механизм измельчения трав ПРИ-145. Начаты опытно-конструкторские работы по созданию рулонного пресс-подборщика с переменной камерой прессования, в которой обеспечивается постоянная плотность рулона по всему сечению. Вместе с тем производительность всех типов рулонных пресс-подборщиков остается невысокой, поскольку обвязка и выгрузка рулонов происходят при остановке агрегата, и продолжительность остановки занимает до 50 % технологического цикла получения рулона.

Технические и технологические преимущества тюковых пресс-подборщиков обусловлены в первую очередь тем, что прессование, обвязка и выгрузка тюков идет непрерывно без остановки машины, при этом процесс прессования двухступенчатый: происходит предварительное уплотнение в предварительной камере, окончательное – в прямоугольной камере под действием прессующего поршня и с давлением, единственно превышающим давление в прессовальной

камере рулонного пресс-подборщика, поэтому применение тюковых пресс-подборщиков позволяет повысить более чем в два раза производительность и плотность прессования трав и соломы. Кроме того, потери кормов из трав минимальны (равны нулю) у тюковых пресс-подборщиков, а также снижаются затраты в целом на заготовку кормов в тюках (при транспортировке, складировании и др.) (рисунки 4).



Рисунок 4. – Пресс-подборщик тюковый ПТ-800

Предназначены для подбора валков сена естественных и сеяных трав, соломы и провяленных трав, прессования их в тюки прямоугольной формы с одновременной обвязкой шпагатом. Техническая характеристика тюкового пресс-подборщика приведена в таблице 3.

Таблица 3. – Показатели назначения ПТ-800

Наименование показателя	Значения
Рабочая скорость, км/ч	6–12
Ширина захвата подборщика, мм	2100
Производительность за час основного времени, т:	
– на сене	до 25,0
– на соломе	до 17,0
– на подвяленной траве	до 40,0

Для подбора, транспортировки и складирования рулонов и тюков созданы и внедрены в производство специальные машины. Это подборщики-транспортировщики рулонов ТР-5; ТП-10; ТП10-1; погрузчики фронтальные ПФС-0,75; ПФС-1,1 к тракторам класса 1,5 и 2,0 т.с. и др. Однако перечисленные машины имеют низкую производительность и непригодны для работы с рулонами, упакованными в пленку.

Завершена разработка и ОАО «Вороновская сельхозтехника» готовит к производству платформу с манипулятором ПМК-10 грузоподъемностью 10 тонн, обеспечивающую подбор (погрузку на платформу), транспортировку и скирдование тюков или рулонов. В зимнее время выполняет разбор скирд и доставку рулонов или тюков к месту потребления. Применение платформы позволяет исключить из комплекса специализированный погрузчик (рисунок 5). Техническая характеристика представлена в таблице 4.



Рисунок 5. – Платформа с манипулятором для подбора, перевозки и скирдования рулонов и тюков ПМК-10

Таблица 4. – Показатели назначения платформы с манипулятором ПМК-10

Наименование показателя	Значения
Грузоподъемность, <i>т</i>	10
Производительность за час основного времени, <i>т</i>	от 8 до 19,5
Вместимость платформы: рулонов/тюков, <i>шт.</i>	22/24
Продолжительность загрузки/разгрузки, <i>мин.</i>	25/22
Удельный расход топлива, <i>кг/т</i> , не более	0,75

Таблица 5. – Техничко-экономические показатели технологии и комплексов машин для заготовки сена

Технологическая операция	Марка трактора	Марка машины	Производительность, <i>га/ч (т/ч)</i>	Расход топлива, <i>л/т</i>	Эксплуатационные затраты, <i>руб./т</i>
Заготовка сена в прессованном виде					
Скашивание	УЭС-2-250	КПР-9	7	0,23	1,15
Сгребание	«Беларус 820»	ГР-700П	7,4	0,12	0,39
Ворошение	«Беларус 820»	ГР-700П	7,4	0,12	0,39
Прессование (вариант 1)	«Беларус 1221»	ПРИ-145	9	1,40	7,44
Прессование (вариант 2)	«Беларус-2022»	«Торнадо» РППО445	19	1,26	14,09
Прессование (вариант 3)	«Беларус 3022»	ПТ-800	24	1,25	7,36
Погрузка и транспортировка рулонов (варианты 1–2)	«Беларус 1221»	ТП-10-1	12	0,75	3,69
Погрузка тюков (вариант 3)	«Беларус 820»	ПСН-1	11	0,73	1,47
Транспортировка тюков (вариант 3)	«Беларус 1221»	ПТК-10	15	0,93	1,91
Скирдование сена	«Беларус 820»	ПСН-1	11	0,73	1,47
ИТОГО по варианту 1 (заготовка ПРИ-145): Обмотка шпагатом. 1 катушка шпагата – 1100 м (масса – 5 кг), стоимость – 14,2 руб. Расход шпагата – 17 ниток на рулон диаметром 1,5 м (масса 550 кг), или 1,88 руб./м. Потери продукции при заготовке – 10 %. С учетом потерь затраты на заготовку сена составят 18,24 руб./м.					
ИТОГО по варианту 2 (заготовка «Торнадо» РППО445): Обмотка сеткой. 1 рулон сетки – 3000 м, стоимость – 299,8 руб. Расход сетки – 15,2 м на рулон диаметром 1,6 м (масса 670 кг), или 2,27 руб./м. Потери продукции при заготовке – 10 %. С учетом потерь затраты на заготовку сена составят 26,06 руб./м.					
ИТОГО по варианту 3 (заготовка ПТ-800): Обмотка шпагатом. 1 катушка шпагата – 1100 м (масса – 5 кг), стоимость – 14,2 руб. Расход шпагата – 30 м на тюк 0,7×0,8×2,4 м (масса 400 кг), или 0,97 руб./м. Потери продукции при заготовке – 10 %. С учетом потерь затраты на заготовку сена составят 16,80 руб./м.					

По материалам производственной эксплуатации машин выполнены технико-экономические показатели технологии и комплексов машин для заготовки сена (приведены в таблице 5).

Заключение

Технологические процессы заготовки сена несовершенны, сопровождаются высокими затратами и потерями исходного сырья. Повышение качества и снижение потерь в процессе заготовке сена является актуальной задачей.

Полученные в результате исследований и внедренные в производство технологические параметры и условия проведения процесса заготовки сена, а также применение новых машин технологического комплекса позволяют снизить потери и затраты при заготовке сена.

Литература

1. Зафрен, С. Я. Технология приготовления кормов / С. Я. Зафрен. – М.: Колос, 1977. – 240 с.
2. Нормы кормления крупного рогатого скота: справочник / редкол.: Н. А. Попков [и др.]. – Жодино: РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», 2011 – 260 с.
3. Шпаар, Д. Производство грубых кормов / Д. Шпаар. – Торжок: ООО «Вариант», 2000 – 358 с.
4. Особенности технологий и техническое обеспечение заготовки кормов из трав и силосных культур: рекомендации / В. К. Павловский [и др.]. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2010. – 58 с.

С. А. Дрозд

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь*

**ПРИМЕНЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ
ДВУХСТАДИЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНОФУРАЖА
В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

В статье представлены результаты внедрения ресурсосберегающей технологии двухстадийного измельчения зерна в МРУП «Агрокомбинат Ждановичи» и проведенного исследования по выявлению рациональных режимов работы оборудования.

Ключевые слова: двухстадийное измельчение, ресурсосберегающая технология, снижение энергоемкости, повышение качества.

S. A. Drozd

*Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»
Minsk, Republic of Belarus*

**APPLICATION OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY OF
TWO-STAGE GRINDING OF GRAIN FODDER UNDER CONDITIONS OF REAL PRODUCTION**

The article presents the results of the implementation of the resource-saving technology of two-stage grinding of grain in the «Agrokombinat Zhdanovichi» enterprise and the conducted research to identify rational operating conditions for the equipment.

Keywords: two-stage grinding, resource-saving technology, reduction of energy intensity, improvement of quality.

Введение

В Республике Беларусь убирают свыше 3,7 млн тонн зерна на кормовые цели [1]. Важнейшей технологической операцией кормоприготовительного процесса является измельчение фуражного зерна. До одного миллиона тонн зерна измельчается вальцовыми машинами и скармливается животным во влажном состоянии. И более трех миллионов тонн зерна измельчаются при кондиционной влажности, преимущественно молотковыми дробилками, имеющими энергоемкость 8–12 кВт·ч/т. Что обуславливает большие затраты энергии на осуществление данной операции. Снижение затрат энергии на этом этапе является резервом снижения себестоимости продукции животноводства и повышения ее конкурентоспособности.

Одним из эффективных способов снижения энергоемкости процесса измельчения является двухстадийное измельчение, позволяющее не только уменьшить энергоемкость процесса, но и повысить качество и однородность измельченного зерна [2].

Основная часть

Ресурсосберегающая технология двухстадийного измельчения зернофуража включает в себя две стадии разрушения зерна.

На первой стадии двухстадийного измельчения осуществляется условностатическое воздействие на зерно вальцами, что способствует нарушению целостности зерновки и образованию в ней микротрещин, тем самым снижается его прочность. Цель полностью разрушить зерно в данном случае не ставится. Это позволяет применять режимы работы, способствующие максимальному увеличению производительности и минимизации энергозатрат.

На второй стадии предварительно измельченное зерно измельчается в молотковой дробилке путем динамического воздействия до надлежащего качества, соответствующего зоотехническим требованиям. Энергопотребление измельчения предварительно разрушенного зерна существенно ниже, чем при измельчении целого зерна, при одинаковом модуле помола [2].

Нами впервые в Республике Беларусь научно обоснована, разработана и применена на практике ресурсосберегающая технология двухстадийного измельчения зерна, включающая разрушение зерна от условно статического и динамического воздействия путем комбинирования предварительного разрушения зерна в вальцовой дробилке (условно статическое воздействие) и окончательного разрушения зерна в молотковой дробилке (динамическое воздействие), которая подходит для измельчения зернофуража кондиционной влажности при производстве концентрированных комбикормов.

Основными преимуществами ресурсосберегающей технологии двухстадийного измельчения зерна являются:

- снижение энергоемкости процесса измельчения (по сравнению с молотковой дробилкой);
- повышение равномерности гранулометрического состава измельченного продукта (по сравнению с молотковой дробилкой), что способствует повышению усвояемости кормов;
- повышение степени измельчения зернофуража (по сравнению с вальцовым измельчителем);
- повышение производительности оборудования (по сравнению с молотковой дробилкой).

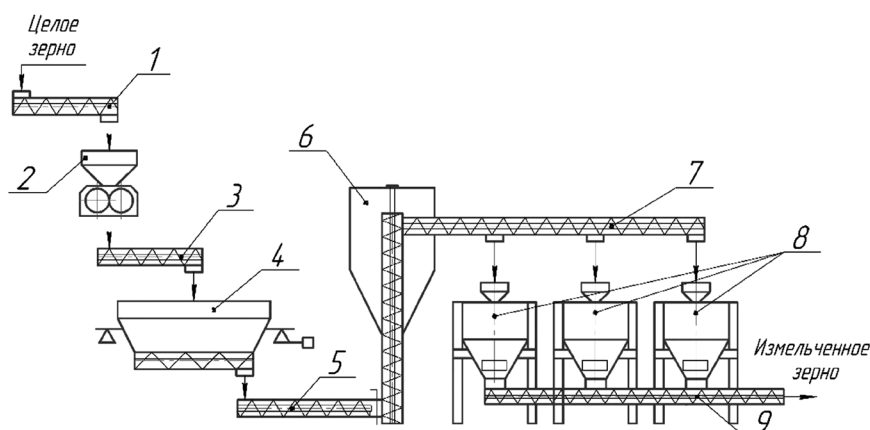
Данная технология была внедрена в МРУП «Агрокомбинат Ждановичи», РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» и принята к внедрению в ОДО «Тех Тар».

Для реализации технологии двухстадийного измельчения зерна в МРУП «Агрокомбинат Ждановичи» была переоборудована действующая линия производства комбикормов – применена дополнительная технологическая операция предварительного измельчения на вальцовом измельчителе (первая стадия измельчения) перед измельчением молотковой дробилкой (вторая стадия измельчения).

Технологическая схема ресурсосберегающей технологии двухстадийного измельчения зернофуража, внедренной в МРУП «Агрокомбинат Ждановичи», представлена на рисунке 1.

В качестве первой стадии измельчения был применен вальцовый измельчитель ДВ-3 (рисунок 2), разработанный РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», который был связан при помощи шнековых конвейеров, весового и накопительного бункера с тремя молотковыми дробилками ДЗВ-5 (рисунок 3), осуществляющими вторую стадию измельчения.

С целью достижения максимальной эффективности применения ресурсосберегающей технологии двухстадийного измельчения зерна в МРУП «Агрокомбинат Ждановичи» было проведено исследование по получению рациональных режимов работы оборудования в производственных условиях на данном предприятии, а именно исследованы значение межвальцового зазора (первая стадия измельчения) и значение диаметра отверстий в решетке (вторая стадия измельчения).



1 – конвейер, подающий зерно; 2 – вальцовый измельчитель ДВ-3; 3 – конвейер разгрузки вальцового измельчителя ДВ-3; 4 – бункер весовой; 5 – конвейер разгрузки бункера весового; 6 – бункер-накопитель; 7 – конвейер подачи предварительно измельченного зерна; 8 – молотковые дробилки ДЗВ-5; 9 – конвейер разгрузки молотковых дробилок ДЗВ-5

Рисунок 1. – Технологическая схема измельчения зерна, внедренная в МРУП «Агрокомбинат Ждановичи»



Рисунок 2. – Модуль предварительного измельчения (вальцовый измельчитель ДВ-3)



Рисунок 3. – Модуль окончательного измельчения (молотковые дробилки ДЗВ-5)

С учетом вышеизложенного был проведен двухфакторный эксперимент, описывающий зависимость параметров оценки от исследуемых факторов:

$$(\mathcal{E}, M, q) = f(b, d),$$

где $\mathcal{E}$ – энергоемкость процесса измельчения;

M – модуль помола измельченного зерна;

q – удельная энергоемкость процесса измельчения;

b – значение межвальцового зазора (первая стадия измельчения);

d – значение диаметра отверстий в решете (вторая стадия измельчения).

По результатам проведенного двухфакторного эксперимента определены уравнения регрессии, которые были проверены на однородность по критерию Кохрена, на значимость коэффициентов по критерию Стьюдента и на адекватность уравнений по критерию Фишера [3].

Данные уравнения для удобства в инженерных расчетах раскодированы и представлены ниже в виде зависимостей:

– зависимость энергоемкости от значения межвальцового зазора (первая стадия измельчения) и значения диаметра отверстий в решете (вторая стадия измельчения):

$$\mathcal{E} = 17,61 - 0,72b - 6,50d - 0,10bd + 0,3b^2 + 0,5b^2;$$

– зависимость модуля помола от значения межвальцового зазора (первая стадия измельчения) и значения диаметра отверстий в решете (вторая стадия измельчения):

$$M = 0,48 + 0,16b + 0,20d - 0,01bd;$$

– зависимость удельной энергоемкости от значения межвальцового зазора (первая стадия измельчения) и значения диаметра отверстий в решетке (вторая стадия измельчения):

$$q = 12,71 - 0,12b - 0,23d - 0,10bd + 0,20b^2 + 0,20b^2.$$

Для полученных зависимостей построены поверхности отклика, которые представлены на рисунках 4–6.

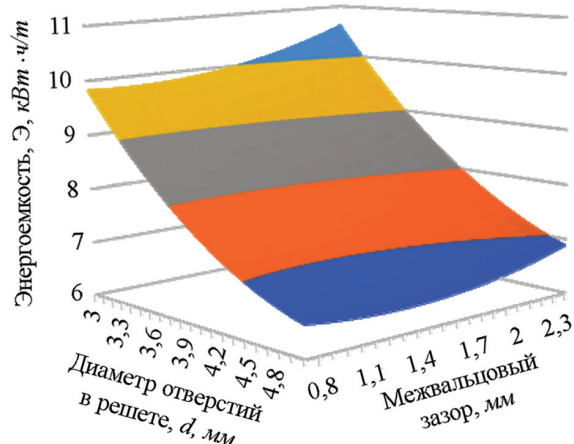


Рисунок 4. – Зависимость энергоемкости процесса от межвальцового зазора и диаметра отверстий в решетке

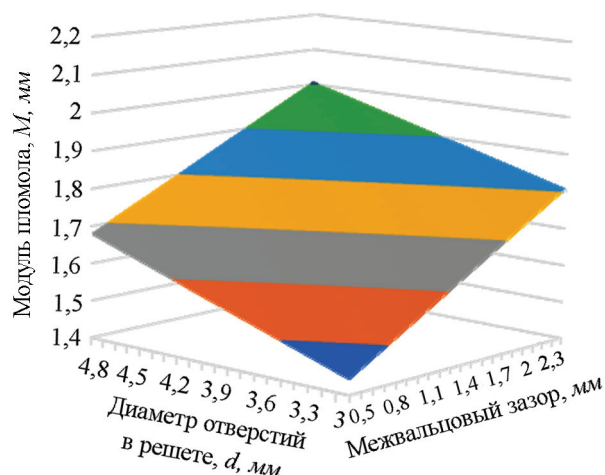


Рисунок 5. – Зависимость модуля помола от межвальцового зазора и диаметра отверстий в решетке

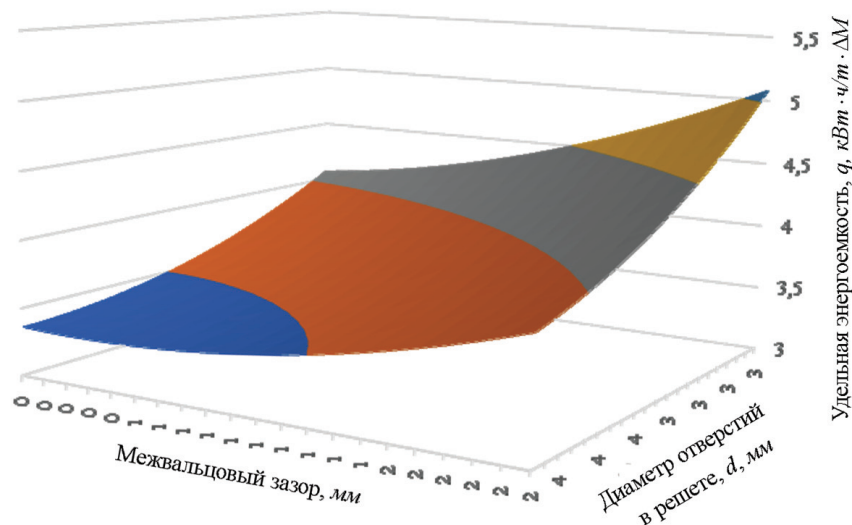


Рисунок 6. – Зависимость удельной энергоемкости помола от межвальцового зазора и диаметра отверстий в решетке при двухстадийном измельчении на производстве

Анализируя полученные графические зависимости, представленные на рисунках 4–5, можно сделать вывод о том, что наибольшее значение удельной энергоемкости (рисунок 4) наблюдается при использовании межвальцового зазора 0,5–1,0 мм и диаметре отверстий в решетке 4–5 мм. Однако при использовании решета с диаметром отверстий более 4,0 мм модуль помола превышает 1,6 мм (см. рисунок 5), что выходит за границы рекомендуемых зоотехнических требований значения модуля помола зерна, применяемого в комбикорме для свиней (1,2–1,6 мм), в производстве которого специализируется рассматриваемое предприятие. В результате на данном предприятии рекомендовано применять решета с отверстиями 3,9–4,0 мм.

Анализ энергоемкости двухстадийного измельчения (рисунок 6) показал, что оптимальное значение межвальцового зазора при рекомендованном диаметре отверстий в решетке составляет 1,1 мм, данное значение также рекомендовано при использовании на предприятии.

Рекомендованные нами значения межвальцового зазора и диаметра отверстий в решетке были применены при внедрении процесса двухстадийного измельчения в МРУП «Агрокомбинат Ждановичи». Это позволило без потери качества заменить в молотковых дробилках решета с 3,0 мм до 4,0 мм, что привело к снижению энергоемкости процесса измельчения с 10,07 до 6,83 кВт·ч/т.

Расчетный годовой экономический эффект от внедрения технологии двухстадийного измельчения зернофуража в комбикормовом цеху МРУП «Агрокомбинат Ждановичи» составил 10 556 рублей 84 копейки. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составляет 1,34 года. Удельный экономический эффект от внедрения двухстадийного измельчения зерна составляет 52 копейки на тонну продукции.

Заключение

Научно обоснованная, разработанная и примененная на практике ресурсосберегающая технология двухстадийного измельчения зерна включает разрушение зерна от условностатического и динамического воздействия путем комбинирования предварительного разрушения зерна в вальцовой дробилке (условностатическое воздействие) и окончательного разрушения зерна в молотковой дробилке (динамическое воздействие). Технология подходит для измельчения зернофуража кондиционной влажности при производстве концентрированных комбикормов, ее применение позволяет снизить энергоемкость процесса измельчения (по сравнению с молотковой дробилкой), повысить равномерность гранулометрического состава измельченного продукта (по сравнению с молотковой дробилкой), что способствует повышению усвояемости кормов; повысить степень измельчения зернофуража (по сравнению с вальцовым измельчителем) и повысить производительность оборудования (по сравнению с молотковой дробилкой).

При внедрении ресурсосберегающей технологии двухстадийного измельчения зерна в МРУП «Агрокомбинат Ждановичи» были проведены исследования, которые позволили определить рациональное значение межвальцового зазора (первая стадия измельчения), которое составило 1,1 мм, и рациональное значение диаметра отверстий в решетке (вторая стадия измельчения), составившее 4,0 мм.

Применение ресурсосберегающей технологии двухстадийного измельчения зерна в МРУП «Агрокомбинат Ждановичи» позволило без потери качества снизить энергоемкость процесса измельчения с 10,07 до 6,83 кВт·ч/т. Расчетный годовой экономический эффект от внедрения составил 10 556 рублей 84 копейки, удельный экономический эффект – 52 копейки на тонну продукции.

На основании положительного опыта применения ресурсосберегающей технологии двухстадийного измельчения зерна в МРУП «Агрокомбинат Ждановичи» нами рекомендуется применять данную технологию при модернизации действующих линий и создании нового оборудования для производства комбикормов.

Литература

1. Агропромышленный комплекс. Сельское хозяйство / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь; сост.: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси (Я. Н. Бречко). – Минск, 2016. – Вып. 18. – 281 с.
2. Дашков, В. Н. Совершенствование технических средств для измельчения фуражного зерна / В. Н. Дашков, Н. А. Воробьев, С. А. Дрозд // Агропанорама. – 2013. – № 5. – С. 23–28.
3. Леонов, А. Н. Основы научных исследований и моделирования: учебно-методический комплекс / А. Н. Леонов, М. М. Дечко, В. Б. Ловкис. – Минск: БГАТУ, 2010. – 276 с.

С. А. Дрозд*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь***ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОГО
ОТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ВАЛЬЦАМИ
ПРИ ДВУХСТАДИЙНОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ЗЕРНОФУРАЖА**

В статье представлены теоретические и экспериментальные исследования по определению максимального и минимального значений передаточного отношения между вальцами вальцового измельчителя, применяемого в первой стадии при двухстадийном измельчении зернофуража.

Ключевые слова: двухстадийное измельчение, передаточное отношение вальцов, сдвиг рифли, измельчение зерна.

S. A. Drozd*Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»
Minsk, Republic of Belarus***EXPERIMENTAL-THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE TRANSFER RATIO BETWEEN ROLLS IN
THE TWO-STAGE GRINDING OF GRAIN**

The article presents theoretical and experimental studies to determine the maximum and minimum values of the ratio between the rollers of a roller shredder used as a first stage in a two-stage grinding of grain fodder.

Keywords: two-stage grinding, transfer ratio of rollers, shift of the ribbons, grinding of grain.

Введение

В сельском хозяйстве для измельчения фуражного зерна наиболее широко применяются молотковые дробилки различных конструкций. Основными недостатками данных машин являются относительно высокая энергоемкость измельчения, неоднородность конечного продукта и переизмельчение материала.

В последние годы в сельском хозяйстве находят применение дробилки с вальцовыми рабочими органами. Рабочий процесс вальцовой дробилки основан на разрушении зерна за счет разных скоростей вращения рабочих органов – измельчающих вальцов. В зоне измельчения зерно раздавливается вальцами и вследствие разности их скоростей разрывается под воздействием рифлей. Основным их недостатком является низкая степень измельчения [1, 2].

Для снижения энергоемкости процесса и повышения качества измельчения зерна целесообразно применять двухстадийное измельчение, в котором на первой стадии зерно будет подвергаться предварительному воздействию на вальцовом измельчителе, а окончательное измельчение будет проводиться молотковой дробилкой [3].

Определение оптимального режима отношения окружной скорости вальцов на первой стадии измельчения позволит повысить качество измельчения и при этом снизить энергоемкость процесса измельчения.

Основная часть

При измельчении зерна на вальцовом измельчителе с разной частотой вращения вальцов на деформируемое зерно, кроме силы сжатия, оказывает воздействие сила сдвига.

Рассмотрим влияние передаточного отношения вальцов вальцовой дробилки на скорость деформации зерна. Замечено, что использование различной окружной скорости вальцов меняет траекторию движения рифлей, воздействующих на зерно.

Векторная схема, описывающая траекторию движения при деформации зерна вальцами с различной окружной скоростью, представлена на рисунке 1.

При одинаковой скорости вращения вальцов движение рифлей при деформации зерна производится по траектории, описываемой вектором $\overline{ab}$, который соответствует величине сжатия зерна вальцами. При разной окружной скорости вальцов к траектории движения рифлей при деформации зерна добавляется вектор сдвига $\overline{бв}$, который корректирует траекторию движения рифлей и делает ее соответствующей вектору $\overline{ав}$ [4].

Поэтому значение траектории движения рифлей при деформации зерна вальцами и изменяющемся передаточном отношении вальцов определяется по формуле:

$$l_{деф} = \sqrt{(l_{сж})^2 + (l_{сд})^2}, \quad (1)$$

где $l_{сж}$ и $l_{сд}$ – величины сжатия и сдвига зерна вальцами.

Величина сжатия зерна вальцами и средний зазор для рифлей треугольного сечения определяются по формуле:

$$l_{сж} = d_{ср} - b_c; \quad (2)$$

$$b_c = b + h \frac{n_{вп} c}{\pi(D - h)}, \quad (3)$$

где $d_{ср}$ – средний диаметр зерновки, $м$;

b – зазор между вальцами, $м$;

D – диаметр вальца, $м$;

h – высота впадин рифлей, $м$;

$n_{вп}$ – количество впадин рифлей, $шт$.

На рисунке 2 изображена схема, которая используется при расчете передаточного отношения вальцов.

Сдвиг вальцов оказывает разрушительное воздействие на зерно при условии проникновения в него рифлей, это осуществляется на длине дуги

$$L_{AB} = \frac{\pi \cdot D \cdot \alpha_2}{360}, \quad (4)$$

где α_2 – угол воздействия сдвига, $град$;

D – диаметр вальца.

В данном выражении угол воздействия сдвига – это часть окружности вальца, в которой рифли внедряются в зерно до такого значения, при котором сдвиг вальцов будет оказывать разрушающее воздействие на зерно, и величина его

$$\alpha_2 = \arccos \left(1 - \frac{d_{ср} - b_c}{D} \right). \quad (5)$$

А так как вальцы вращаются с неодинаковой скоростью, длина дуги, которую пройдет быстроходный валец, за время прохождения тихоходным вальцом расстояния L_{DK} определяется по формуле:

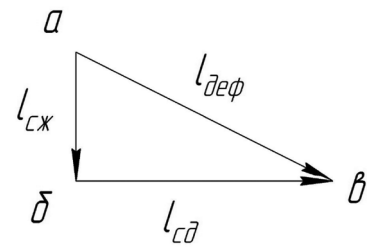


Рисунок 1. – Векторная схема, описывающая траекторию движения при деформации зерна вальцами с различной окружной скоростью

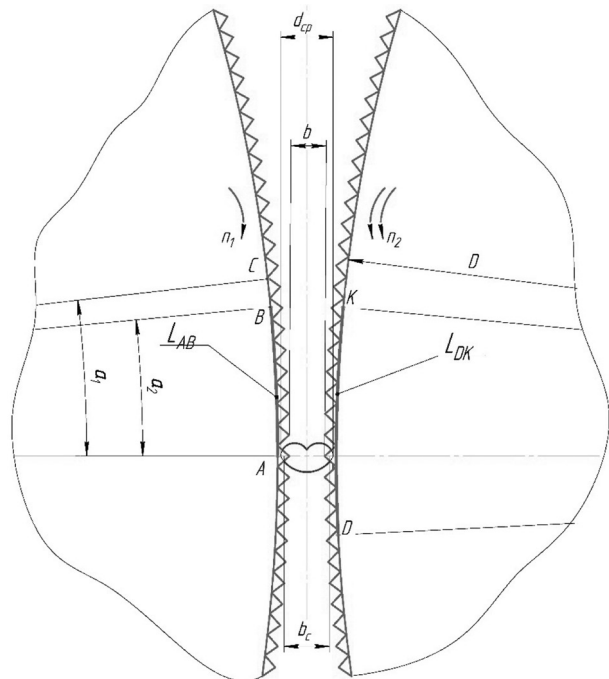


Рисунок 2. – Расчетная схема передаточного значения

$$L_{DK} = L_{AB} \cdot i, \quad (6)$$

где i – передаточное отношение зубчатого зацепления между вальцами, которое определяется через необходимые частоты вращения быстрогоходного n_{δ} и тихоходного n_m валцов:

$$i = \frac{n_{\delta}}{n_m}. \quad (7)$$

Величина сдвига в этом случае определяется как разность между длиной дуг быстрогоходного и тихоходного валцов:

$$l_{cd} = L_{DK} - L_{AB} = L_{AB} \cdot i - L_{AB} = L_{AB}(i - 1). \quad (8)$$

Подставив в условие (1) значения выражений (3), (4) и (7), получим формулу для определения длины сдвига:

$$l_{def} = \sqrt{\left[d_{cp} - \left(b + h \frac{n_{\delta} c}{\pi(D-h)} \right) \right]^2 + \left[\left(\frac{\pi \cdot D \cdot \alpha_2}{360} (i - 1) \right) \right]^2}. \quad (9)$$

Изменение длины деформации зерновки будет изменять скорость ее деформации. Скорость деформации зерновки с учетом разной частоты вращения валцов будет равняться

$$v_{ИЗМ} = \frac{\sqrt{(l_{сж})^2 + (l_{cd})^2}}{t}, \quad (10)$$

где t – время нахождения зерновки в зоне вальца, в которой оказывается разрушительное воздействие на зерно, c .

Подставив в выражение (10) формулы (2)–(8) и преобразовав его, получим уравнение для определения скорости деформации зерновки рифлеными вальцами с учетом передаточного отношения между вальцами:

$$v_{ИЗМ} = \frac{360 \cdot v_m \cdot \sqrt{\left(d_{cp} - \left(b + h \frac{n_{\delta} \cdot c}{\pi(D-h)} \right) \right)^2 + \left(\frac{\pi \cdot D \cdot \arccos\left(1 - \frac{d_{cp} - b_c}{D}\right)}{360} \cdot i - \frac{\pi \cdot D \cdot \arccos\left(1 - \frac{d_{cp} - b_c}{D}\right)}{360} \right)^2}}{\pi \cdot D \cdot \arccos\left(1 - \frac{d_{cp} - b_c}{D}\right)}.$$

Путем подстановки в уравнения скорости деформации зерновки рифлеными вальцами с учетом передаточного отношения между ними ($v_{изм}$) различных числовых значений составляющих получим зависимость теоретических предпосылок (рисунок 3), которые показывают изменение скорости деформации зерновки в зависимости от окружной скорости медленно вращающегося вальца и передаточного отношения между вальцами.

Эта зависимость подтверждает теоретическую предпосылку того, что путем варьирования скоростью вращения валцов возможно значительно повысить скорость деформации зерна. Однако она не позволяет получить рациональное значение передаточного отношения валцов вальцового измельчителя.

Снижения удельной энергоемкости процесса измельчения зерна можно добиться путем снижения распорного усилия между вальцами, для этого необходимо применить сдвиг между вальцами, что приведет к снижению компрессионного сжатия зерна при его измельчении.

Для определения номинальных и конечных условий при деформации зерна сдвигом введем ограничение, по которому зерно при измельчении должно сохранить свою геометрическую целостность. Данное ограничение сделано с учетом исследований ряда авторов [5, 6, 7], показывающих, что большие частицы легче попадают под удар молотков и что частицы большей массы интенсивнее разрушаются ударом.

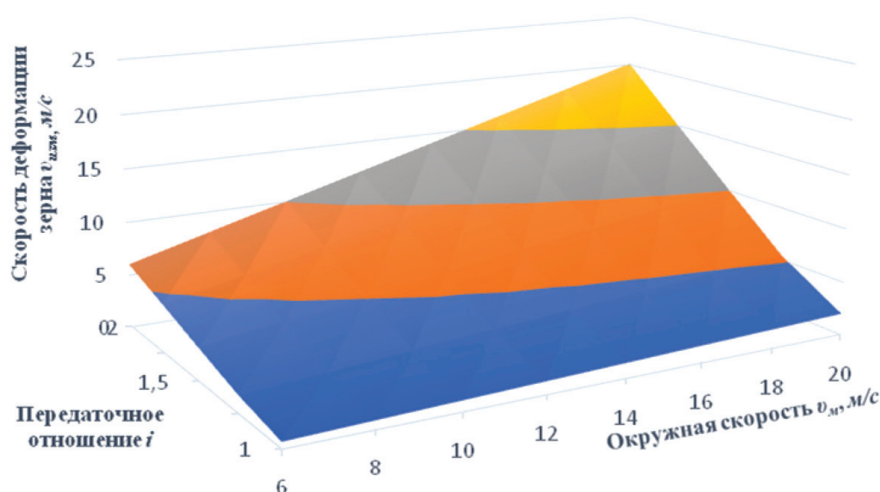


Рисунок 3. – Зависимость, описывающая изменение скорости деформации (v_{izm}) от окружной скорости медленно вращающегося вальца (v_m) и передаточного отношения между вальцами (i) при межвальцовом зазоре 1,0 мм

Также вводятся допущения, по которым зерно представляет собой шар средним диаметром d_{cp} ; сдвиг происходит по зерну; при сдвиге, не превышающем средний радиус зерна r_{cp} , сохраняется целостность зерна; при величине сдвига выше среднего радиуса r_{cp} до среднего диаметра d_{cp} сохраняется частичная целостность зерна; за средний диаметр зерна d_{cp} принимается среднее арифметическое значение толщины b_z и ширины h_z зерновки; за средний радиус зерна – половина его диаметра; сдвиг осуществляется с целью снятия распорного усилия зерновки путем снижения компрессионного сжатия в процессе измельчения зерна; существенное снижение компрессионного сжатия зерна наблюдается при значении сдвига, равном или превышающем значение среднего радиуса зерна. При сдвиге больше среднего диаметра зерна происходит полное разрушение зерна, при этом дальнейшее увеличение сдвига нецелесообразно.

Визуальная интерпретация допущений и ограничений представлена на рисунке 4.

В соответствии с ограничениями и схемой (рисунок 4) выразим условие, по которому величина сдвига должна находиться в диапазоне между средним радиусом и средним диаметром зерновки:

$$r_{CP} \leq l_{cd} \leq d_{CP}. \quad (11)$$

Подставим в условие (11) формулу (8), получим условие, ограничивающее величину передаточного отношения валцов вальцового измельчителя:

$$\frac{r_{CP}}{L_{AB}} + 1 \leq i \leq \frac{d_{CP}}{L_{AB}} + 1, \quad (12)$$

где i – передаточное отношение между вальцами.

Из условия (12) получим выражения для определения максимального и минимального значений передаточного отношения между вальцами:

$$i_{MIN} = \frac{r_{CP}}{L_{AB}} + 1; \quad (13)$$

$$i_{MAX} = \frac{d_{CP}}{L_{AB}} + 1. \quad (14)$$

Подставив в выражения (13) и (14) формулы (3)–(5), получим уравнения для определения максимального и минимального значений передаточного отношения между вальцами:

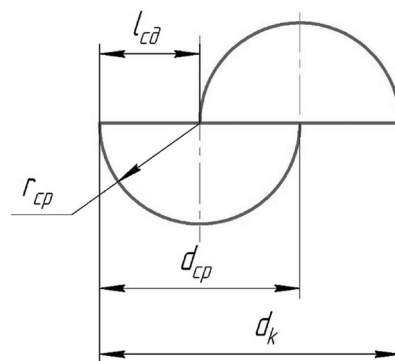


Рисунок 4. – Схема для определения рационального значения передаточного отношения валцов

$$i_{MIN} = \frac{360(b_3 + h_3)}{2\pi D \arccos \left(1 - \frac{d_{cp} - \left(b + h \frac{n_{en} c}{\pi(D-h)} \right)}{D} \right)} + 1; \quad (15)$$

$$i_{MAX} = \frac{360(b_3 + h_3)}{\pi D \arccos \left(1 - \frac{d_{cp} - b_c}{D} \right)} + 1. \quad (16)$$

Подставим в формулы (15) и (16) числовые значения, получим графическую зависимость (рисунк 5), показывающую влияние межвальцового зазора на максимальное и минимальное значения передаточного отношения между вальцами.

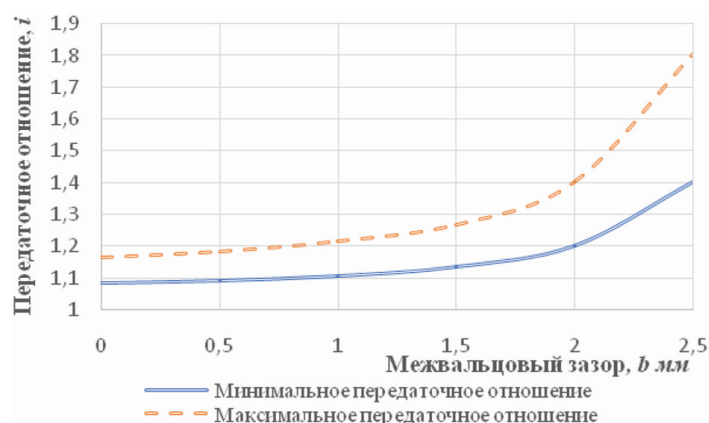


Рисунок 5. — Зависимость максимального и минимального значений передаточного отношения между вальцами от межвальцового зазора

Анализируя зависимости, представленные на рисунке 5, можно видеть, что на максимальное и минимальные значения передаточного отношения между вальцами влияет межвальцовый зазор, при его значении 0 мм передаточное отношение должно находиться в диапазоне 1,08–1,16; при межвальцовом зазоре 0,5 мм – 1,09–1,18; при 1,0 мм – 1,11–1,22; при 2,0 – 1,20–1,40.

Так как теоретические исследования по определению значения межвальцового зазора показали его значение 1,3–1,6 мм, можно сделать вывод, что теоретически рекомендуемое значение передаточного отношения между вальцами должно составить 1,12–1,28.

Для подтверждения полученных теоретических значений передаточного отношения между вальцами при двухстадийном измельчении были проведены экспериментальные исследования по изучению физического процесса деформации зерна при сдвиге вальцов.

Для данных целей была создана лабораторная установка для изучения влияния сдвига на разрушение зерна. Рабочая часть станда состоит из двух пластин (рисунок 6), на рабочих сторонах которых нарезаны рифлы (рисунок 7), аналогичные применяемым при вальцовом измельче-

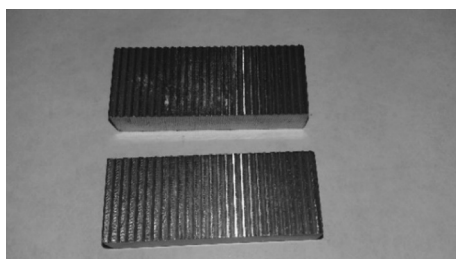


Рисунок 6. — Пластины

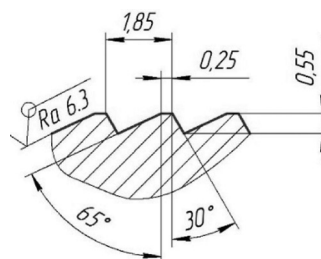
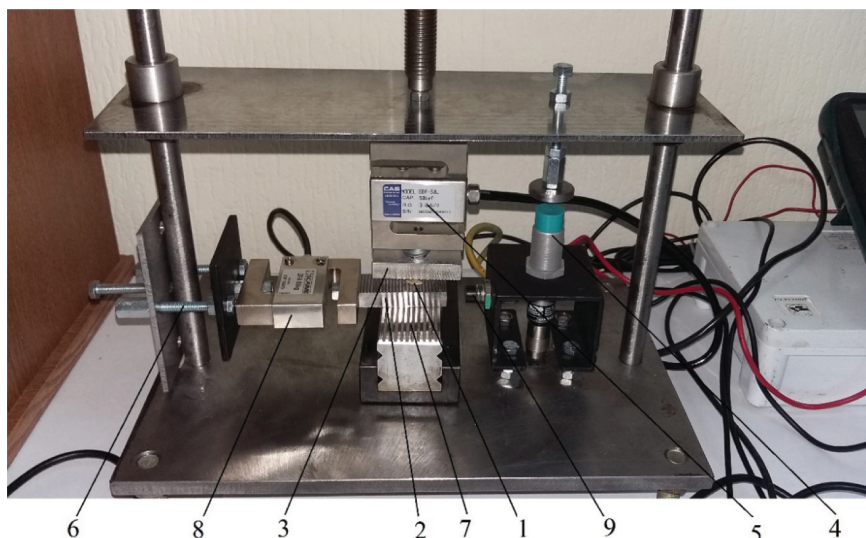


Рисунок 7. — Форма рифлей

нии. При этом верхняя пластина оказывает разрушающее воздействие на сжатие, а нижняя – на сдвиг.

На рисунке 8 представлен общий вид разработанного стенда для исследования сдвига.



- 1 – исследуемое зерно; 2 – нижняя пластина; 3 – верхняя пластина; 4 – датчик линейного перемещения (индуктивный);
5 – тензометрический датчик (фиксация сжатия); 6 – натяжной механизм; 7 – гладкая платформа;
8 – тензометрический датчик (фиксация сдвига); 9 – датчик линейного перемещения (датчик Холла)

Рисунок 8. – Общий вид стенда для исследования сдвига

Работа стенда (рисунок 8) заключается в следующем. Исследуемое зерно 1 кладется между нижней 2 и верхней 3 пластинами. Верхняя пластина 3 оказывает нагрузку сжатия перпендикулярно исследуемому зерну 1 при помощи винтового механизма стенда, до определенного расстояния между пластинами (1,0 и 1,5 мм), тем самым имитируя сжатие зерновки в вальцовом измельчителе. Расстояние между пластинами контролируется бесконтактным индуктивным датчиком 4. Сила, с которой воздействует верхняя пластина на зерно, определяется при помощи тензометрического датчика 5. Затем нижняя пластина приводится в параллельное движение относительно зерна при помощи натяжного устройства 6, тем самым имитируя сдвиг в вальцовом измельчителе. Для снижения силы трения нижняя пластина опирается на гладкую, отполированную платформу 7. Величина силы сдвига нижней пластины контролируется тензометрическим датчиком 8. Величина сдвига фиксировалось при помощи бесконтактного датчика линейного перемещения 9, работающего на эффекте Холла. Исследования проводились с единовременным параллельным замером как силы сдвига, так и силы, с которой давит верхняя пластина на зерно, а также расстояния между пластинами, тем самым фиксировались изменения силы сжатия и размера зерновки.

Данное исследование проведено на зернах ячменя кондиционной влажности с четырехкратной повторностью.

По результату проведенных исследований и полученным данным построены зависимости силы сжатия $F_{сж}$, силы сдвига $F_{сд}$ и степени деформации зерна Δl от величины сдвига $l_{сд}$, выраженного в расстоянии, которое прошла нижняя пластина относительно верхней.

На рисунке 9 и 10 представлены результаты исследуемых параметров от величины сдвига при расстоянии между пластинами 1,0 и 1,5 мм соответственно.

Анализируя полученные результаты, представленные на рисунках 9 и 10, следует отметить, что рациональная величина перемещения нижней пластины (длина сдвига), воздействующая на зерно, составляет 4 мм, последующее увеличение длины сдвига нецелесообразно, так как оно не приводит к дальнейшей деформации зерна и не оказывает на него воздействия. При перемещении пластин от 0 до 4 мм также наблюдается снижение величины силы сжатия и увеличение степени деформации. Сила, необходимая для образования сдвига, растет при сдвигании пластин

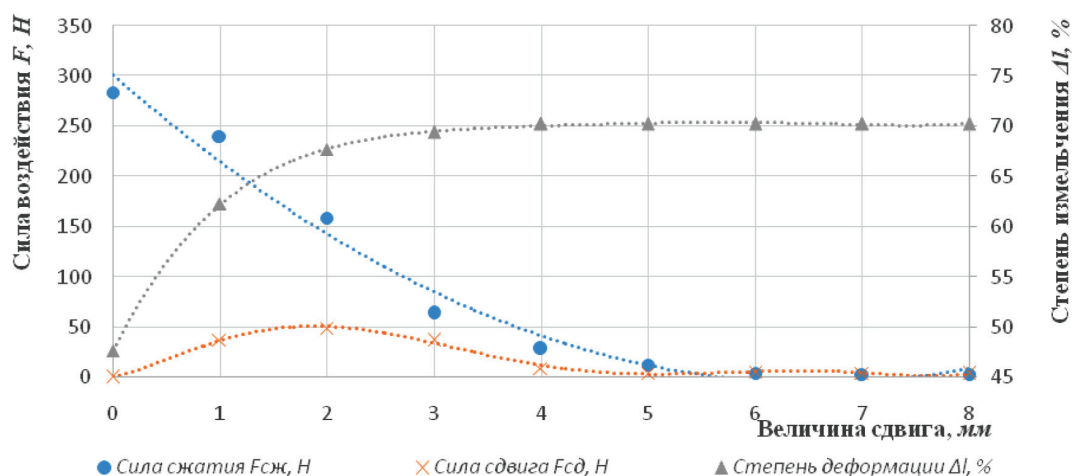


Рисунок 9. – Зависимость силы сжатия $F_{сж}$, силы сдвига $F_{сд}$ и степени деформации зерна Δl от величины сдвига пластин $l_{сд}$ при расстоянии между пластинами 1,0 мм (ячмень)

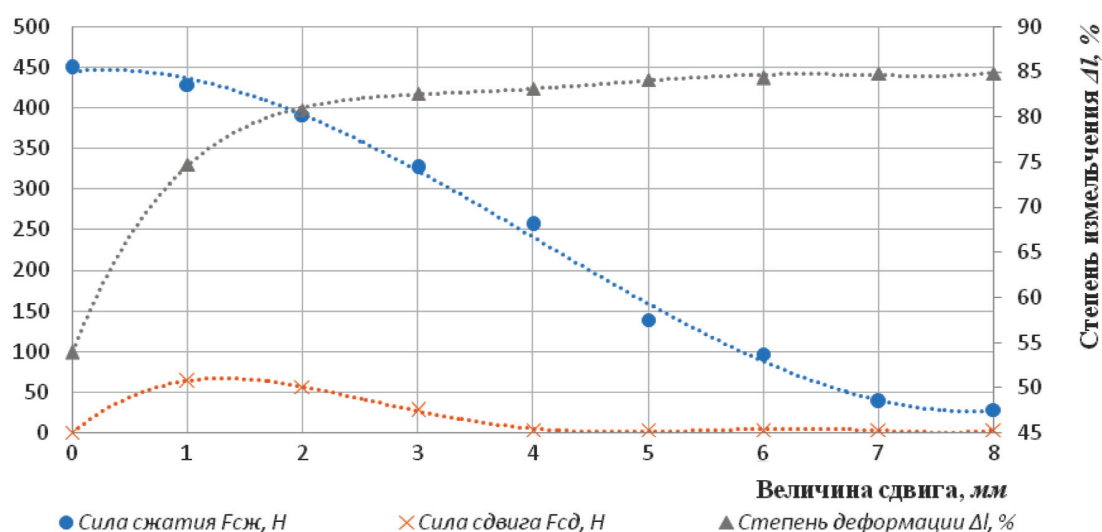


Рисунок 10. – Зависимость силы сжатия $F_{сж}$, силы сдвига $F_{сд}$ и степени деформации зерна Δl от величины сдвига пластин $l_{сд}$ при расстоянии между пластинами 1,5 мм (ячмень)

от 0 до 2 мм, затем снижается при сдвигании пластин от 2 до 4 мм до минимального значения, дальнейшее увеличение перемещения пластин происходит без существенного воздействия $F_{сд}$, что свидетельствует об отсутствии необходимости осуществления этого воздействия.

Сопоставление двух зависимостей с различным зазором между пластинами (рисунок 9 и 10) показывает, что его величина незначительно оказывает влияние на длину сдвига, при которой оказывается воздействие на зерно, при уменьшении зазора повышаются сила сжатия и сила, затрачиваемая на сдвиг, при этом увеличивается степень деформации зерна.

На основании экспериментально полученного интервала значения сдвига, которое составляет от 2 до 4 мм, рассчитано, что рациональное значение передаточного отношения между вальцами должно находиться в диапазоне 1,14–1,29, что практически соответствует значениям передаточного отношения, полученным теоретическим путем (рисунок 5) и составляющим 1,12–1,28.

Применение передаточного отношения в диапазоне 1,14–1,29 является рациональным с точки зрения энергоёмкости и позволяет повысить степень воздействия вальцового измельчителя на зерно путем увеличения количества создаваемых в предварительно измельченном зерне микротрещин в результате воздействия сдвига, при этом, снижая прочность зерновки, максимально сохраняем целостность зерна, тем самым создавая благоприятные условия для последующего его разрушения на второй стадии измельчения (молотковой дробилке).

В процессе дальнейших исследований по выявлению рациональных режимов работы двухстадийного измельчения зернофуража определили оптимальное значение передаточного отношения между вальцами, которое составляет 1,24 [8].

Заключение

В результате теоретических исследований было получено уравнение для определения скорости деформации зерновки рифлеными вальцами с учетом передаточного отношения между вальцами.

Также получены уравнения для определения максимального и минимального значений передаточного отношения между вальцами, которые составили 1,14 и 1,29 соответственно.

В результате экспериментальных исследований передаточного отношения между вальцами были проверены и подтверждены полученные теоретические значения.

Применение передаточного отношения в диапазоне 1,14–1,29 позволяет повысить степень воздействия вальцового измельчителя на зерно путем увеличения количества создаваемых в предварительно измельченном зерне микротрещин в результате воздействия сдвига, при этом снижая прочность зерновки и максимально сохраняя целостность зерна, в результате чего образуются благоприятные условия для его последующего разрушения на второй стадии измельчения (молотковой дробилке).

Литература

1. Руководство по технологии комбикормов, белково-витаминно-минеральных концентратов и премиксов / В. А. Афанасьев [и др.]. – Воронеж: ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт комбикормовой промышленности», 2008. – Т. 2. – 294 с.
2. Пунько, А. И. Разработка вальцового измельчителя зернофуража / А. И. Пунько, Д. И. Романчук // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 т. – Минск, 2011. – Т. 2. – С. 175–180.
3. Дашков, В. Н. Методика обоснования параметров двухстадийного измельчителя зерна / В. Н. Дашков, Н. А. Воробьев, С. А. Дрозд // Вестник БГСХА. – 2014. – № 2. – С. 190–193.
4. Воробьев, Н. А. Теоретическое исследование передаточного отношения между вальцами при двухстадийном измельчении зернофуража / Н. А. Воробьев, С. А. Дрозд // Инновационная деятельность в модернизации АПК (материалы МНПК студентов, аспирантов и молодых ученых): в 3 т. – Курск, 2017. – Т. 1. – С. 215–218.
5. Елисеев, В. А. Исследование процесса измельчения зерна ударом: дис. ... канд. техн. наук / В. А. Елисеев. – Воронеж, 1962. – 189 с.
6. Соловьев, И. К. Исследование механики процесса дробления ингредиентов комбикормов в молотковых дробилках: дис. ... канд. техн. наук / И. К. Соловьев. – Ростов н/Д, 1961. – 225 с.
7. Шуб, Г. И. Исследование технологического процесса измельчения сырья комбикормового производства на молотковой дробилке: дис. ... канд. техн. наук / Г. И. Шуб. – Москва, 1966. – 218 с.
8. Исследование процесса двухстадийного измельчения зернофуража с целью создания энергоэффективных машин для переработки кормов / Н. А. Воробьев, С. А. Дрозд, Е. Ф. Турцевич // Итоговый отчет по договору с БРФФИ № 15М-106. – Минск: БГАТУ, 2017. – 100 с.

В. Ф. Кузьменко, В. В. Максименко, С. Н. Ямпольский

*Национальный научный центр
«Институт механизации и электрификации сельского хозяйства» (ННЦ «ИМЭСХ»)
п. г. т. Глеваха, Киевская обл., Украина
e-mail: v.v.max@ukr.net*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСКОРИТЕЛЯ МАССЫ КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Приведены результаты экспериментальных исследований по определению затрат удельной энергии ускорителя кормоуборочного комбайна и усилия, создаваемого потоком сырья на щите-улавливателе резаной стеблевой массы. Исследовалось влияние окружной скорости концов лопаток ротора ускорителя, количества лопаток, угла наклона лопаток к радиальному направлению, зазора между кожухом и концами лопаток. Получены зависимости удельных затрат энергии на ускорение резаной массы и усилия на щите-улавливателе от исследуемых факторов – уравнения регрессии в виде полиномов второго порядка.

Ключевые слова: комбайн кормоуборочный, ускоритель, удельный расход энергии, подача, усилие, щит-улавливатель, ускорение, резаная стеблевая масса, эксперимент.

V. F. Kuzmenko, V. V. Maksimenko, S. N. Yampolsky

*National Scientific Center Institute for Agricultural Engineering and Electrification (NSC «IAEE»)
Glevaha, Kyiv region, Ukraine
e-mail: v.v.max@ukr.net*

EXPERIMENTAL JUSTIFICATION OF PARAMETERS ACCELERATOR OF MASS OF COMPLETE COMBINE

The results of experimental studies on determining the costs of the specific energy of the forage harvester accelerator and the effort created by the flow of raw materials on the shield-catcher of the cut stalk mass are presented. The influence of the circumferential velocity of the ends of the rotor blades of the accelerator, the number of blades, the angle of inclination of the blades to the radial direction, the gap between the casing and the ends of the blades was investigated. Dependences of the specific energy consumption on the acceleration of the cut mass and the forces on the shield-catcher from the factors studied are obtained – the regression equations in the form of second-order polynomials.

Keywords: forage harvester, accelerator, specific energy consumption, feed, force, shield-catcher, acceleration, cut stem mass, experiment.

Постановка проблемы

При работе современных кормоуборочных комбайнов резаная масса после прохождения доизмельчающих валцов попадает на лопатки ускорителя, ее движение упорядочивается и ускоряется. Далее, двигаясь по транспортировочному каналу и по воздуху, она попадает в кузов транспортного средства. Проблема заключается в уточнении энергетического баланса рабочих органов комбайна, а именно в определении расхода энергии, потребляемой ускорителем комбайна, и усилия, создаваемого потоком резаной массы после прохождения ею ускорителя на щите-улавливателе [1, 2, 3, 4].

Анализ и методика проведения исследований

Известны исследования метателей с осевой подачей сырья, однако схемы с тангенциальной подачей резаной массы, используемой в кормоуборочных комбайнах [2, 3, 5, 6], не исследованы.

Исследования проводились экспериментально [7, 8], путем одновременного определения мощности, потребляемой ускорителем резаной массы, усилия на щите и подачи.

Удельный расход энергии E_n рассчитывали по известной зависимости:

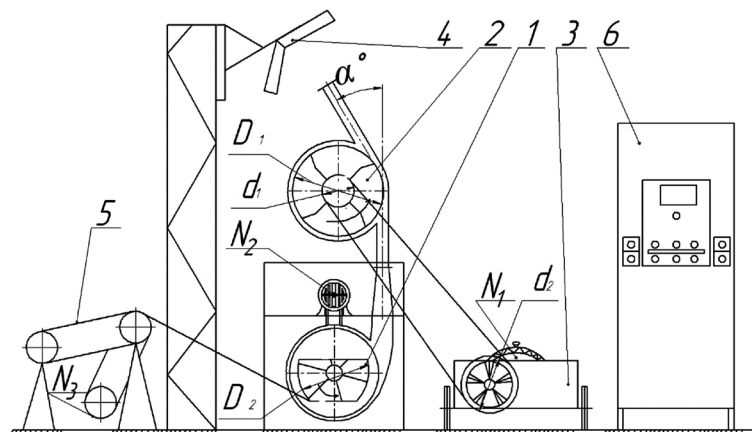
$$E_n = \frac{N}{\Pi}, \text{ Дж/кг},$$

где N – мощность, потребляемая ускорителем резаной массы, Вт;

Π – подача массы к питающему ротору-барабану, кг/с.

Мощность N и подача Π определялись экспериментально с использованием установки (рисунок 1). Принцип действия установки и основные ее характеристики приведены в [4, 9, 10].

При работе установки через приемную горловину кожуха ротора-барабана 1 масса подавалась на его лопатки, которыми после ее предварительного разгона через вертикальный выгрузной дефлектор направлялась в ускоритель 2. Окружная скорость концов лопаток ротора-барабана 1 составляет 32,4 м/с.



1 – барабан; 2 – ускоритель; 3 – вариатор; 4 – щит-улавливатель; 5 – транспортер; 6 – шкаф управления

Рисунок 1. – Схема экспериментальной установки

Попадая в зону действия лопаток ускорителя 2, которая характеризуется размерами сечения и углом между осями входного и выходного каналов, поток массы направлялся на щит-улавливатель 4, приемная плоскость которого установлена перпендикулярно направлению потока. После взаимодействия со щитом и отражения от приемной плоскости резаная масса накапливалась под щитом-улавливателем.

При работе с установкой следует убедиться в отсутствии посторонних предметов на ней, исправности механизмов, электропривода [11], регистрирующей аппаратуры, надежности заземления и соблюдать требования правил индивидуальной защиты и техники безопасности [12].

Для определения усилия на приемной плоскости щита-улавливателя 4 было использовано тензозвено, которое представляет собой плоскую балку с наклеенными на ней тензометрическими сопротивлениями номиналом 100 Ом – по две с каждой стороны балки. Сопротивления соединены в мостовую схему. Источник, использовавшийся для питания моста (Lab Tools 15V 30A), настроили на напряжение 12 В.

Для записи сигнала с моста использовался ПК с АЦП (аналого-цифровым преобразователем E14-140-M-D) и соответствующим программным обеспечением.

Перед началом работы после установки щита-улавливателя тензозвено было протарировано. Особенность тарирования – соединение тяги с поверхностью по центру следа взаимодействия и в направлении движения потока массы. Полученная в результате тарировки зависимость представлена на рисунке 2.

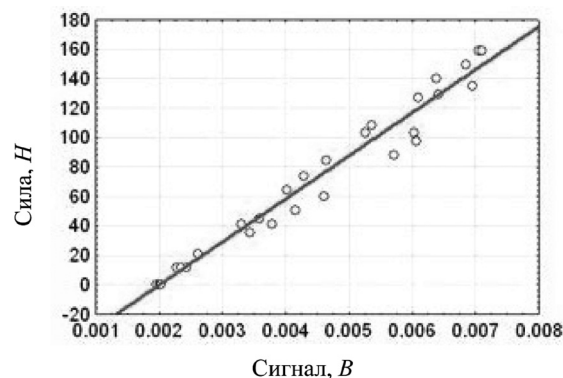


Рисунок 2. – Тарировочный график тензозвена щита-улавливателя

Усилие, создаваемое на приемной поверхности щита-улавливателя, определялось по величине сигнала, формируемого тензозвеном по линейной зависимости:

$$F_{щ} = -58,7749 + 29261,3054 \times U_{щ},$$

где $U_{щ}$ – сигнал, В.

После проведения анализа предыдущих исследований [2, 3, 4, 5, 6, 9] в качестве исследуемых факторов приняты [13, 14]:

- окружная скорость концов лопаток, v , м/с;
- количество лопаток, n , шт.;
- угол наклона лопаток к радиальному направлению, α , град.;
- зазор между кожухом и концами лопаток, Δ , мм.

Используя сигнал, полученный со щита-улавливателя, характеризующий усилие, создаваемое на приемной поверхности по закону сохранения импульса силы, можно определить скорость столкновения массы:

$$\Delta v = k \times \frac{p \times \Delta t}{m}, \text{ м/с},$$

где Δv – скорость взаимодействия потока с поверхностью, м/с;

$0 < k < 1$, коэффициент, учитывающий уменьшение силового воздействия потока массы на плоскость;

p – усилие на приемной поверхности, Н;

Δt – время взаимодействия, с;

m – масса материала, которая взаимодействует за время t , кг.

Критерием оптимизации является минимум затрат удельной энергии на ускорение резаной стеблевой массы E_n (Дж/кг) и усилие на щите-улавливателе $F_{щ}$ (Н).

Обозначения факторов, уровни и интервалы их варьирования [14] приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Исследуемые факторы и уровни их варьирования

Уровень варьирования факторов	Исследуемые факторы			
	Скорость круговая, м/с, (x_1)	Количество лопаток, шт., (x_2)	Угол установки лопаток к радиальному направлению, град., (x_3)	Зазор в зоне ускорения, мм, (x_4)
Верхний (+)	55	6	+15	10
Нулевой (0)	45	4	0	6
Нижний (–)	35	2	–15	2
Интервал варьирования	10	2	15	4

При проведении исследований был использован план Бокса (B_4) [14]. Исследования проводились на резаной массе кукурузы со средневзвешенной длиной резки 13,1 мм, влажностью 70,32 %, при укладке на 1 м транспортера порции массой 33 кг.

Цель исследований. Экспериментально определить влияние конструкционных параметров ускорителя резаной массы комбайна на расход удельной энергии и создание усилия на щите-улавливателе.

Методы. Исследования проводились экспериментально путем определения затрат удельной энергии ускорителя, усилия, создаваемого на щите-улавливателе, и подачи резаной стеблевой массы. Обработка результатов проводилась с использованием методов регрессионного анализа и математической статистики.

Результаты. Обработка экспериментальных данных была проведена с помощью программного обеспечения Microsoft Excel, RegMod, Wolfram Mathematica. После обработки результатов четырехфакторного эксперимента были получены зависимости удельных затрат энергии на ускорение резаной массы и усилия на щите-улавливателе от исследуемых факторов – уравнения регрессии в виде полиномов второго порядка.

В закодированном виде расход удельной энергии ускорителем E_n (Дж/кг) определяется зависимостью:

$$E_n = 0,13317 + 0,05070x_1 + 0,00563x_1^2 + 0,06231x_2 + 0,08560x_3 + \\ + 0,02087x_1x_3 - 0,00417x_2x_3 - 0,03633x_4 + 0,03994x_4^2.$$

Наибольшим по величине является коэффициент при x_3 – угле установки лопатки. Этот параметр оказывает наибольшее воздействие на изменение удельных затрат энергии при работе ускорителя массы.

Для раскодирования зависимости (1) и получения уравнения регрессии в натуральном виде использованы соотношения [6]:

$$x_1 = (v - 45)/10; \quad x_2 = (n - 4)/2; \quad x_3 = (\alpha - 0)/15; \quad x_4 = (\Delta - 6)/4. \quad (2)$$

После подстановки соотношений (2) в уравнение (1) получаем уравнение регрессии удельного расхода энергии в расшифрованной виде:

$$E_n = 0,0388299 + 0,0311599n - 0,0390452\Delta + 0,0000563v^2 + \\ + 0,0001392v\alpha - 0,0001392n\alpha + 0,0024968\Delta^2,$$

где v – окружная скорость концов лопаток, м/с;

α – угол наклона лопаток к радиальному направлению, град.;

n – количество лопаток, шт.;

Δ – зазор между кожухом и концами лопаток, мм.

Для зависимостей (1), (3), которые являются адекватными на 95 % на уровне доверительной вероятности, коэффициент множественной детерминации составляет $D = 0,950085$. Значение критерия Фишера $F = 53,9303$, что больше табличного значения. Все коэффициенты модели являются значимыми на уровне доверительной вероятности не менее 95 %.

Для наглядного анализа влияния параметров на удельные энергозатраты построены трехмерные поверхности. Для этого строились зависимости от параметров уравнения регрессии, возведенных в квадрат (Δ , v) и влияющих линейно (α , n).

Понятно, что в первом случае поверхности будут криволинейными (рисунок 3). Зазор Δ действует на смену удельных затрат энергии эффективнее, чем окружная скорость концов лопаток.

Это объясняется тем, что коэффициенты при членах нераскодированного уравнения регрессии отличаются на порядок, причем большее значение коэффициента – при зазоре Δ . Увеличение окружной скорости концов лопаток ускорителя в пределах исследуемых скоростей (35–55 м/с) приводит лишь к монотонному увеличению расходов удельной энергии по параболической кривой, зоны экстремума отсутствуют.

Увеличение зазора до 7 мм в пределах 2–10 мм приводит к уменьшению удельных затрат энергии. При достижении минимума при 7–9 мм зазора дальнейшее его увеличение приводит к увеличению удельных энергозатрат. Таким образом, в зоне исследований наблюдается экстремум при зазоре 7–9 мм.

Зависимость затрат энергии от угла отклонения лопатки от радиального направления и их количества при зазоре 6 мм и скоростях концов лопаток 35, 45, 55 м/с представлена тремя плоскими поверхностями, расположенными одна над другой (рисунок 4).

Увеличение количества лопаток с 2 до 6 шт. и угла отклонения в пределах от -15° до $+15^\circ$ от радиального направления приводит к равномерному увеличению удельных затрат энергии на ускорение массы. Поэтому при $\alpha = -15^\circ$, $n = 2$ шт. достигается $E_n = 0,03$ – $0,08$ Дж/кг – минимум затрат удельной энергии ускорителем в пределах зоны изменения исследуемых параметров.

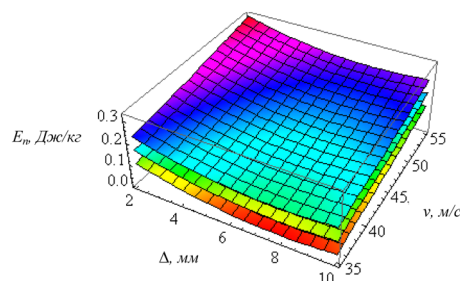


Рисунок 3. – Влияние зазора Δ и окружной скорости v на расход удельной энергии E_n при количестве лопаток n 2, 4 и 6 шт. (соответственно нижняя, средняя и верхняя поверхности)

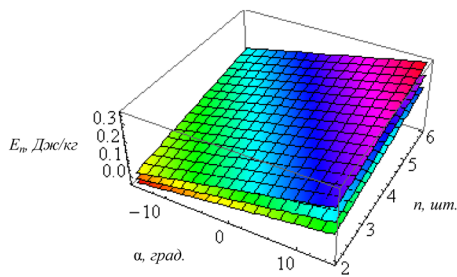


Рисунок 4. – Влияние угла наклона лопаток α и количества лопаток n на потребление удельной энергии E_n при окружной скорости концов лопаток v 35, 45 и 55 м/с (соответственно нижняя, средняя и верхняя поверхности)

При максимальных значениях анализируемых параметров $\alpha = 15^\circ$, $n = 6$ шт. удельные затраты энергии достигают максимального значения $E_n = 0,15\text{--}0,30$ Дж/кг, что в 3,8–5,0 раз больше минимальных значений.

Усилие на щите-улавливателе характеризует скорость выбрасывания массы и является показателем качества процесса ускорения.

В закодированном виде усилие на щите-улавливателе, создаваемое ускорителем $F_{щ}$ (Н), определяется зависимостью:

$$F_{щ} = 51,8585 + 1,3377x_1 + 16,9083x_1^2 + 11,5875x_2 - 4,35668x_2^2 - 16,4968x_3 - 8,24838x_2x_3 - 7,01294x_4 - 2,33765x_4^2.$$

Наибольшими по величине и близкими по значению являются коэффициенты при квадрате скорости x_1 и угле установки лопатки x_3 . Квадрат скорости оказывает наибольшее воздействие на изменение усилия на щите-улавливателе. Действие квадрата скорости однозначно, и ее увеличение приводит к увеличению усилия на щите-улавливателе. Угол отклонения лопатки от радиального может принимать как положительные, так и отрицательные значения (таблица 1), поэтому угол наклона лопатки может как уменьшать (при отклонении вперед), так и увеличивать (при отклонении назад) усилие на щите-улавливателе.

После подстановки соотношений (2) в уравнение (4) получаем уравнение регрессии усилия на щите-улавливателе в расшифрованном виде:

$$F_{щ} = 352,89 - 15,0837v + 14,5071n + 0,169083v^2 - 1,08917n^2 - 0,274946n\alpha - 0,146103\Delta^2. \quad (5)$$

Для зависимостей (4), (5), которые являются адекватными на 95 % на уровне доверительной вероятности, коэффициент множественной детерминации составляет $D = 0,950764$. Значение критерия Фишера $F = 54,7129$, что больше табличного значения. Все коэффициенты модели являются значимыми на уровне доверительной вероятности не менее 95 %.

Для облегчения анализа влияния параметров на усилие на щите-улавливателе построены трехмерные поверхности (рисунок 5, 6).

Видим, что действие скорости имеет в исследуемой зоне минимум, что достигается при скорости концов лопаток ускорителя 44–46 м/с. Это объясняется тем, что кроме упорядочивания движения частиц резаной стеблевой массы происходит взаимодействие воздушных потоков, которые образуются с разгоном массы. Усилие на щите-улавливателе в зависимости от зазора мо-

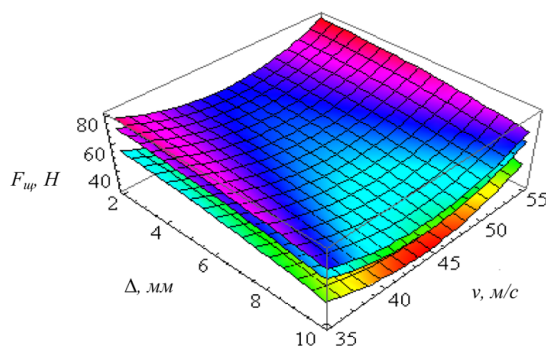


Рисунок 5. – Влияние зазора Δ и окружной скорости v на усилие на щите-улавливателе $F_{щ}$ при количестве лопаток n 2, 4 и 6 шт. (соответственно нижняя, средняя и верхняя поверхности)

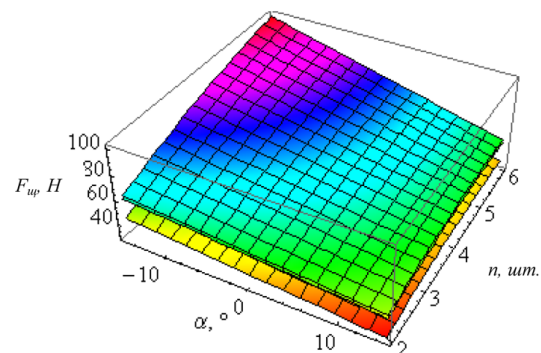


Рисунок 6. – Влияние угла наклона лопаток α и количества лопаток n на усилие на щите-улавливателе $F_{щ}$ при окружной скорости концов лопаток v 35, 45 и 55 м/с (соответственно нижняя, средняя и верхняя поверхности)

нотонно уменьшается по параболической зависимости. Экстремум в исследуемой зоне отсутствует. Отклонение лопатки от радиального направления вперед линейно уменьшает усилие на щите-улавливателе, а увеличение количества лопаток на ускорителе несколько увеличивает усилие выброса массы.

Выводы

Выбирая параметры ускорителя, следует ориентироваться на минимальные затраты энергии и максимальное усилие, создаваемое на щите-улавливателе.

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено, что из исследуемых конструктивных параметров (v , n , α , Δ) при минимизации удельного расхода энергии наиболее весомым является зазор Δ между концами лопаток и кожухом ускорителя, а при оптимизации усилия на щите-улавливателе – скорость концов лопаток v и угол установки лопатки относительно радиального направления α . Зависимости окружной скорости концов лопаток v и зазора Δ между лопатками и кожухом в обоих случаях имеют параболический характер, а угол наклона лопаток α к радиальному направлению и их количество n – линейный. Минимальные удельные затраты энергии и максимальное усилие на щите-улавливателе в пределах исследуемых параметров достигаются при $v = 37\text{--}40$ м/с, $n = 4\text{--}6$ шт., $\alpha = 0 \dots -5^\circ$, $\Delta = 7\text{--}9$ мм.

Для работы при обкашивании полей и прокосах загонок следует предусмотреть возможность увеличения скорости концов лопаток ускорителя до $v = 53\text{--}55$ м/с и уменьшение зазора до $\Delta = 2$ мм.

Литература

1. Адамчук, В. В. Перспективи розвитку і застосування у сільському господарстві сучасних високотехнологічних засобів / В. В. Адамчук, В. М. Булгаков, І. В. Гриник // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки та технологій для сільського господарства України: Зб. наук. праць. / УкрНДІПВТ ім. Леоніда Погорілого. – Дослідницьке, 2013. – Вип. 17 (31). – С. 22–33.
2. Кузьменко, В. Ф. Аналіз схем сучасних кормозбиральних комбайнів та особливості їх конструкцій / В. Ф. Кузьменко, В. В. Максименко, С. М. Ямпольський // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2010. – Вип. 94. – С. 279–287.
3. Чепурной, А. И. Перспективные кормоуборочные комбайны и технологии / А. И. Чепурной, В. В. Козлов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – № 6. – С. 14–18.
4. Кузьменко, В. Ф. Основні параметри прискорювачів кормозбиральних комбайнів / В. Ф. Кузьменко, В. В. Максименко, С. М. Ямпольський // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2012. – Випуск 96. – С. 328–334.
5. Особов, В. И. Тенденции развития самоходных кормоуборочных комбайнов / В. И. Особов // Техника и оборудование для села. – 2002. – № 10. – С. 28–33.
6. Осьмак, В. Я. Класифікація та прогноз розвитку конструкцій кормозбиральних комбайнів / В. Я. Осьмак, І. В. Качан // Зб. наук. праць УкрНДІПВТ. – Дослідницьке, 2003. – Вип. 6 (20), кн. 2. – С. 250–254.
7. Афанасьева, Н. Ю. Вычислительные и экспериментальные методы научного эксперимента / Н. Ю. Афанасьева. – М.: КноРус, 2010. – 330 с.
8. Пальчевский, Б. А. Научное исследование: объект, направление, метод / Б. А. Пальчевский. – Львов: Вища школа, 1979. – 180 с.
9. Кузьменко, В. Ф. Методика проведення експериментальних досліджень прискорювача потоку різаної маси / В. Ф. Кузьменко, В. В. Максименко, С. М. Ямпольський // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наукових праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Вип. 19 (33). – Дослідницьке, 2015. – С. 426–435.
10. Кузьменко, В. Ф. Взаємодія лопаток прискорювача з частками різаної маси в транспортувальному каналі кормозбирального комбайна / В. Ф. Кузьменко, В. В. Максименко, С. М. Ямпольський // Матеріали І-ї науково-технічної інтернет-конференції «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві». – Глеваха, 2012. – С. 16.
11. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок. Наказ, Правила від 06.10.1997 № 257 (Статус: Чинний). – 7 с.
12. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація: ДСТУ 7239:2011. – Введ. 02.02.2011. – К.: Держспоживстандарт України, 2011.
13. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 276 с.
14. Адлер, Ю. П. Введение в планирование эксперимента / Ю. П. Адлер. – М.: Металлургия, 1968. – 155 с.

П. В. Авраменко¹, С. В. Крылов¹, Т. В. Бойко¹, Ю. Л. Салапура²

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: minsk777@tut.by

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: labmkr@yandex.ru

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ВНЕСЕНИИ ЖИДКИХ КОНСЕРВАНТОВ НА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНАХ

В статье представлены теоретические и экспериментальные исследования по обоснованию способа и устройства дозирования консервантов на самоходных высокопроизводительных кормоуборочных комбайнах.

Ключевые слова: комбайн, консерванты, неравномерность, корма.

P. V. Auramenka¹, S. V. Krilov¹, T. V. Boiko¹, Y. L. Salapura²

¹Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: minsk777@tut.by

²RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: labmkr@yandex.ru

PROVISION OF QUALITATIVE INDICATORS FOR LIQUID CONSERVANTS AT HIGH-PRODUCTIVE FEEDING COMBINES

The article presents theoretical and experimental studies to substantiate the method and device for dosing preservatives on self-propelled high-performance forage harvesters.

Keywords: harvester, preservatives, variation, forage.

Введение

Современные технологии заготовки консервированных сочных кормов из трав и силосных культур предполагают при уборке в неблагоприятных погодных условиях применение химических или биологических консервантов.

Установлено, что эффективность применения консервантов зависит от качества их внесения, которое должно соответствовать агропотребованиям [1–5]: отклонение от заданной дозы внесения и неравномерность распределения препарата не должны превышать 20 %.

Несоблюдение данных показателей резко снижает эффективность применения консервантов.

В настоящее время широкое распространение получил наиболее технологичный и энергоэффективный метод внесения жидких консервантов на мобильных кормоуборочных агрегатах. При этом наиболее перспективным (технологически состоятельным) является внесение консерванта в силосопровод. Тем не менее использование классических методов и способов, разработанных и исследованных в 80-х и 90-х годах, становится проблематичным, так как данные работы выполнены на кормоуборочных машинах (снятых с производства) с пропускной способностью от 1 до 8 кг/с и диапазоном скоростей потока 30–38 м/с [6–8]. Современные высокопроизводительные комбайны, которые активно начали применять хозяйства нашей республики в технологии заготовки консервированных кормов, имеют пропускную способность от 11 до 41 кг/с, иную конфигурацию технологического тракта и существенно более высокую скорость пневмокормового потока – 70 м/с и выше.

Целью данной работы является исследование и обоснование путей обеспечения необходимых качественных показателей процесса внесения жидких консервантов в силосопровод кормоуборочного комбайна.

Основная часть

Неравномерность внесения жидкого консерванта, согласно ТКП 195–2009 (02150), оценивается коэффициентом вариации содержания консерванта в массе измельченного растительного материала, который определяется согласно выражению [9, с. 15]:

$$v = \sigma / V_{к,ср} = \sqrt{\sum (V_{к,i} - V_{к,ср})^2 / (n_o - 1)} / V_{к,ср} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где σ – среднее квадратичное отклонение, л/кг;

$V_{к,ср}$ – среднее значение содержания консерванта в массе корма, л/кг;

$V_{к,i}$ – локальное содержание консерванта в каждой пробе корма, л/кг;

n_o – количество проб в опыте, шт.

Основной проблемой внесения консерванта на кормоуборочном комбайне является равномерная объемная обработка измельченного растительного материала при отсутствии смешивающих рабочих органов.

Сам процесс внесения консервантов в силосопровод кормоуборочного комбайна представляет собой взаимодействие факела консерванта и пневмокормового потока и, соответственно, состоит из двух подпроцессов: движения распыла консерванта и движения пневмокормового потока, при этом происходит смешивание двух сред: жидкой и твердой.

Проанализируем составляющие общей неравномерности внесения консерванта в пневмокормовой поток.

Согласно рисунку 1, неравномерность внесения консерванта v (%) в выделенный единичный объем V_i состоит из неравномерностей распределения консерванта в трехмерном пространстве по осям Ox , Oy , Oz [10]:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2},$$

где v_x , v_y , v_z – неравномерность распределения консерванта по осям Ox , Oy , Oz , %.

По оси Ox имеет место наибольшая неравномерность внесения $v_x = 28\text{--}34\%$ [10]. Это толщина пневмокормового потока, где для достижения минимальной неравномерности необходимо: 1) обеспечить соотношение глубины проникновения консерванта и толщины пневмокормового потока, при которой неравномерность будет минимальной; 2) обеспечить минимальные колебания толщины пневмокормового потока в месте внесения консерванта.

Изменение толщины потока зависит от мгновенной производительности кормоуборочного комбайна и влияет на глубину проникновения консерванта и, соответственно, на равномерность его распределения по толщине потока. В результате проведенных исследований установлено, что для каждой толщины пневмокормового потока $h_{кп}$ существует оптимальная глубина проникновения консерванта $x_{опт}$, при которой неравномерность распределения будет минимальной. В частности, получено соотношение $K_v = x_{к} / h_{кп} = 1,71$ [10].

По оси Oy . Это направление движения пневмокормового потока, где минимальная неравномерность внесения достигается установкой равномерной распылительной форсунки, обеспечивающей постоянный расход рабочего раствора с симметричным факелом распыла (щелевой равномерный распылитель).

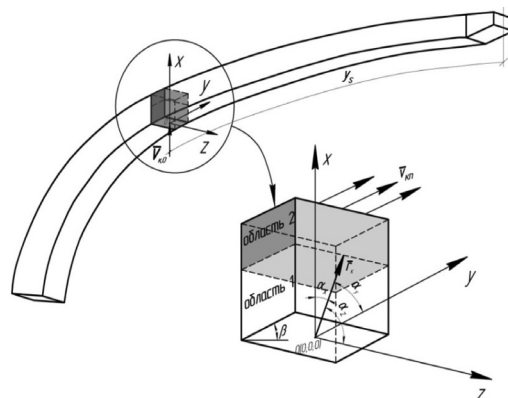


Рисунок 1. – Схема внесения жидкого консерванта в силосопровод кормоуборочного комбайна

При работе кормоуборочного комбайна на номинальном режиме загрузки двигателя показатель v_y составляет 7–8 % [10].

По оси Oz . Это направление пневмокормового потока по ширине, в котором происходят наименьшие колебания по неравномерности, что обеспечивается применением как равномерной распылительной форсунки с симметричным факелом распыла, так и стабильным конструктивным размером технологического тракта кормоуборочного комбайна.

При использовании форсунки с равномерным факелом распыла неравномерность распределения жидкости по ширине факела находится в диапазоне $v_z = 3–4$ % [10].

Рассмотренный комплексный показатель (неравномерность внесения), согласно формуле (1), включает в себя и оценку отклонения локального содержания консерванта от его среднего содержания в корме. С другой стороны, необходимо учитывать количественный показатель (отклонение от заданной дозы).

Отклонение от заданной нормы (дозы) внесения представляет собой разницу между фактическим (нормативным) количеством консерванта $V_{к,ф}$, внесенным в пневмокормовой поток, и средним его количеством $V_{к,ср}$, определенным после обработки:

$$\Delta D = \left[(V_{к,ф} - V_{к,ср}) / V_{к,ф} \right] \cdot 100 \%,$$

где $V_{к,ф}$ – фактическое количество консерванта в пробе корма, л/кг ($м^3/кг$);

$V_{к,ср}$ – среднее количество консерванта в пробе корма, л/кг ($м^3/кг$).

Отклонение от заданной нормы (дозы) внесения зависит от величины отклонения расхода через форсунку ΔD , потерь препарата от сноса воздушным потоком и испарения ($K_{ном}$), а также отклонения (колебания) подачи растительной массы ΔG :

$$\Delta D = f(\Delta D_k, K_{ном}, \Delta G_{кп}).$$

Отклонение ΔD_k фактического расхода консерванта $D_{к,ф}$ от установочного $D_{к,у}$ оценивают по выражению [9, с. 14]:

$$\Delta D_k = (D_{к,ф} - D_{к,у}) / D_{к,у} \cdot 100 \%,$$

где $D_{к,ф}$ – фактический расход консерванта, л/мин ($м^3/с$);

$D_{к,у}$ – установочный расход консерванта, л/мин ($м^3/с$).

Отклонение фактического расхода консерванта ΔD_k зависит от принципиальной схемы и характеристик дозирующего насоса, типа и параметров распылителя, технического состояния системы подачи и ограничено 5 % [11].

В последние годы разработаны и освоены в производстве достаточно надежные и долговечные насосы-дозаторы для внесения средств химической защиты, жидких удобрений, консервантов, обеспечивающие необходимые величины рабочего давления и расхода препаратов. Это позволяет принять колебания подачи консерванта как несущественные и не оказывающие заметного влияния на дозу внесения.

Частным случаем отклонения дозирования консерванта при внесении в пневмокормовые потоки являются потери.

Потери консерванта $K_{ном}$ определяются как разница между фактическим количеством консерванта $V_{к,ф}$, внесенным в пневмокормовой поток, и средним его количеством $V_{к,ср}$, определенным после обработки [6, с. 114–115]:

$$K_{ном} = \left[(V_{к,ф} - V_{к,ср}) / V_{к,ф} \right] \cdot 100 \%,$$

где $V_{к,ф}$ – фактическое количество консерванта в пробе корма, л/кг ($м^3/кг$);

$V_{к,ср}$ – среднее количество консерванта в пробе корма, л/кг ($м^3/кг$).

Согласно общеизвестным исследованиям, потери консерванта $K_{ном}$ состоят из потерь на испарение и снос.

Потери на испарение при распыливании консерванта незначительны (порядка 1–2 %), их, как правило, не учитывают [12].

Потери на снос имеют место при внесении в движущиеся пневмокормовые потоки, так как за короткое время нахождения массы в силосопроводе некоторая часть капель не успевает войти в контакт с частицами, соответственно, происходит выброс распыленного консерванта воздухом. При внесении консерванта на высокопроизводительных кормоуборочных комбайнах данный вид потерь может превышать 30 % [13].

Другим важным фактором, влияющим на нестабильность дозы внесения, является *отклонение подачи растительной массы* по причине колебания мгновенной производительности уборочного комплекса, что зависит от частоты изменения скорости движения машины, урожайности и порционности подачи в технологический тракт измельченной массы барабаном и ускорителем массы.

Для обеспечения минимальных отклонений подачи растительной массы стабилизацию мгновенной производительности необходимо обеспечивать путем работы комбайна в режиме номинальной загрузки двигателя. Учитывая наличие бесступенчатой гидрообъемной трансмиссии на всех типах отечественных и зарубежных комбайнов, поддержание данного режима загрузки двигателя для опытного механизатора не составляет труда. Следует отметить, что на многих типах зарубежных комбайнов уже имеются автоматические системы, обеспечивающие это условие.

В УО «БГАТУ» были предложены способ и устройство [14], обеспечивающие качественные показатели при внесении консерванта на высокопроизводительных кормоуборочных комбайнах. В частности, при координате места дозирования на силосопроводе кормоуборочного комбайна КВК-800 $y_s = 2,75$ м были достигнуты следующие значения показателей: минимальная неравномерность внесения (v_{min}) = 12 % и допустимые потери консерванта $K_{пот} = 6$ %.

Заключение

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования распределения консерванта в измельченном растительном материале позволили предложить способ и устройство, обеспечивающие качественные показатели при дозировании химических и биологических препаратов на самоходных высокопроизводительных кормоуборочных комбайнах.

Литература

1. Соколов, А. В. Оценка качества внесения жидкого консерванта в растительную массу / А. В. Соколов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1990. – № 8. – С. 27.
2. Пиуновский, И. И. Интенсификация технологических процессов производства кормов из трав механико-химической обработкой: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / И. И. Пиуновский. – Минск, 1992. – 388 л.
3. Агротехнические требования на устройство к кормоуборочным машинам для обработки убираемых кормов химконсервантами. – Лобня: ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса, 1978. – 5 л.
4. Покровский, В. С. Разработка параметров технологического процесса обработки силосуемой массы и соломы химическими препаратами: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.02.02 / В. С. Покровский. – М., 1984. – 216 л.
5. Соколов, А. В. Потери консервантов при заготовке кормов // Химизация сельского хозяйства. – 1990. – № 9. – С. 67–68.
6. Грачев, А. В. Способы и технические средства повышения эффективности обработки силосуемой массы химическими консервантами: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А. В. Грачев. – Москва, 1987. – 167 л.
7. Ясинкас, А. А. Совершенствование технологии и средств механизации химического консервирования трав: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А. А. Ясинкас. – Елгава, 1988. – 161 л.
8. Соколов, А. В. Технологические и технические решения сохранности влажного сырья химическими консервантами: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 05.20.01 / А. В. Соколов; Всероссийский науч.-исслед. ин-т механизации с/х-ва (ВИМ). – Москва, 1998. – 56 с.
9. Сельскохозяйственная техника. Машины для уборки трав и силосных культур с измельчением для приготовления влажного и сухого корма: ТКП 195–2009 (02150). – Введ. 25.08.2009. – Минск: Минсельхозпрод, 2009. – 50 с.
10. Авраменко, П. В. Исследование и обоснование параметров оборудования для внесения консервантов в кормовую массу / П. В. Авраменко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; под общ. ред. П. П. Казакевича. – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 2. – С. 53–61.
11. Машины сельскохозяйственные. Опрыскиватели полевых культур, находящиеся в эксплуатации. Часть 1. Требования и методы контроля: СТБ/ОР (EN 13790–1:2003). – Минск: Госстандарт, 2003. – 18 с.
12. Кузьмицкий, А. В. Механико-технологические основы внесения консервантов в силосуемые корма: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / А. В. Кузьмицкий. – Горки, 2001. – 390 л.

13. Кузьмицкий А. В. Применение электризации технологических жидкостей при заготовке кормов / А. В. Кузьмицкий, Ю. М. Урамовский, П. В. Авраменко, Т.В. Бойко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; редкол.: П. П. Казакевич [и др.]. – Минск, 2012. – Вып. 46. – С. 278–286.

14. Авраменко, П. В. Исследование процесса внесения консерванта в силосопровод кормоуборочного комбайна / П. В. Авраменко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; под общ.ред. П. П. Казакевича. – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 2. – С. 27–34.

УДК 631.371:636.4

Поступила в редакцию 02.11.2017

Received 02.11.2017

В. Н. Гутман

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: gutman.v.n@gmail.com

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СВИНОВОДСТВЕ

**(к 70-летию со дня образования РУП «НПЦ НАН Беларуси
по механизации сельского хозяйства»)**

В статье изложены результаты разработки в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» технологического оборудования для механизации основных технологических процессов на свинокомплексах: приготовления и раздачи кормов, создания микроклимата в помещениях, удаления навоза из помещений и его использования, станочного оборудования для содержания различных технологических групп свиней. Все комплекты оборудования прошли приемочные испытания, на них утверждены технические условия. Комплекты широко используются при реконструкции и строительстве свинокомплексов по новым инновационным технологиям.

Ключевые слова: приготовление и раздача кормов, микроклимат, станочное оборудование, удаление навоза, автоматизация.

V. N. Gutman

Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: gutman.v.n@gmail.com

SCIENTIFIC AND TECHNICAL SUPPORT OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN PIG FARMING

(to the 70th anniversary of the founding of RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»)

The article describes the results of the development of technological equipment for mechanization of the main technological processes at pig farms in RUE «SPC NAS of Belarus for agriculture mechanization»: preparation and distribution of feed, creating a microclimate in the pigsty, machine equipment for maintaining various technological groups of pigs, removing manure from the pigsty and its use and automation of the main technological processes. All sets of equipment passed acceptance tests and approved technical conditions. These kits are widely used in the reconstruction and new construction of pig complexes on new innovative technologies.

Keywords: preparation and distribution of feed, microclimate, machine tools, removal of manure, automation.

Введение

Перевод свиноводства на промышленную технологию выращивания свиней в середине 70-х годов прошлого века с массовым строительством свинокомплексов мощностью от 12 до 108 тыс. голов в год потребовал разработки нового поколения инновационного технологического оборудования для приготовления и раздачи кормов, создания микроклимата, станочного оборудования и систем удаления и утилизации навоза.

Основная часть

Анализ тенденций развития отрасли проводился на всех этапах развития технологий содержания и кормления свиней, создания микроклимата и уборки навоза в соответствии со сложившимися в Беларуси экономическими условиями. В 60–70-х годах прошлого века в республике преобладал картофельно-концентратный тип кормления свиней. При этом были большие затраты труда, невысокие привесы и низкий коэффициент конверсии корма на 1 кг прироста живой массы. Эти обобщенные показатели представлены на графиках (рисунок 1, 2, 3.)

Графики позволяют проанализировать уровень технологических параметров выращивания свиней начиная с 1960 г., а также определить направления, по которым должны развиваться технологические параметры и научно-техническое обеспечение отрасли свиноводства в перспективе. Этих показателей к 2020 году (обслуживание поголовья в 1000 свиней одним оператором, получение среднесуточных привесов на откорме 800–1000 граммов при конверсии корма 3 кг на 1 кг прироста) можно добиться, только используя принципы точных технологий в свиноводстве, обеспечивающих заданные параметры инновационных технологий, управляемых информационно-коммуникативными средствами.

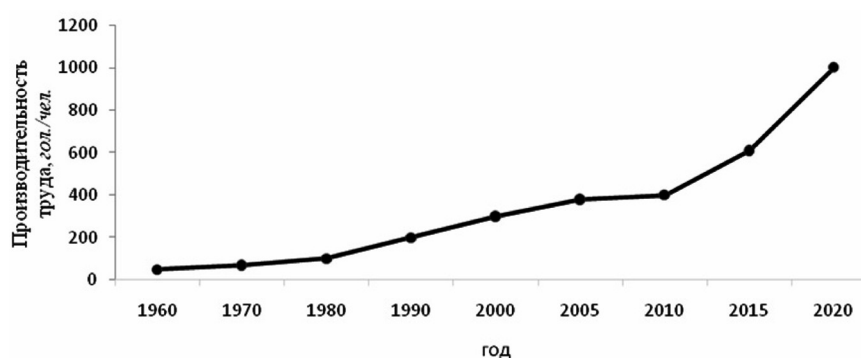


Рисунок 1. – Удельные затраты труда на прирост живой массы

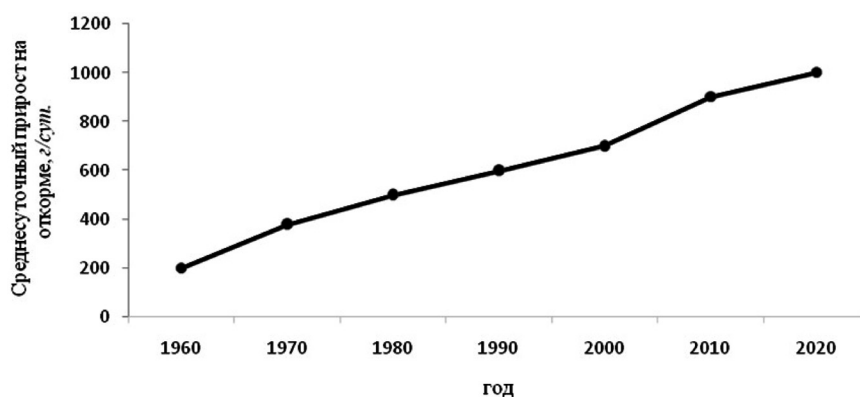


Рисунок 2. – Среднесуточный прирост живой массы свиней на откорме

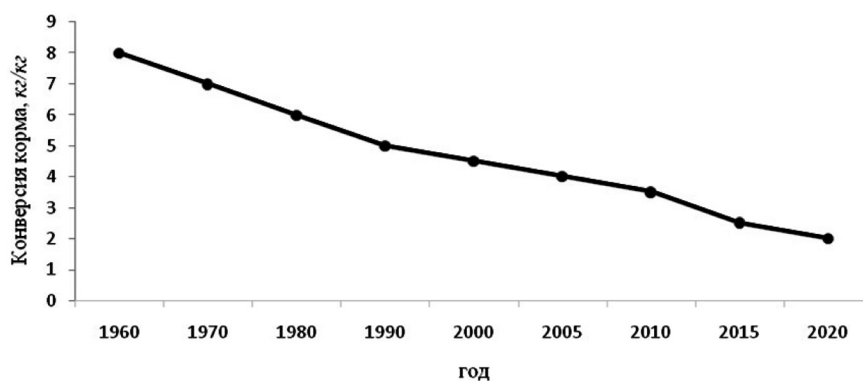


Рисунок 3. – Конверсия корма на прирост 1 кг живой массы



Рисунок 4. – Смеситель кормов однобарабанный СКО-Ф-6

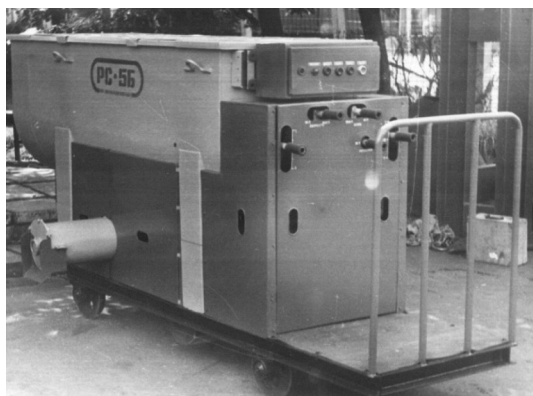


Рисунок 5. – Раздатчик-смеситель кормов модернизированный РС-5Б

В РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» в период с 1986 года созданы смесители кормов однобарабанные СКО-Ф-3, СКО-Ф-6 (рисунок 4) взамен двухбарабанных С-2 и С-12, обладавших большой металлоемкостью и низкой равномерностью смешивания [1, 2].

Использование смесителей СКО-Ф-3, СКО-Ф-6 позволило уменьшить площадь кормоцехов в 1,5 раза и снизить металлоемкость на 30 %.

В этот же период был модернизирован раздатчик-смеситель РС-5Б (рисунок 5) с целью улучшения условий труда операторов и повышения производительности при раздаче кормосмесей [2].

Дефицит концентратов при кормлении свиней в 90-х годах обусловил широкое использование корнеклубнеплодов в рационах. Корнеклубнеплоды обычно были загрязнены остатками почвы и камнями до 30 % по массе. Это потребовало разработки принципиально новой мойки корнеклубнеплодов взамен ИКМ-5 и ИКМ-Ф-10. Мойка барабанная МКЛ-10 (рисунок 6) осуществляла надежный технологический процесс отмыывания корнеклубнеплодов от остатков почвы и удаляла 100 % камней и металлических примесей при малых удельном расходе воды и энергоёмкости процесса [3].

Разработанные отдельные машины необходимо было увязать в поточные технологические линии кормоцехов для приготовления кормосмесей и подачи

их в линии раздачи кормов. В этих кормоцехах использовалась ресурсосберегающая технология измельчения и нагревания до 70 °С картофеля взамен его запаривания, что позволяло экономить до 40 % тепловой энергии. Все компоненты кормосмеси (концентрат, измельченные корнеклубнеплоды, измельченная зеленая масса) дозировались по весовому принципу в автоматическом режиме с помощью дозаторов ДКК-1. Зеленая масса измельчалась модернизированным измельчителем-смесителем ИСК-3 [4]. Приготовленная кормосмесь транспортировалась насосом дифференциального действия ОДК-35 [5] непосредственно в кормушки или раздатчики РС-5Б. Комплект ОКС-12 (рисунок 7) вписан в проект кормоцехов, разработанных проектным институтом БЕЛГИПРОСЕЛЬХОЗПРОЕКТ [6, 7]. Для подачи пара в кормоцех был разработан типораз-

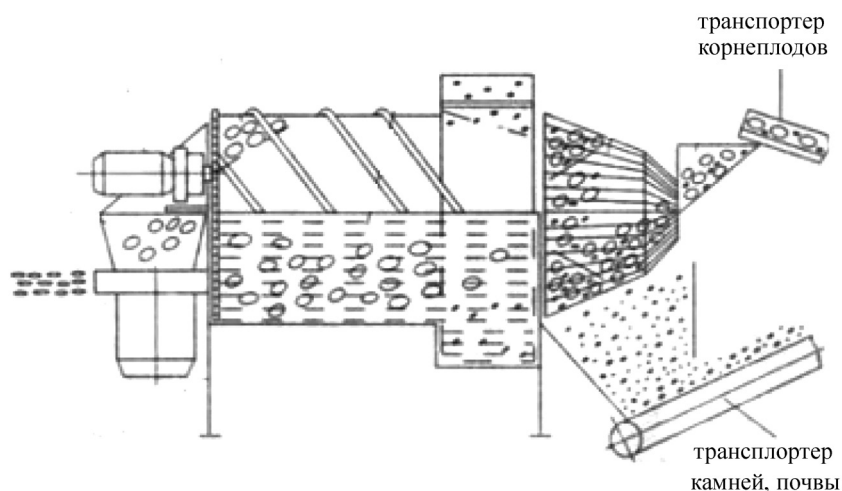


Рисунок 6. – Мойка корнеклубнеплодов МКЛ-10

мерный ряд котлов паровых и водогрейных, которые были выпущены тысячными партиями.

Впервые в СССР был разработан мобильный автоматизированный кормораздатчик с микропроцессорным управлением КМУ-1, позволявший без участия оператора в существующих типовых свинарниках производить выдачу корма по заданной программе различным технологическим группам свиней [8, 9].

Все указанное оборудование позволяло реализовать инновационные технологии в приготовлении и раздаче кормов свиньям с ресурсосберегающим эффектом и с использованием местных кормовых ресурсов.

В период с 2001 по 2017 год проведено обоснование и разработаны комплекты оборудования, которые используются при модернизации действующих и строительстве новых свинокомплексов, обеспечивая принцип точных технологий в свиноводстве.

Создано новое конкурентоспособное автоматизированное оборудование для отрасли свиноводства, в частности станки для опоросов свиноматок СОП-1 (рисунок 8).

Станок позволяет содержать свиноматку с поросятами в комфортных условиях – полы для поросят выполнены из пластиковых решеток, что обеспечивает очистку их логова без затрат ручного труда. Свиноматка находится на чугунной решетке, что не дает ей перегреваться и снижать молочность. Специальная конструкция станка предотвращает задавливание поросят, когда свиноматка ложится на пол. Станок в целом установлен над ванной для безводного удаления навоза. Таких станков выпущено более 10000 для реконструкции и нового строительства свинокомплексов [10, 11].

Развитие строительства комбикормовых цехов в составе свинокомплексов позволило перейти к концентратному типу кормления свиней. Перед инженерной наукой встала задача разработать оборудование, которое позволяло бы дозированно раздавать сухие комбикорма различным технологическим группам свиней при сложных трассах транспортирования корма. При этом были разработаны герметичные оцинкованные бункеры для хранения и выдачи корма. Для дозированной выдачи корма при индивидуальном содержании свиней разработана конструкция дозатора с возможностью регулирования заданной дозы. Оборудование для раздачи сухих кормов ОРСК (рисунок 9) прошло приемочные испытания и поставлено на производство [12].

При кормлении откормочных свиней часто используются различные местные кормовые ресурсы (сыворожка, барда, пивная дробина, влажное плющенное зерно кукурузы и др.). Для приготовления и дозированной раздачи влажных кормосмесей был разработан комплект оборудования для жидкого кормления КОЖК [13, 14, 15]. Он позволяет по заданной программе составить рацион кормления в требуемом весовом соотношении с помощью системы тензометрического измерения. Входящий в комплект оборудования смеситель позволяет приготовить кормосмесь, а кормовой насос – подать кормосмесь в свинарники на расстояние до 300 метров. Система компьютерного управления КОЖК (рисунок 10) позволяет через электропневмоклапаны дозированно подать в групповые кормушки требуемое количество кормосмеси и через интернет вести удаленный контроль за работой комплекта.

Для создания микроклимата в свиноводческих помещениях создан комплект устройств вентиляции КОВ [16]. В этот же период разработано инновационное оборудование нового поколе-

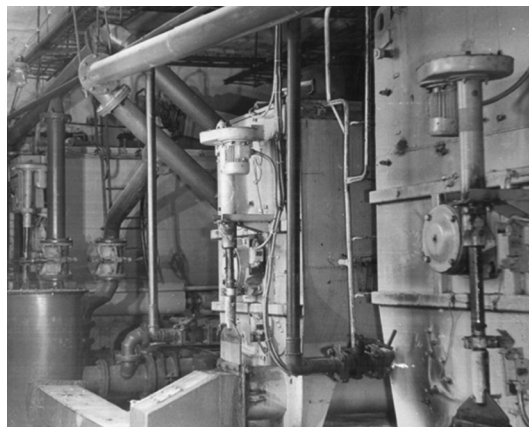


Рисунок 7. – Оборудование кормоцеха ОКС-12



Рисунок 8. – Станок для опоросов свиноматок СОП-1

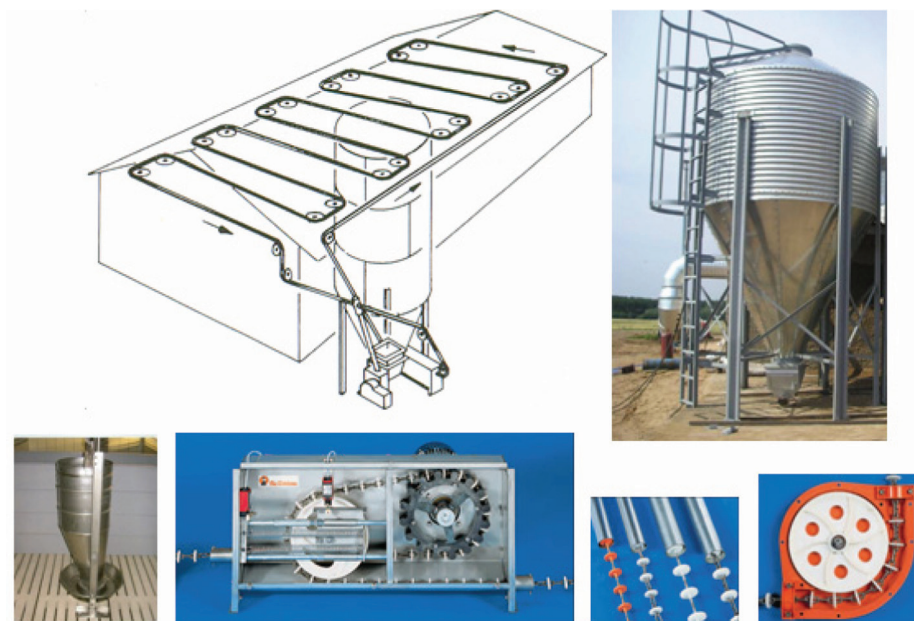


Рисунок 9. – Оборудование для раздачи сухих кормов ОРСК



Рисунок 10. – Комплект оборудования для жидкого кормления КОЖК с системой компьютерного управления технологическим процессом с возможностью удаленного доступа

ния для кормления и содержания свиней: комплект станочного оборудования для содержания хряков, поросят-отъемышей, свиней на откорме КОС; комплект многократного автоматизированного кормления свиней КОМК; комплект оборудования для приготовления сухих кормосмесей КОПК; комплект оборудования для приготовления кормовой добавки КОДК; станция автоматизированная индивидуального кормления свиноматок САИК.

Станция автоматизированная для индивидуального кормления свиноматок САИК (рисунок 11) разработана в качестве основного технического средства для репродукторного сектора свинокомплексов. В автоматическом режиме она по чипам, закрепленным в ушах свиноматок, выдает запрограммированную зоотехником суточную дозу корма мелкими порциями. Кроме

того, станция позволяет определить физиологическое состояние свиноматки. Обеспечивает индивидуальное кормление свиноматок при их групповом содержании в количестве до 60 голов.

Исследования процессов приготовления кормовой добавки на основе консервированного влажного зерна кукурузы позволили проанализировать и выбрать приемлемые варианты приготовления, сформировать технологический регламент с рецептами использования кормовой добавки из влажного плющеного зерна кукурузы в рационе кормления свиней.

Создан отечественный комплект оборудования КОДК нового поколения, обеспечивающий полную механизацию и автоматизацию процесса приготовления кормовой добавки на основе консервированного влажного зерна кукурузы (рисунок 12). Ключевым процессом в приготовлении кормовой добавки является диспергирование влажного зерна кукурузы.

С учетом особенностей пищеварения свиней влажное плющенное консервированное зерно в большей степени отвечает их физиологическим потребностям, чем измельченное. Оно не распыляется, не затрудняет дыхания свиней, прекрасно поедается и переваривается. В настоящее время технология заготовки влажного кормового зерна кукурузы плющением – одна из самых экономичных и продуктивных. Благодаря принципиально новому процессу заготовки и приготовления кормовой добавки – за счет исключения сушки кукурузы, затраты на получение кормовой добавки снижаются на 30–40 %, а продуктивность свиней увеличивается на 7–10 %.



Рисунок 11. – Станция автоматизированная для индивидуального кормления свиноматок САИК



Рисунок 12. – Комплект оборудования для приготовления кормовой добавки на основе консервированного влажного зерна кукурузы КОДК

Разработка комплекта оборудования для приготовления кормовой добавки на основе консервированного влажного зерна кукурузы КОДК позволяет повысить продуктивность животных на 7–10 % и снизить удельные расходы на корма на 10–15 %.

При откорме свиней от 40 до 110 кг фактически ежесуточный прирост живой массы откармливаемого молодняка свиней составил более 750 г, расход кормов на получение 1 кг прироста – 3,8 к. ед. [17].

Все оборудование было разработано на основании научных исследований технологических процессов интенсивного свиноводства, с учетом необходимых свойств материалов, а также условий работы механизмов и программного обеспечения на свиноводческих предприятиях. Представленное оборудование позволило реконструированным свиноводческим предприятиям снизить негативное воздействие производственной деятельности свинокомплексов на окружающую среду за счет:

- применения практически безводного удаления навоза из станков и ванн;
- разработки систем микроклимата, предусматривающих использование элементов очистки выбрасываемого в атмосферу загрязненного воздуха;
- герметизации систем раздачи сухих комбикормов от бункеров до кормушек;
- разработки автоматизированных систем кормления жидкими кормами с использованием кривых роста свиней, исключающих перерасход корма, его попадание в навоз, а в дальнейшем – в окружающую среду;
- разработки и применения типоразмерного ряда эмалированных навозохранилищ, исключающих утечку стоков в почву.

Комплектное станочное отечественное оборудование для содержания всех технологических групп свиней поставлено на инновационные объекты НАН Беларуси в РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству» – в племрепродуктор «Нуклеус» на 500 свиноматок с выходом 12 тыс. племенных поросят в год и в репродуктор первого порядка на 1000 свиноматок с выходом 24 тыс. племенных поросят в год с импортозамещающим эффектом более 2 млн евро.

Станочное оборудование экспортировалось в РФ на сумму более 60 тыс. долларов.

В 2012 г. впервые в Республике Беларусь был оснащен под ключ свинокомплекс на 24 тыс. голов свиней в год наукоемким комплектным импортозамещающим оборудованием нового поколения для приготовления и раздачи жидких кормов и оборудованием для раздачи сухих кормов. Общий объем импортозамещения оборудованием, разработанным РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» и поставленным на свинокомплексы республики, составил более 10 млн евро [18,19].

Заключение

1. Разработанное технологическое оборудование позволяет обеспечить выполнение инновационных технологий приготовления влажных кормосмесей с использованием влажного консервированного зерна кукурузы и автоматизированную его раздачу на свинокомплексах мощностью от 12 до 108 тыс. голов в год.

2. Технологическое станочное оборудование позволяет комфортно содержать все технологические группы свиней в соответствии с требованиями наилучших доступных технологий (НДТ).

3. Комплекты вентиляционного оборудования позволяют создать требуемый микроклимат для каждой группы свиней в помещениях свинокомплекса.

4. Комплекты оборудования позволяют снизить негативное воздействие свинокомплексов на окружающую среду.

Литература

1. Гутман, В. Н. Результаты испытаний одновальных смесителей для кормоцехов свиноферм / В. Н. Гутман, А. В. Мацукевич // Механизация и автоматизация с.-х. производства. – Минск: Ураджай, 1989. – Вып. 2. – С. 40–44.
2. Голушко, В. М. Приготовление кормов для свиней / В. М. Голушко, В. Б. Иоффе, В. Н. Гутман. – Минск: Ураджай, 1990. – 216 с.
3. Нагорский, И. С. Моделирование технологических процессов кормоприготовления / И. С. Нагорский, В. Н. Гутман, Ф. Ф. Минько // Сб. науч. тр. ВНИИМЖ. – Подольск, 1997. – Т. 6, ч. 2. – С. 50–61.

4. Измельчитель зеленых стебельчатых кормов: а. с. 1630664 SU, МПК A01F 29/00 (2000.01) / А. В. Китун, В. И. Передня, В. Н. Гутман, А. С. Климович, В. В. Пушваскис, П. М. Григоравичус; ЦНИИМЭСХ Нечерноземной зоны СССР. – № 4388706; заявл. 09.03.1988.; опубл. 28.02.1993 // Открытия. Изобрет. – 1991. – № 8. – 4 с.
5. Насос: а. с. 1687852 SU, МПК F04B 15/02 (2000.01) / В. Н. Гутман, А. В. Дервиш, И. П. Логвинович, П. П. Кузьменко, П. В. Шилов, Г. П. Цыганок; ЦНИИМЭСХ Нечерноземной зоны СССР. – № 4726880; заявл. 07.08.1989; опубл. 30.10.1991 // Открытия. Изобрет. – 1991. – № 26. – 6 с.
6. Технологическая линия приготовления кормосмесей: а.с. 1666046 SU, МПК A23N 17/00 (2000.01) / И. С. Нагорский, В. Н. Гутман, И. П. Логвинович, П. П. Кузьменко, П. В. Шилов, Л. Я. Степук, Д. И. Ткаченко, В. М. Федоров, А. В. Дервиш; ЦНИИМЭСХ Нечерноземной зоны СССР, ПО «Уманьферммаш». – № 4719507; заявл. 18.07.1989, опубл. 30.07.1991 // Открытия. Изобрет. – 1991. – № 40. – 8 с.
7. Нагорский, И. С. Модель производительности питателя кормов / И. С. Нагорский, В. Н. Гутман, М. Ю. Жуковский // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / БелНИИМСХ. – Минск, 1996. – Вып. 35. – С. 404–411.
8. Нагорский, И. С. Проблемы создания для свиноводства техники с микропроцессорным управлением / И. С. Нагорский, В. Н. Гутман // Автоматизация сельскохозяйственного производства: тр. МНТК / ВИЭСХ. – М., 1997. – Т. 2. – С. 15–16.
9. Гутман, В. Н. Кормораздатчик с микропроцессорным управлением / В. Н. Гутман, Г. Г. Валюшкевич, В. А. Писарчик // Хозяин. – Минск, 1997. – № 3. – С. 162.
10. Перспективные решения развития экспериментальной базы для технологии воспроизводства элитных свиней / Н. А. Попков [и др.] // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международ. науч.-практ. конф. – Минск, 2007. – С. 116–121.
11. Станок для опоросов свиноматок: пат. 6600РБ / В. Г. Самосюк, В. Н. Гутман, С. А. Цалко, М. В. Навныко, В. Н. Тимошенко, А. С. Близнюк, С. В. Швед; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № u 20100019; заявл. 01.11.2010; опубл. 10.30.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 5 (76). – С. 159.
12. Разработка оборудования для раздачи сухих комбикормов свиньям / В. Н. Гутман [и др.]. – Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 2. – С. 122–129.
13. Гутман, В. Н. Применение теории подобия при расчете типоразмерного ряда смесителей для приготовления влажных кормов / В. Н. Гутман, М. В. Навныко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси». – Минск, 2006. – Вып. 40. – С. 295–301.
14. Смеситель влажных кормов: пат. 4284 РБ / В. Г. Самосюк, В. Н. Дашков, А. М. Ком, В. Н. Гутман, И. П. Логвинович, С. А. Цалко, М. В. Навныко; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 2 (61).
15. Гируцкий, И. И. Эффективность точных технологий при откорме свиней / И. И. Гируцкий, В. Н. Гутман // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международ. науч.-практ. конф. – Минск, 2009. – Т. 3. – С. 9–12.
16. Гутман, В. Н. Результаты разработки комплекта вентиляционных устройств для обеспечения микроклимата в свиноводческих помещениях / В. Н. Гутман, С. П. Рапович, А. А. Зубарик // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международ. науч.-техн. конф.: в 3 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2014. – Т. 2. – С. 11–19.
17. Результаты разработки комплекта оборудования для приготовления кормовой добавки на основе консервированного влажного зерна кукурузы / В. Н. Гутман [и др.]. – Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2014. – Т. 3 – С. 53–64.
18. Yakovchik, S. Precise technology in pig nusbandry – intensifying and environmentally friendly business sector / S. Yakovchik, V. Gutman, M. Navniko // Сб. науч. тр. МНК XXXVI CIOSTA CIGR V Conference / ГАУ. – СПб, 2015. – С. 311–313.
19. Перспективный инновационный наукоемкий комплекс оборудования для оснащения свиногокомплексов / С. Г. Яковчик [и др.] // Вестник ВНИИМЖ. Ежеквартальный научный журнал. – 2017. – № 1 (25). – С. 101–103.

А. В. Ленский, А. А. Жешко

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: alex_lensky@mail.ru;
azeshko@gmail.com*

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА ПО ПОЛЕВОМУ УЧАСТКУ ПРОИЗВОЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Технологический прогресс в сельском хозяйстве определяется не только повышением эффективности использования материальных ресурсов и ростом производственных показателей, но также сопровождается необходимостью соблюдения экологических требований и внедрения в практику современных методов планирования и управления. В этой связи имеется объективная необходимость применения инновационных решений, в том числе основанных на технологиях точного земледелия, которые обеспечат оптимизацию использования ограниченных ресурсов и позволят минимизировать воздействие на окружающую среду. В частности, наиболее перспективным направлением в области механизации является применение автономных полевых роботов, что потребует разработки специализированных программных комплексов для оптимизации движения техники.

В предлагаемой статье выполнен аналитический обзор применяемых математических методов расчета оптимальной траектории движения машинно-тракторного агрегата по полевому участку, начиная от моделей перебора возможных вариантов до применения нейронных сетей и алгоритмов «муравьиной» оптимизации.

Результаты исследований направлены на формирование информационной и методической базы, что позволит разработать оригинальный алгоритм расчета оптимальной траектории и нормирования производительности МТА для заданных условий эксплуатации техники.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, траектория движения, оптимизация маршрута, алгоритмы планирования, электронные карты полей.

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*

ANALYSIS OF METHODS OF CALCULATION OF OPTIMUM ROUTES OF MOTION OF THE MACHINE AND TRACTOR UNIT FOR THE FIELD SITE OF ANY CONFIGURATION

In the present article, an analytical review of the applied math-based methods for calculating the optimal trajectory of the machine-tractor aggregate along the field site is performed, starting from the models for the search of possible variants to the application of neural networks and algorithms of «ants» optimization.

The results of the research are aimed at the formation of the information and methodological base, which will allow to develop an original algorithm for calculating the optimal trajectory and normalizing the performance of the MTA for the given operating conditions of the equipment.

Keywords: machine-tractor unit, trajectory, route optimization, scheduling algorithms, electronic field maps.

Введение

Современные возможности автоматизации выполнения технологических расчетов и планирования производственной деятельности позволяют обеспечить сельскохозяйственных производителей необходимыми прикладными программными продуктами для принятия оперативных управленческих решений и более интенсивного использования на практике технологий точного

земледелия. Одним из приоритетных направлений является обоснование оптимальной траектории движения машинно-тракторного агрегата по рабочему участку произвольной конфигурации при выполнении сельскохозяйственных операций. Применительно к выполнению сельскохозяйственных технологических операций такая задача является частным случаем общей задачи планирования пути. Границы поля, как правило, являются фиксированными, представляя собой предварительно определенную среду, заданную координатами вершин на основании электронных карт. В результате реализации различных вычислительных алгоритмов возможно получение плана обработки поля, который может быть исполнен при помощи навигационной системы мобильного средства. Современные подходы к решению таких задач требуют минимального участия человека и могут быть реализованы для любого поля, независимо от сложности его формы.

Большинство алгоритмов содержит ряд последовательных этапов, включающих выбор контура поля, разделение поля на простые участки, генерацию поворотных полос для каждого участка, генерацию рабочих и холостых ходов (поворотов), формирование окончательной траектории движения и расчет производительности машинного агрегата. Зарубежный производственный опыт доказывает, что корректный выбор направления движения может обеспечить прирост производительности до 20 %, в зависимости от типа выполняемых работ и контура поля.

Основная часть

Технологический прогресс в сочетании с необходимостью повышения эффективности применения ресурсов в сельском хозяйстве и экологическими соображениями требует от сельскохозяйственных производителей пересмотреть свою практику и принимать новые управленческие решения, включая внедрение автоматизированных систем [1]. Применение полевых роботов является одним из перспективных направлений технологий автоматизации.

Использование полевых роботов предполагает минимальное вмешательство человека, а также является эффективной и безопасной технологией. Поскольку основная задача самоходного сельскохозяйственного средства заключается в полной обработке всей площади, необходимым условием является способность устройства выполнять технологический процесс в поле автономно. При этом автоматизированная машина нуждается в специализированных алгоритмах планирования рабочего пути для выполнения операции, где входными детерминированными данными будут границы поля и препятствия на нем.

Движение по полю при планировании выполнения технологических операций является частным случаем общей задачи планирования пути, для которой может быть применено как on-line планирование на основе датчиков, так и осуществленное в автономном режиме [2, 3]. Что касается off-line планирования для обработки площади поля, могут быть представлены подходы, изложенные в следующих работах [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

Первым шагом для off-line планирования является решение задачи геометрического определения поля в качестве операционной среды. Возможны такие варианты, как представление поля в виде единой области или совокупности рабочих участков. В дальнейшем производится генерация траектории движения в соответствии с выбранным критерием оптимальности. Так, в работах [5, 6] представлены алгоритмические модели, которые обеспечивают оптимальную последовательность рабочих ходов в соответствии с критерием минимизации холостых проходов сельскохозяйственного агрегата. В работе [7] предложен генетический алгоритм, основанный на одновременном выборе направления движения и последовательности ходов, который сводит к минимуму время обработки и полученные области перекрытий. В работе [12] был предложен подход для формирования пути по критерию минимизации одного или нескольких параметров, таких как длина пути, потребление энергии или время обработки, когда агрегат системно убирает все области свободного пространства.

В случае выполнения полевых операций на холмистой местности характеристики рельефа (например, высоты) оказывают существенное влияние на оптимизацию планирования рабочего пути. Способ планирования маршрута для сельскохозяйственных транспортных средств (с учетом времени загрузки) с целью снижения риска уплотнения почвы был представлен в работе [8]. В работе [9] предложено 3D-представление поля в сочетании с инструментом моделирования

полевых операций при наличии ограничений ресурсов. Разработанный инструмент может более точно представлять поле в 3D-среде с использованием цифровой модели рельефа площади поля и, следовательно, может быть использован для более реалистичной оптимизации различных полевых операций и для более точной навигации роботов.

Значительно усложняет задачу планирования наличие препятствий на обрабатываемом поле. В [10] разработан подход, основанный на теории графов для выработки эффективных траекторий для объезда препятствия. Препятствия шириной менее чем четыре ширины захвата агрегата должны объезжаться при каждом проходе. Более крупные препятствия должны иметь поворотные полосы с каждой стороны, которые обрабатываются отдельно. Этот подход хорошо работает для простых форм препятствий, однако он требует вмешательства человека для принятия решений в сложных случаях.

Рассмотрим более подробно некоторые из наиболее применяемых методов планирования движения машинно-тракторного агрегата.

Модель № 1. Система on-line планирования на основе сопоставления оптимизированного маршрута движения и текущего расположения агрегата

Наиболее интересным программным комплексом для оптимизации движения техники, реализованным для практического применения, является разработка компании Claas (Германия) совместно с Европейским агентством спутниковой связи (Чехия), удостоенная серебряной медали на Международной выставке Agritechnica-2015.

Система оптимизации движения трактора во время работы на поле включает также функции точного расчета маршрута и прогноза затрачиваемого времени. Выбор оптимального направления движения трактора при обработке почвы часто вызывает определенные трудности на больших полях неправильной формы. Предлагаемое программное обеспечение компании Claas создает схему расположения поля и прокладывает наиболее эффективный курс, указывая приблизительное количество времени, которое будет затрачено на преодоление этого пути. Оно сравнивает текущую ситуацию со спланированной и при необходимости предлагает действия по ее улучшению, что может сократить время, затрачиваемое на обработку поля, в среднем на 6 % [14].

Модель № 2. Оптимизация маршрута движения по участкам простой конфигурации на основе минимизации переездов между участками

Классический подход, предложенный в Aalborg University (Дания) и который можно принять за основу для проведения дальнейших исследований, включает в себя три этапа. На первом этапе многоугольник поля заполняется ходами, параллельными заданному пользователем углу (т. е. углу движения). Угол движения также может быть оптимизирован таким образом, чтобы сократить, например, время работы, уменьшить уплотнение почвы или выбросов CO_2 в результате эксплуатации агрегата и т. д. [7, 8, 9]. На втором этапе сгенерированные ходы располагаются и группируются в участки (так называемые блоки) с учетом препятствий на поле. На третьем этапе генерируются ходы на поворотных полосах верхней и нижней сторон каждого блока.

В качестве примера: синяя линия поля представляет собой внешнюю границу, в то время как красная линия представляет собой границу препятствий (рисунок 1а). Генерируемые полевые ходы для двух выбранных углов движения показаны на рисунке 1б.

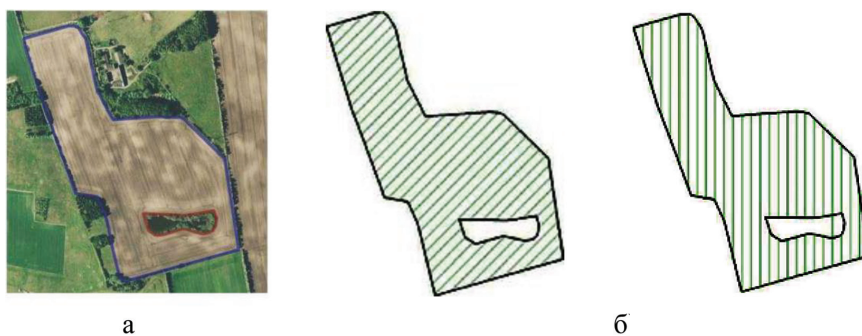


Рисунок 1. – Внешняя граница поля (синий многоугольник) и граница препятствий на поле (красный многоугольник) (а) и примеры генерируемых полевых ходов для двух выбранных углов движения 45° и 90° (б)

Следующий этап включает в себя кластеризацию генерируемых проходов в блоки. Следует отметить, что количество сгенерированных блоков зависит от выбранного угла движения и соответствует направлению движения. Например, на рисунке 2 представлено виртуальное поле с двумя препятствиями и разным количеством полученных блоков для двух различных направлений движения.

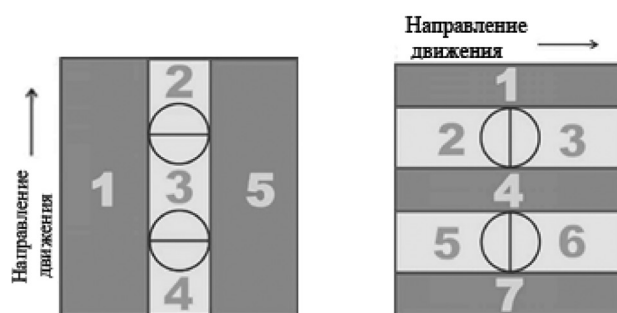


Рисунок 2. – Влияние направления движения на количество полевых участков для поля с двумя препятствиями

На заключительном этапе осуществляется построение полигонов поворотных полос. В полевой операции поворотные полосы создаются путем последовательных проходов, которые должна выполнять сельскохозяйственная машина по периферии площади поля и вокруг каждого препятствия.

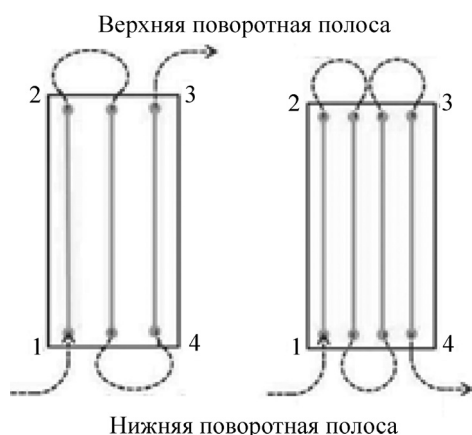


Рисунок 3. – Расположение входных точек в блоке с нечетным числом проходов и в блоке с четным числом проходов

Чтобы полевой робот выполнял сельскохозяйственную операцию, не пересекая препятствия на поле, он должен последовательно обрабатывать каждый блок один раз, поэтому требуется найти оптимальный порядок обработки сгенерированных блоков. Эта проблема может быть сформулирована в качестве задачи оптимизации, где изменяемой переменной является порядок блоков, а целевой функцией, которую необходимо минимизировать – общее расстояние проездов между блоками.

Обозначим через $V = \{1, 2, 3, \dots\}$ множество сгенерированных блоков, а x_{ij} , ($i, j \in V$ и $i \neq j$) – изменяемые переменные задачи, где $x_{ij} = 1$, если агрегат после блока i переходит в блок j , и $x_{ij} = 0$, если наоборот. Целевой функцией задачи является $\sum \sum x_{ij} * c_{ij}$, которая должна быть сведена к минимуму, где c_{ij} – цена перехода блока i в блок j . Цена c_{ij} не имеет однозначно заданного значения,

но она зависит от точки выхода из блока i и точки входа в блок j , и, таким образом, проблема не может рассматриваться как проблема чистого присваивания. Четыре точки соединения, или аргументы, могут быть определены для каждого блока, как показано на рисунке 3.

Пример расчета последовательности обработки полевого участка с одной зоной препятствий, где полевые проходы сгруппированы в четыре блока, приведен на рисунке 4а.

Всего имеется два оптимальных решения. Последовательность обработки блоков и соответствующие точки входа и выхода приведены на рисунке 4б. Следует отметить, что оба решения идентичны, но одно является обратным по отношению к другому.

Модель № 3. Метод планирования маршрута движения сельскохозяйственных агрегатов по рабочему участку с использованием «муравьиной оптимизации»

Основная цель метода заключается в планировании маршрута движения сельскохозяйственных агрегатов по рабочим участкам с учетом многочисленных препятствий. Традиционно фермеры осуществляют технологические операции на основе своего собственного опыта, накопленного в течение

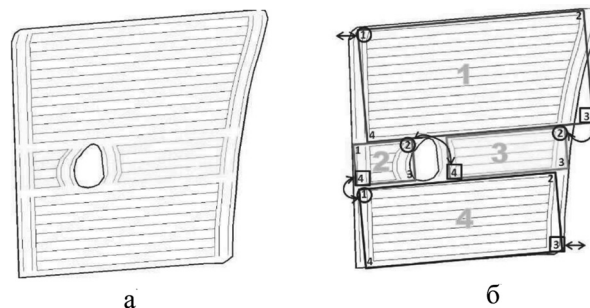


Рисунок 4. – Тестовое поле со сгенерированными рабочими ходами с учетом препятствия (а) и схема двух эквивалентных оптимальных решений его обработки: круги и квадраты могут быть точками входа или выхода и наоборот (б)

прошлых сезонов. Тем не менее нет никаких подтверждений, свидетельствующих о том, что выполнение сельскохозяйственных операций на основе производственного опыта является оптимальным или рациональным. Кроме того, существуют определенные условия, например участки неправильной конфигурации или препятствия, которые в совокупности приводят к низкой эффективности планирования обработки полей и трудностям при выборе рациональных направлений движения.

Целью данного метода является планирование маршрута движения сельскохозяйственных агрегатов, работающих на полях с несколькими препятствиями, по критерию минимального расстояния переездов между рабочими участками.

Метод включает в себя два этапа. На первом этапе поле с препятствиями, границами, поворотными полосами и рабочими ходами отображается на карте, а затем сформированные рабочие ходы разделяются на блоки с учетом полевых препятствий.

Границы блоков формируются на основании анализа препятствий по специальному алгоритму. Например, какое-то физическое препятствие ввиду малых размеров не рассматривается как таковое (рисунок 5а, препятствие 5). Некоторые препятствия могут размещаться близко к границам поля, так что деления на блоки не потребуется (рисунок 5а, препятствие 1). Наконец, существуют препятствия, находящиеся близко друг к другу, так что они должны рассматриваться как единое препятствие (рисунок 5а, препятствия 2 и 3).

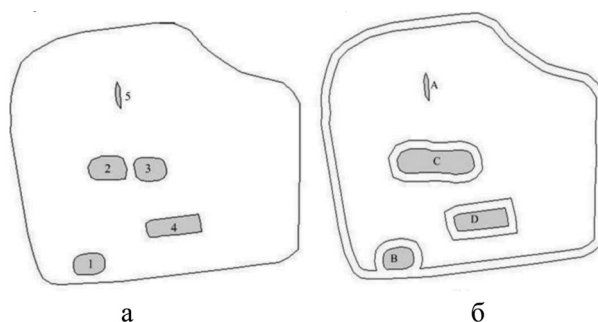


Рисунок 5. – Различные типы препятствий на поле (а) и вариант их выделения (б)

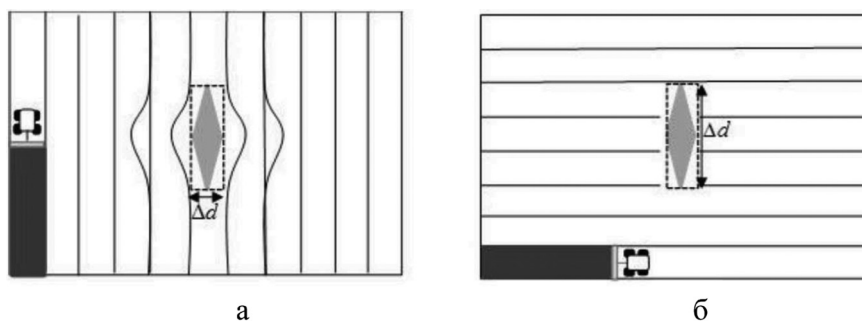
В этой связи можно выделить 4 типа препятствий:

Тип А. Препятствие слишком мало и не влияет на вождение агрегата по полю. На рисунке 6 показаны способы объезда для препятствия типа А.

Тип В. Этот тип включает препятствия, расположенные вблизи границ. Они включены во внутренние границы.

Тип С. С минимальной дистанцией между препятствиями.

Тип D. Все иные препятствия рассматриваются как класс D.



Δd – ширина препятствия, м

Рисунок 6. – Одно и то же препятствие может рассматриваться как класс А (а) или D (б), в зависимости от направления движения

На втором этапе, используя геометрическое представление, определяется оптимальный маршрут, связывающий блоки рабочих участков, что эквивалентно задаче поиска кратчайшего маршрута, которая может быть решена с помощью поисковых алгоритмов теории графов. В частности, может быть применен алгоритм «муравьиной» оптимизации, который представляет собой математическую модель поведения муравьев для нахождения кратчайшего пути между муравейником и источником пищи. Суть этой модели заключается в том, что каждый муравей оставляет определенный запах во время прохождения пути. С течением времени этот запах начинает исчезать, снижая интенсивность своего действия. Когда короткий маршрут проходит много муравьев, интенсивность запаха на таких участках гораздо выше, чем на более длинных отрезках пути. Применительно к данной задаче высокая интенсивность запаха соответствует минимальной стоимости переезда от одного блока к другому или самому короткому пути.

Пример расчета полевого участка площадью 47,5 га для машинно-тракторного агрегата шириной захвата 12 м приведен на рисунке 7. В результате было сформировано 102 рабочих хода и выделено 10 блоков.

Расчетное расстояние переездов между блоками составило 650,3 м, а оптимальная последовательность обработки блоков может быть представлена в следующем виде:

$$V_{\text{opt}} = \{ n_{92} \leftrightarrow n_{93} \leftrightarrow n_{102} \leftrightarrow n_{103} \leftrightarrow n_{84} \leftrightarrow n_{81} \leftrightarrow n_{74} \leftrightarrow n_{71} \leftrightarrow n_{54} \leftrightarrow n_{52} \leftrightarrow n_{64} \leftrightarrow n_{62} \leftrightarrow n_{43} \leftrightarrow n_{41} \leftrightarrow n_{24} \leftrightarrow n_{22} \leftrightarrow n_{31} \leftrightarrow n_{33} \leftrightarrow n_{13} \leftrightarrow n_{12} \},$$

где n – узловая точка.

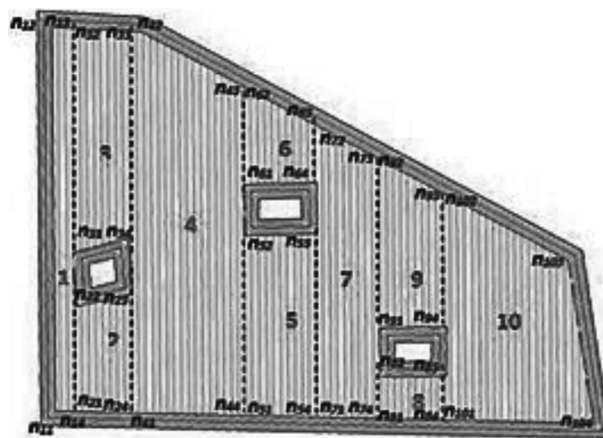
Относительно низкие требования данного метода к вычислительным мощностям делают его практичным для планирования маршрутов роботов, которые могут автономно работать в полевых условиях.

Модель № 4. Планирование полевых операций с использованием LEGO Mindstorms NXT

Изучение сельскохозяйственных операций и практики управления связано с различным набором машин, поэтому существующие подходы к планированию являются дорогостоящими и отнимают много времени. В этой связи компьютерное моделирование таких систем возможно проводить с использованием платформы LEGO Mindstorms NXT, которая представляет основные средства для планирования маршрутов движения, взаимодействия технологических комплексов машин и их координации в пределах лаборатории.

LEGO Mindstorms является универсальным инструментом, который используется в научных дисциплинах, связанных с робототехникой, например с эксплуатацией роботов. Он также является системой, которая может добавлять и удалять функциональные возможности, а также изменять конфигурацию своей архитектуры. Это позволяет ему адаптироваться к различным требованиям и различным приложениям, что дает LEGO Mindstorms преимущество по сравнению с другими платформами.

Планирование маршрута для уменьшенной модели трактора может быть реализовано с помощью программного обеспечения Matlab. Входные параметры включают границы рабочих участков, которые могут быть выбраны на цифровой карте, а также определенное количество эксплуатационных параметров (рисунок 8). Опираясь на исходные данные, определяется геометрическая интерпретация поля (координаты точек), а также выполняется построение параллельных рабочих ходов по полю и периферийных ходов вдоль границ (поворотные полосы) по специально разработанному алгоритму.



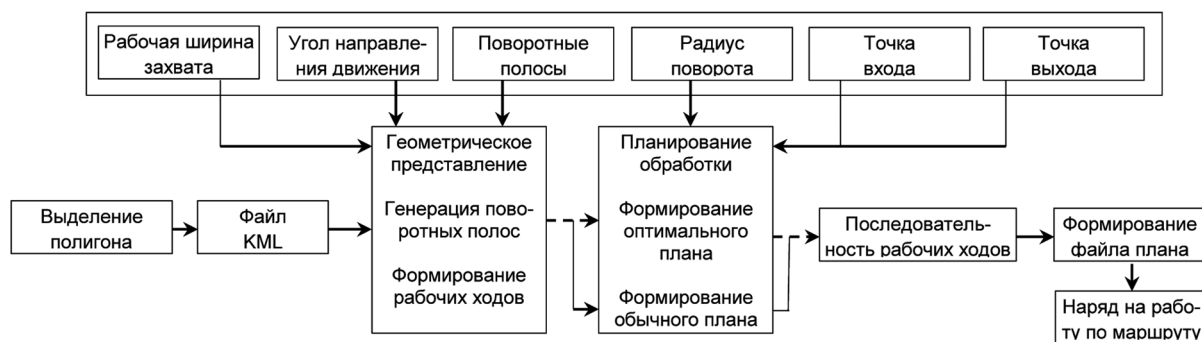


Рисунок 8. – Алгоритм планирования маршрута

Заключительной операцией формирования рабочего маршрута является формирование последовательности рабочих ходов и траекторий разворотов. При этом рабочий ход определяется точкой въезда, расстоянием между точками въезда и выезда, скоростью передвижения и текущими координатами. Сегмент разворота определяется координатами начала и окончания разворота, направлением разворота и скоростью движения. Демонстрация возможностей моделирования для реального поля приведена на рисунке 9.



Рисунок 9. – Поле для испытаний (а) и теоретический маршрут (черный), фактический маршрут (красный) (б)



Рисунок 10. – Алгоритм построения траектории движения машинного агрегата

Можно отметить, что платформа LEGO представляет основные инструменты для разработки и полномасштабных испытаний техники при выполнении полевых операций, включая разработку оптимальных планов маршрута, взаимодействие агрегатов и технологических комплексов в условиях лабораторий с последующим масштабированием для реальных условий.

Таким образом, для проведения дальнейших исследований и разработки практической модели планирования траектории движения машинно-тракторного агрегата по полювому участку произвольной конфигурации нами принят алгоритм, приведенный на рисунке 10.

В предлагаемом алгоритме формирование траектории движения может быть выполнено на основе предпочтений пользователя или путем оптимизационных расчетов, причем оба эти варианта не исключают, а дополняют друг друга.

Заключение

Исследования, связанные с определением оптимальных маршрутов движения машинных агрегатов, направлены на повышение производительности и экономической эффективности использования техники. Анализ предлагаемых методов и моделей решения таких задач позволил сделать следующие выводы:

1. В настоящее время основным способом нормирования выработки машинно-тракторных агрегатов являются хронометражные наблюдения, что связано с высокой трудоемкостью процесса, необходимостью качественного контроля и учета рабочего времени, а также с ограниченной областью применения полученных результатов. Применяемые вычислительные алгоритмы в целом позволяют выполнять укрупненные расчеты в соответствии с исходными требованиями, однако они достаточно трудоемки для полноценного практического применения, имеют малый охват модельного ряда техники, используют в процедуре расчета некоторые субъективные значения показателей.

2. Рассматривая зарубежный опыт эксплуатации машинно-тракторного парка, можно отметить следующие основные тенденции:

- применение систем контролируемого движения техники по полевым участкам *Controlled Traffic Farming*, которые являются сельскохозяйственными системами, направленными на повышение экономической эффективности производства, снижения загрязнения и разрушения почвы с использованием информационных технологий;

- разработку и тестирование автономных машинных агрегатов, оснащенных системами обнаружения препятствий, радары, камерами и другими устройствами, которые могут быть запрограммированы с помощью удаленного доступа и дают возможность осуществлять посевные работы, посадку растений и подготовку почвы;

- разработку программных комплексов для оптимизации движения техники.

Перечисленные направления предполагают не только минимизацию ручного труда при выполнении трудоемких полевых операций (на начальном этапе), но и практически полное его исключение (на конечном этапе – при использовании автономных энергетических средств).

3. Использование полевых роботов предполагает минимальное вмешательство человека, а также является эффективной и безопасной технологией. Поскольку основная задача самоходного сельскохозяйственного средства – полная обработка всей площади, необходимым условием является способность устройства выполнять технологический процесс в поле автономно. При этом автоматизированная машина нуждается в специализированных алгоритмах планирования рабочего пути для выполнения операции, которые могут функционировать как в режиме реального времени на основе датчиков, так и в автономном режиме (предварительное планирование).

4. Большинство исследований направлено на оптимизацию маршрутов движения путем минимизации переездов между полевыми участками. При этом могут применяться различные математические методы и алгоритмы: от перебора всех возможных вариантов до применения нейронных сетей. Общая схема выполнения расчета состоит из выделения поля и препятствий на нем (входные детерминированные данные), построения поворотных полос, формирования массива рабочих ходов и траекторий поворотов (в некоторых моделях), определения последовательности обработки участков на основе минимизации / максимизации целевой функции.

Литература

1. Sørensen, C. G. Conceptual Model of Fleet Management in Agriculture / C. G. Sørensen, D. D. Bochtis // Biosystems Engineering. – 2010. – № 105. – P. 41–50.
2. Deelertpaiboon, C. Fusion of GPS, Compass, and Camera for Localization of an Intelligent Vehicle / C. Deelertpaiboon, M. Pamichkun // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2008. – № 5(4). – P. 315–326.
3. Kim, Y. A Fuzzy Obstacle Avoidance Controller Using a Lookup-Table Sharing Method and Its Applications for Mobile Robots / Y. Kim, J. An, J. Kim // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2011. – № 8(5). – P. 39–48.
4. Hameed, I. A. Automated Generation of Guidance Lines for Operational Field planning / I. A. Hameed, D. D. Bochtis, C. G. Sørensen, M. Nøremark // Biosystems Engineering. – 2010. – № 107. – P. 294–306.
5. Bochtis, D. D. Minimising the Non-working Distance Travelled by Machines Operating in a Headland Field Pattern / D. D. Bochtis, S. Vougioukas // Biosystems Engineering. – 2008. – № 101(1). – P. 1–12.
6. Bochtis, D. D. The Vehicle Routing Problem in Field Logistics / D. D. Bochtis, C. G. Sørensen // Biosystems Engineering. – 2009. – № 104(4). – P. 447–457.
7. Hameed, I. A. Driving Angle and Track Sequence Optimization for the Operational Path Planning using Genetic Algorithms / I. A. Hameed, D. D. Bochtis, C. G. Sørensen // Applied Agricultural Engineering. – 2011. – № 27 (6). – P. 1077–1086.
8. Hameed, I. A. An Object Oriented Model for Simulating Agricultural in-field Machinery Activities / I. A. Hameed, D. D. Bochtis, C. G. Sørensen, S. Vougioukas // Computers and Electronics in Agriculture. – 2012. – № 81(1). – P. 24–32.
9. Hameed, I. A. Optimized Driving Direction Based on a Three-dimensional Field Representation / I. A. Hameed, D. D. Bochtis, C. G. Sørensen, A. L. Jensen, R. Larsen // Computers and Electronics in Agriculture. – 2013. – № 91. – P. 145–153.
10. Liu, G. Efficient field courses around an obstacle / G. Liu, R. Palmer // Journal of Agricultural Engineering. – 1989. – № 44. – P. 87–95.
11. Lumelsky, V. Dynamic path planning in sensor based terrain acquisition / V. Lumelsky, S. Mukhopadhyay, K. Sun // IEEE Transactions on Robotics and Automation. – 1990. – № 6 (4). – P. 462–472.
12. Zelinsky, A. Planning paths of complete coverage of an unstructured environment by a mobile robot / A. Zelinsky, R. Jarvis, J. Byrne, S. Yuta // In: Proc. Int. Conf. on Advanced Robotics, Tokyo, Japan. – 1993. – P. 533–538.
13. Garcia, E. Mobilerobot navigation with complete coverage of unstructured environments / E. Garcia, P. Gonzalez de Santos // Robotics and autonomous systems. – 2004. – № 46. – P. 195–204.
14. Лысенко, К. Agritechnica-2015: инвестиции в будущее / К. Лысенко // Аграрное обозрение. – 2015. – № 6 (52). – С. 20–29.

УДК 631.173

Поступила в редакцию 18.10.2017

Received 18.10.2017

В. И. Рублев

*Белоцерковский национальный аграрный университет
г. Белая Церковь, Украина
e-mail: virken@yandex.ru*

К ОБОСНОВАНИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПЛОЩАДЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАК ОБЪЕКТА ИНЖЕНЕРНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Представлены методика и алгоритм расчета производственных площадей для деятельности предприятия материально-технического обеспечения как объекта инженерной инфраструктуры сельскохозяйственного производства.

Ключевые слова: сельскохозяйственное предприятие, предприятие материально-технического обеспечения, инженерная инфраструктура, методика, расчет.

V. I. Rublev

*Belotserkovsky National Agrarian University
Bila Tserkva, Ukraine,
e-mail: virken@yandex.ru*

TO SUBSTANTIATE THE PRODUCTION AREAS OF THE ENTERPRISE LOGISTICS, AS THE OBJECT OF ENGINEERING INFRASTRUCTURE AGRICULTURAL PRODUCTION

It given the method and algorithm of calculation of the production areas for the activities of the enterprise logistics, as an infrastructure for agricultural production.

Keywords: agricultural enterprises, logistics, engineering infrastructure, method, calculation.

Введение

Площади сельскохозяйственных предприятий находятся под постоянным геодезическим наблюдением с использованием топографических съемок и анализа их состояния. Это определяет необходимость технологических операций по поддержанию эффективности использования данных площадей. Материально-техническое обеспечение сельскохозяйственных предприятий сельскохозяйственной техникой является одним из направлений в реализации данных задач. Предприятия материально-технического обеспечения (далее – предприятия МТО) относятся к объектам инженерной инфраструктуры, а значит, требуется обоснование производственных площадей для организации их работы [1]. Геодезические исследования позволяют определиться с возможным месторасположением этих предприятий.

Однако количественные характеристики необходимой площади для их деятельности требуют специальных расчетов. Наличие удельных показателей использования техники на 1000 га земли можно использовать как исходные данные для расчета общей площади предприятия [2]. Для этого нужна методика расчета.

Отсутствие методики расчета определяет проблему обоснования и использования производственных площадей под инженерную инфраструктуру по обслуживанию технологических процессов производства сельскохозяйственной продукции [3].

Методика исследований основана на патентно-информационном поиске, использовании статистических методов сбора информации, математических методов расчета производственных площадей предприятия материально-технического обеспечения как инфраструктуры сельскохозяйственных предприятий по факту наличия показателей удельного использования техники в технологических процессах производства сельскохозяйственной продукции [4, 5].

Основная часть

Работа предусматривает следующий алгоритм последовательных действий при расчетах:

1. Обоснование и анализ технологий сельскохозяйственного производства, условий их исполнения и технического обеспечения.
2. Распределение площадей по выращиванию сельскохозяйственных культур в районе действия предприятия МТО.
3. Обоснование номенклатуры сельскохозяйственной техники (далее – СХТ) для обеспечения технологических процессов выращивания сельскохозяйственных культур.
4. Обоснование поставки количества СХТ для предприятий по производству сельскохозяйственной продукции.
5. Расчет производственных площадей предприятия МТО для выполнения рабочих операций по хранению СХТ, ее установке на хранение, при погрузочных и разгрузочных работах в процессе продажи и транспортировки машин.

Обоснование и анализ технологий сельскохозяйственного производства, условий их исполнения и технического обеспечения в районе действия предприятия МТО обусловлены природно-климатическими зонами, в которых они работают. К ним относятся Полесье, Лесостепь и Степь [1, 2].

Номенклатура СХТ обосновывается с учетом перечня выращиваемых сельскохозяйственных культур [4–7]. В дополнение к расчету составляется для определенной зоны работы предприятия МТО перечень СХТ и ее технические характеристики. Они используются в последующих действиях. Техническая характеристика СХТ определяется по данным технических условий на изготовление и эксплуатационной документации.

Номенклатура СХТ определяется на основе требований к предприятию МТО, места нахождения предприятия МТО, природно-климатической зоны, перечня сельскохозяйственных культур. Таблицы технических характеристик составляются отдельно для тракторов, комбайнов, сельскохозяйственных машин и автотранспортных средств.

Необходимое количество СХТ по ее видам определяется по следующим формулам:

Общее количество по групповым видам СХТ:

$$N_{\text{гр}}^{\text{об}} = S_{\text{п}}^{\text{об}} \cdot n_{\text{гр}} / 1000,$$

где $S_{\text{п}}^{\text{об}}$ – общая площадь пашни, га;

$n_{\text{гр}}$ – удельное количество СХТ по группам на 1000 га пашни.

Количество машин отдельной марки в группе

$$N_{\text{схт}}^{\text{им}} = N_{\text{гр}}^{\text{об}} \cdot \omega_{\text{схт}}$$

где $\omega_{\text{схт}}$ – относительное количество отдельной марки машин к общему количеству данного типа машин. Его величина определена на основе расчета по результатам статистического анализа распределения общего количества машин данного типа.

Результаты расчетов позволяют определиться с фактическим количеством машин. После проведения расчетов потребности машин определяют количество машин K , которых не хватает:

$$K = P - H_{\text{кп}} + C_{\text{п}};$$

$$H_{\text{кп}} = H_{\text{к}} + П - C,$$

где P – потребность в технике на плановый год; $H_{\text{кп}}$ – наличие техники на начало планового года; $C_{\text{п}}$ – ожидаемое списание техники в плановом году; $H_{\text{к}}$ – наличие техники на конец предпланового года; $П$ – план поставки техники в предплановом году; C – списание техники в предплановом году.

Расчет размеров площадки (рисунок 1) для хранения СХТ выполняется в следующей последовательности. Размеры площадки для хранения СХТ, $F_{\text{хр}}$, определяют по формуле:

$$F_{\text{хр}} = [F_1 (1 + \delta) + F_2] / K_{\text{ср}} + F_3,$$

где F_1 – площадка размещения всех машин с учетом их габаритных размеров, м^2 ; $\delta = 0,05$ – коэффициент, который учитывает резервную площадь; F_2 – дополнительная площадь около машин в соответствии с требованиями техники безопасности, м^2 ; $K_{\text{ср}}$ – средний коэффициент использования площади рядов техники (0,85–0,90); F_3 – площадь проезда около рядов машин, м^2 .

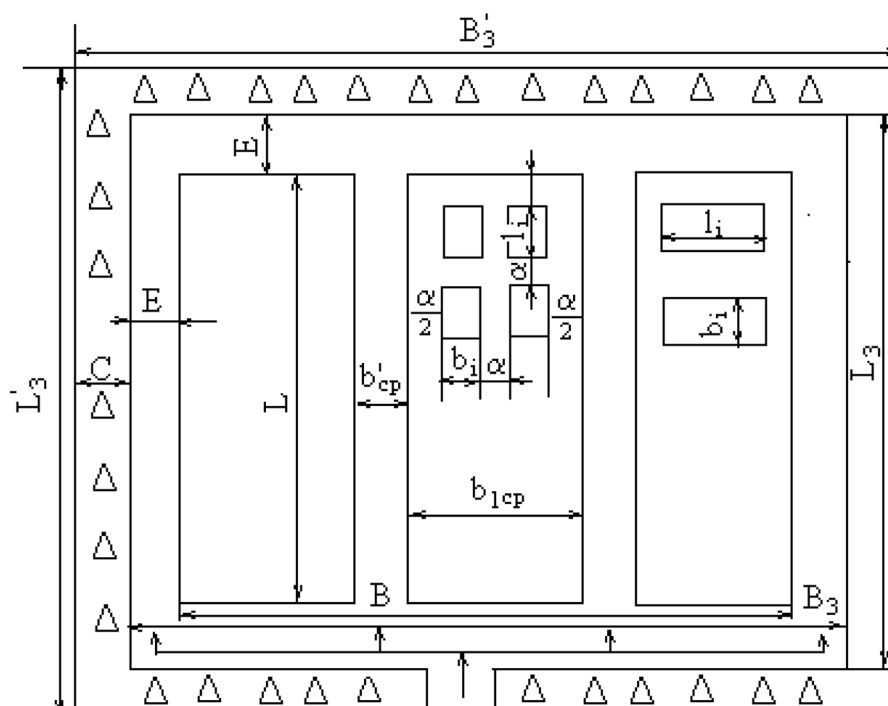


Рисунок 1. – Площадка для сельскохозяйственной техники на предприятии материально-технического обеспечения

Значение F_1 рассчитывают по формуле:

$$F_1 = \sum_{i=1}^N l_i b_i k_{im},$$

где l_i – длина машины i -ой марки, м; b_i – ширина машины i -ой марки, м; k_{im} – количество машин i -ой марки, которые поставляются на протяжении месяца: $k_{im} = k_{ip} \cdot (1 + \beta^{\text{нп}})/12$, где $\beta^{\text{нп}} = 0,2$ – коэффициент неравномерности поставки техники; k_{ip} – количество машин i -ой марки, которые поставляются на протяжении года; N – количество марок машин.

Значение F_2 рассчитывают по формуле:

$$F_2 = \alpha k_{im} (l_{\text{cp}} + 2b_{\text{cp}} + 2\alpha) + \alpha (l_{\text{cp}} + 2\alpha),$$

где α – расстояние между машинами (0,4–0,8 м); l_{cp} и b_{cp} – средняя длина и ширина машины, м; k_{im} – количество машин на сохранении, которые поставляются в течение месяца.

l_{cp} и b_{cp} определяют по формулам:

$$l_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^N l_i k_{im}}{\sum_{i=1}^N k_{im}}; \quad b_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^N b_i k_{im}}{\sum_{i=1}^N k_{im}},$$

где l_i и b_i – длина и ширина i -ой машины, м. Их значения необходимо брать из каталогов или технических характеристик.

Длину и ширину ряда машин рассчитывают по формулам (1) и (2) соответственно:

$$L = \sqrt{[F_1(1 + \delta) + F_2] \frac{j}{K_{\text{cp}}}}; \quad (1)$$

$$B = \frac{F_1(1 + \delta) + F_2}{LK_{\text{cp}}}, \quad (2)$$

где $j = 1-3$ – соотношение длины и ширины площадки для хранения машин.

Количество рядов на площадке (рисунок 1), P , определяется по формуле:

$$P = \frac{B}{m(l_{\text{cp}} + \alpha) + \alpha},$$

где m – коэффициент размещения машин в рядах (при размещении машин по одной в ряду $m = 1$, по две в ряду – $m = 2$).

Ширина площадки должна быть кратной ширине ряда. Для этого количество рядов уменьшают или увеличивают. Потом уточняют ширину площадки по формуле:

$$B' = P[m(l_{\text{cp}} + \alpha) + \alpha(m - 1)],$$

где B' – уточненная ширина площадки, м; L' – уточненная по формуле (3) длина площадки, м.

$$L' = \frac{F_1(1 + \delta) + F_2}{B' K_{\text{cp}}}. \quad (3)$$

Площадь около рядов F_3 определяют по формуле:

$$F_3 = L' b'_{\text{cp}} (P - 1) + 2E [b'_{\text{cp}} (P - 1) + b_{1\text{cp}} P] + 2EL',$$

где $b'_{\text{cp}} = 8-10$ м – средняя ширина проезда между рядами, м; $E = 10-12$ м – ширина проезда между рядами машин и границей периметра; $b_{1\text{cp}}$ – средняя ширина ряда, м; определяется по формуле:

$$b_{\text{лр}} = m [l_{\text{лр}} + \alpha (m - 1)] + \alpha].$$

Общая длина площадки для хранения техники

$$L_{\text{об}} = L' + 2E.$$

Общая ширина площадки

$$B_{\text{об}} = B' + 2E.$$

Для размещения дополнительных объектов площадки увеличивают ее длину $L_{\text{об}}$ или ширину $B_{\text{об}}$. Площадь ограды и озеленения определяют по формуле:

$$F_{\text{оз}} = 2L'_{\text{об}}C + 2B'_{\text{об}}C = 2C(L'_{\text{об}} + B'_{\text{об}}),$$

где $C = 2-3$ ширины зоны ограды и озеленения, м; $L'_{\text{об}} = L_{\text{об}} + 2C$ – общая длина площадки с полосой зоны ограды и озеленения, м; $B'_{\text{об}} = B_{\text{об}} + 2C$ – общая ширина площадки с полосой зоны ограды и озеленения, м.

Общая площадь хранения машин, м, рассчитывается по формуле:

$$S = L'_{\text{об}} \cdot B'_{\text{об}}.$$

Выводы

Представлено обоснование производственных площадей предприятия материально-технического обеспечения как объекта инженерной инфраструктуры сельскохозяйственных предприятий. Разработаны алгоритм и методика расчета необходимой площади для деятельности предприятия материально-технического обеспечения по хранению техники, ее установке на хранение, при погрузочных и разгрузочных работах в процессе продажи и транспортировки машин.

Выполненные расчеты позволяют обеспечить реализацию Закона Украины «Про землеустрой» при землеустройстве территории инженерной инфраструктуры предприятий по производству сельскохозяйственной продукции.

Литература

1. Закон України «Про землеустрой» // Законодавство України [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/858-15>. – Дата доступа: 14.10.2017.
2. Матеріально-технічна база агропромислового комплексу / За ред. І.Й. Дороша, О.М. Голованова. – К.: Урожай, 1985. – 296 с.
3. Межгосударственный стандарт. Термины и определения основных понятий: ГОСТ ЕСТД 3.1109. – Введ. 01.01.1983. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1983. – 20 с.
4. Рубльов, В. І. Управління якістю технічного сервісу і сільськогосподарської техніки при постачанні: посібник / В. І. Рубльов, В. Д. Войтюк; за ред. В. І. Рубльова. – К.: Видав. НАУ, 2006. – 227 с.: іл.
5. Проектування технологічних процесів у рослинництві: навчальний посібник / В. Д. Гречкосей [та ін.]. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2011. – 364 с.: іл.
6. Сільськогосподарські та меліоративні машини: підручник / Д. Г. Войтюк [та ін.]; за ред. Д. Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.: іл.
7. Рубльов, В. І. Особливості розрахунку потреби сільськогосподарських машин при постачанні споживачу / В. І. Рубльов // Науковий вісник НУБіП України. Серія: техніка та енергетика АПК / редкол.: Д. О. Мельничук (відп. ред.) [та ін.]. – К., 2012. – Вип. 172, ч. 1. – С. 77–85.

Е. И. Михайловский

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь*

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ВЛИЯНИЯ
ПРОЦЕССА СНАБЖЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ
УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ЗАТРАТАМИ ОРГАНИЗАЦИИ**

В статье обоснована необходимость повышения эффективности управления производственными затратами на основе совершенствования процесса снабжения организации материальными ресурсами.

Ключевые слова: процесс снабжения, материальные ресурсы, производственные запасы и затраты, финансовые и информационные потоки, эффективное управление.

E. I. Michailovsky

*Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»
Minsk, Republic of Belarus*

**REASONS FOR THEORETICAL ASPECTS OF INFLUENCE OF PROCESS OF SUPPLY WITH MATERIAL
RESOURCES ON EFFECTIVE MANAGEMENT OF PRODUCTION COSTS OF THE ORGANIZATION**

In article need of increase in effective management of production costs on the basis of enhancement of process of supply of the organization is proved by material resources.

Keywords: procurement process, material resources, production stocks and costs, financial and information flows, effective management.

Введение

Для эффективного управления производственными затратами необходимо совершенствовать процесс снабжения организации материальными ресурсами. Уровень производственных затрат зависит от стоимости материальных ресурсов, используемых в организации в процессе производства продукции, а также от величины расходов, связанных с доставкой и хранением сырья и материалов.

Результаты исследований

В зависимости от вида экономической деятельности и размера добавленной стоимости, создаваемой конкретным производителем, материальные затраты в общем объеме производственных затрат могут составлять 45 % и более.

При осуществлении материально-технического снабжения процесса производства возникают материальные, финансовые и информационные потоки между организацией, формирующей производственные запасы, и поставщиками материальных ресурсов.

Материальные потоки образуются в результате поступления в организацию материальных ресурсов от поставщиков. Финансовые потоки, имеющие обратное направление, формируются в результате осуществления расчетных операций организацией с поставщиками материальных ресурсов. Процесс снабжения организации материальными ресурсами осуществляется в постоянно меняющейся информационной среде. Наличие разнонаправленных информационных потоков позволяет субъектам данного процесса проводить их анализ и разрабатывать рациональные управленческие решения.

Анализируя предложения на материальные ресурсы, данные о ценах, транспортных расходах, тарифах на погрузочно-разгрузочные работы, страхование груза в пути и др., организация имеет возможность совершенствовать процесс снабжения материальными ресурсами. Эффективное

управление производственными затратами организации заключается в сокращении затрат на его снабжение материальными ресурсами:

$$C_{об} \rightarrow \min,$$

где $C_{об}$ – величина производственных затрат организации на ее снабжение материальными ресурсами.

В данной статье мы рассматриваем такие влияющие на производственные затраты факторы, связанные со снабжением материальных ресурсов, как размер партии их поставки и объем производственных запасов в организации.

При управлении производственными затратами, связанными со снабжением материальными ресурсами, организация, заказывая большие партии сырья и материалов, получает скидку с цены. Связанные с поставками постоянные затраты, такие как расходы на погрузочно-разгрузочные работы, транспортные расходы, расходы по страхованию груза в пути и др., снижаются как на единицу материальных ресурсов при увеличении размера партии их поставки, так и на весь годовой объем закупок в связи с сокращением количества поставок материальных ресурсов.

Соотношение, описывающее изменение величины производственных затрат ($C_{об}$), связанных со снабжением организации материальными ресурсами, в зависимости от размера партии их поставки, можно записать в следующем виде:

$$C_{об} = (P_n - k \cdot n) \cdot \frac{N}{n} = \frac{P_n \cdot N}{n} - k \cdot N, \quad (1)$$

где P_n – величина постоянных затрат, связанных с получением одной партии материальных ресурсов;

k – параметр линейной функции, количественно определяющий соотношение между величиной производственных затрат, связанных с получением одной партии материальных ресурсов, от размера партии их поставки;

n – размер партии поставки материальных ресурсов;

N – потребность организации в материальных ресурсах за рассматриваемый период.

Приведенное аналитическое соотношение (1) описывает гиперболическую зависимость между производственными затратами, связанными со снабжением организации материальными ресурсами, и размером партии их поставки, а также учитывает разделение этих затрат на переменную и постоянную составляющие. Организация должна стремиться к увеличению размера партии поставки сырья и материалов с целью сокращения производственных затрат, связанных с ее снабжением материальными ресурсами.

Однако увеличение размера партии поставки материальных ресурсов не может быть бесконечным, так как размер партии поставки материальных ресурсов организации ограничен их потребностью, которая за рассматриваемый период рассчитывается исходя из планируемого объема производства продукции и имеющихся остатков производственных запасов, находящихся на складах и в пути; авансируя денежные средства в больший объем производственных запасов, организация на определенный период времени снижает ликвидность своих активов, сокращает объем финансовых средств, которые могли быть использованы по другому назначению, а следовательно, у организации возникают альтернативные издержки.

Поэтому при установлении размера партии поставки материальных ресурсов необходимо учитывать объем финансовых средств, которые организация может использовать для формирования производственных запасов. Тогда возможный размер партии поставки материальных ресурсов (n) можно рассчитать по формуле:

$$n = \frac{P_n - ДС}{k},$$

где ДС – объем финансовых средств, которые организация может использовать для формирования производственных запасов.

Производственные запасы – это материальные ресурсы (сырье, материалы, покупные полуфабрикаты и комплектующие изделия, топливо-смазочные материалы, тара, запасные части для

устранения отказов, инструменты), находящиеся на складах организации и предназначенные для их использования в производственном процессе, но еще не поступившие в производство.

Поэтому увеличение размера партии поставки материальных ресурсов (n') должно быть ограничено величиной, соответствующей минимуму между потребностью организации в них за рассматриваемый период и объемом финансовых средств, которые будут использованы для формирования производственных запасов:

$$n' = \min \left(N, \frac{P_n - \text{ДС}}{k} \right).$$

Графически определение рационального размера партии поставки сырья, материалов и экономически обоснованной величины производственных затрат, связанных с обеспечением организации материальными ресурсами, приведено на рисунке 1.

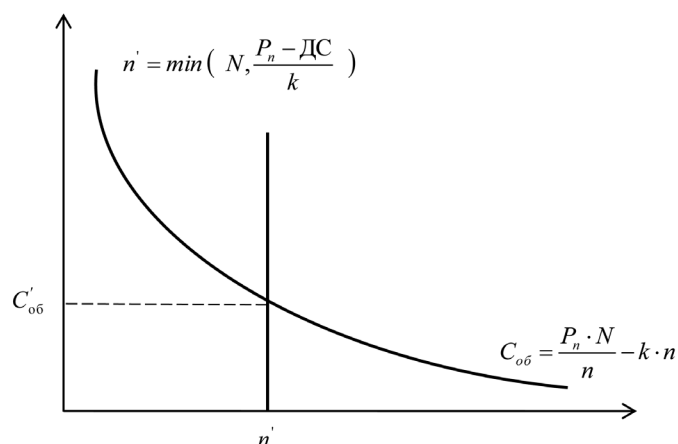


Рисунок 1. – Определение рационального размера партии поставки сырья, материалов и экономически обоснованной величины производственных затрат, связанных со снабжением организации материальными ресурсами

Экономически обоснованная величина производственных затрат, связанных со снабжением организации материальными ресурсами, определяется установлением рационального размера партии их поставки (n') на уровне минимума между потребностью в них за рассматриваемый период и объемом финансовых средств, которые будут направлены на формирование производственных запасов:

– для рационального размера партии поставки материальных ресурсов ($C'_{об}$), соответствующего потребности организации в сырье и материалах за рассматриваемый период ($n' = N$):

$$C'_{об} = P_n - k \cdot N;$$

– для рационального размера партии поставки материальных ресурсов ($C'_{об}$), соответствующего объему финансовых средств, которые организация может использовать для формирования производственных запасов $n' = \frac{P_n - \text{ДС}}{k}$:

$$C'_{об} = \frac{k \cdot N \cdot \text{ДС}}{P_n - \text{ДС}}.$$

Данный подход к повышению эффективности снабжения организации сырьем и материалами, нацеленный на минимизацию соответствующих производственных затрат, характерен для тех видов материальных ресурсов, для которых изменение объема партии их поставки оказывает существенное влияние на изменение величины производственных затрат.

Другим подходом к повышению эффективности обеспечения организации материальными ресурсами является необходимость снижения производственных затрат, связанных с хранением производственных запасов на складах.

Для эффективного управления производственными затратами на основе совершенствования процесса снабжения организации материальными ресурсами необходимо оптимизировать размер производственных запасов.

В процессе производственной деятельности материальные ресурсы могут поставляться поставщиками несвоевременно, не совпадать поставки ресурсов с их потреблением, увеличиваться объемы их приобретения с целью экономии затрат на ресурсы, связанные с опережением сезонного повышения цен. Поэтому возникает необходимость формирования производственных запасов материальных ресурсов, позволяющих осуществлять производственный процесс непрерывно, равномерно и ритмично.

Учитывая факторы, влияющие на формирование производственных запасов материальных ресурсов, необходимо отметить, что с увеличением размера партии поставки растут и складские запасы материальных ресурсов. При этом каждая единица материальных ресурсов может более длительное время находиться на складе, что приведет к росту производственных затрат на амортизацию складских помещений и оборудования, арендную плату, отопление, освещение и т. д. Финансовые средства авансируются в производственные запасы материальных ресурсов на более длительный срок, вероятность снижения качества от их длительного хранения может возрасти, что также увеличит производственные затраты.

Изменение величины производственных затрат, связанных с хранением сырья и материалов на складах организации (C_{xp}), в зависимости от размера производственных запасов материальных ресурсов можно записать в виде:

$$C_{xp} = C_1 \cdot m, \quad (2)$$

где C_1 – величина производственных затрат, связанных с хранением единицы производственных запасов на складах организации;

m – размер производственных запасов материальных ресурсов.

Структура формулы (2) позволяет сформулировать вывод о том, что для уменьшения производственных затрат, связанных с хранением сырья и материалов на складах организации, любой субъект хозяйствования должен стремиться к снижению размера производственных запасов материальных ресурсов.

Эффективное управление производственными затратами, осуществляемое на основе формирования производственных запасов на складах организации, предусматривает согласование объемов поступления и потребления материальных ресурсов.

Согласование объемов поступления и потребления материальных ресурсов возможно при условии выполнения следующего соотношения:

$$m = \frac{\Pi_{mp}}{2},$$

где Π_{mp} – объем потребления материальных ресурсов за период времени, равный интервалу между поставками.

При выполнении условия согласования объемов поступления и потребления материальных ресурсов в момент поступления новой партии сырья и материалов на складах организации должен находиться страховой производственный запас, который может быть использован в производственном процессе в том случае, если в поставках происходят непредвиденные сбои как по объему, так и по времени. Тогда снижение объема производственных запасов материальных ресурсов в целях уменьшения производственных затрат, связанных с хранением сырья и материалов на складах организации, должно быть ограничено величиной страхового запаса ($\Pi_{стр}$):

$$m = \Pi_{стр}$$

Снижение размера производственных запасов материальных ресурсов (m') должно быть ограничено величиной, соответствующей максимуму между объемом потребления материальных ресурсов за период времени, равный интервалу между поставками, и величиной страхового запаса:

$$m' = \max \left(\frac{\Pi_{\text{мр}}}{2}, \text{ПЗ}_{\text{стр}} \right).$$

Графически определение рационального размера производственных запасов материальных ресурсов и экономически обоснованной величины производственных затрат, связанных с хранением сырья и материалов на складах организации, приведено на рисунке 2.

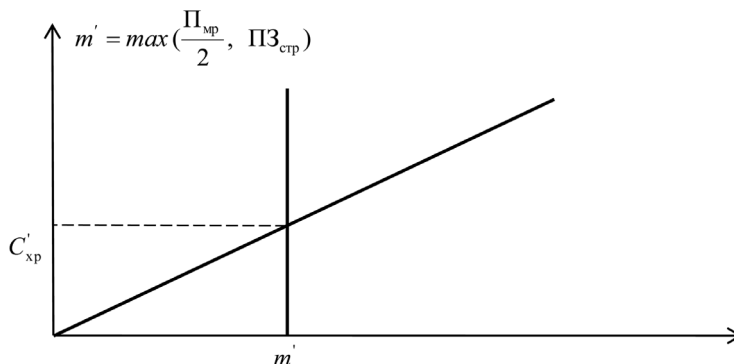


Рисунок 2. — Определение рационального размера производственных запасов материальных ресурсов и экономически обоснованной величины производственных затрат, связанных с хранением сырья и материалов на складах организации

Экономически обоснованная величина производственных затрат, связанных с хранением сырья и материалов на складах организации, определяется установлением оптимального размера производственных запасов материальных ресурсов (m') на уровне максимума между объемом их потребления за период времени, равный интервалу между поставками, и величиной страхового запаса:

– для рационального размера производственных запасов материальных ресурсов, соответствующего объему их потребления за период времени, равный интервалу между поставками ($m' = \frac{\Pi_{\text{мр}}}{2}$):

$$C'_{\text{xp}} = C_1 \cdot \frac{\Pi_{\text{мр}}}{2};$$

– для рационального размера производственных запасов материальных ресурсов, соответствующего величине страхового запаса ($m' = \text{ПЗ}_{\text{стр}}$):

$$C'_{\text{xp}} = C_1 \cdot \text{ПЗ}_{\text{стр}}.$$

Данный подход к снабжению организации материальными ресурсами, нацеленный на минимизацию соответствующих производственных затрат, применим для тех видов материальных ресурсов, для которых изменение размера производственных запасов оказывает существенное влияние на изменение величины производственных затрат.

Если величина производственных затрат в равной степени зависит как от размера партии поставки сырья и материалов, так и размера производственных запасов, то для повышения эффективности обеспечения организации материальными ресурсами необходимо стремиться к минимизации совокупных производственных затрат. Условие минимизации совокупных производственных затрат, связанных с обеспечением организации материальными ресурсами и хранением сырья и материалов на складах организации, можно представить в следующем виде:

$$C = C_{\text{об}} + C_{\text{xp}} \rightarrow \min.$$

Используя аналитические соотношения, описывающие определение производственных затрат, связанных с обеспечением организации материальными ресурсами и их хранением на складах, величину совокупных производственных затрат (C) рассчитывают по формуле:

$$C = \left(\frac{P_n \cdot N}{n} - k \cdot N \right) + C_1 \cdot m. \quad (3)$$

Анализ структуры формулы (3) показывает, что величина совокупных производственных затрат, связанных с обеспечением организации материальными ресурсами и их хранением на складах, зависит от размера партии поставки (n) и объема производственных запасов (m). При этом необходимо учитывать тот факт, что эффективное управление производственными затратами организации предусматривает согласование интенсивности поступления и потребления материальных ресурсов, т. е. должно выполняться следующее условие:

$$n = \Pi_{\text{мр}}.$$

Эффективное управление производственными затратами организации осуществляется в том случае, если средний объем производственных запасов поддерживается на уровне величины, равной половине размера партии поставки материальных ресурсов:

$$m = \frac{n}{2}.$$

Учитывая зависимость среднего объема производственных запасов организации от размера партии поставки материальных ресурсов, можно представить совокупные производственные затраты, связанные с обеспечением организации материальными ресурсами и хранением сырья и материалов на складах организации, как величину, зависящую только от размера партии поставки. Тогда аналитическое соотношение, описывающее определение величины совокупных производственных затрат, связанных со снабжением организации материальными ресурсами и хранением сырья и материалов на складах организации, можно записать в следующем виде:

$$C = \left(\frac{P_n \cdot N}{n} - k \cdot N \right) + C_1 \cdot \frac{n}{2}. \quad (4)$$

Графически изменение величины совокупных производственных затрат (C'), связанных со снабжением организации материальными ресурсами и хранением сырья и материалов на складах организации, в зависимости от размера партии поставки материальных ресурсов приведено на рисунке 3.

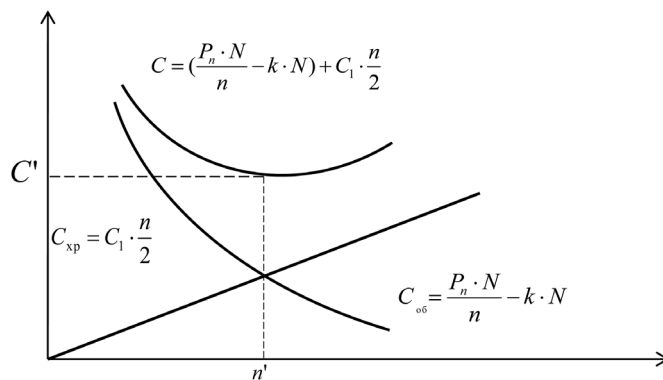


Рисунок 3. – Изменение величины совокупных производственных затрат, связанных со снабжением организации материальными ресурсами и хранением сырья и материалов на ее складах, в зависимости от объема партии поставки материальных ресурсов

Анализ данных на графике изменения величины совокупных производственных затрат, связанных со снабжением организации материальными ресурсами и хранением сырья и материалов на ее складах, в зависимости от размера партии поставки материальных ресурсов, представленный на рисунке 3, позволяет утверждать, что существует такой размер партии поставки материальных ресурсов, при котором достигается наименьшая величина совокупных производственных затрат.

Для определения оптимального размера партии поставки материальных ресурсов, при котором достигается наименьшая величина совокупных производственных затрат, необходимо первую производную функции от размера партии поставки материальных ресурсов $C(n)$, описываемую аналитическим соотношением (4), приравнять к нулю:

$$\frac{dC}{dn} = \frac{C_1}{2} - \frac{P_n \cdot N}{n^2} = 0.$$

В результате получим аналитическое соотношение, описывающее рациональный размер партии поставки материальных ресурсов:

$$n' = \sqrt{\frac{2 \cdot P_n \cdot N}{C_1}}.$$

При этом размере партии поставки материальных ресурсов достигается наименьшая величина совокупных производственных затрат, связанных со снабжением организации материальными ресурсами и хранением сырья и материалов на ее складах. Эта величина совокупных производственных затрат, связанных со снабжением организации материальными ресурсами и их хранением на складах, составит:

$$C' = \sqrt{2 \cdot P_n \cdot N \cdot C_1} - k \cdot N.$$

Заключение

Проведенные исследования позволяют утверждать, что существуют три подхода к эффективному управлению производственными затратами на основе совершенствования процесса снабжения организации материальными ресурсами:

- минимизация производственных затрат, связанных со снабжением организации материальными ресурсами;
- минимизация производственных затрат, связанных с хранением производственных запасов материальных ресурсов на складах организации;
- минимизация совокупных производственных затрат, связанных со снабжением организации материальными ресурсами и хранением сырья и материалов на складах организации.

Литература

1. Задачи управления материально-техническим снабжением в рыночной экономике / С. А. Баркалов [и др.]. – М.: ИПУ РАН, 2000. – 58 с.
2. Кузин, Б. И. Методы и модели управления фирмой / Б. И. Кузин, В. Н. Юрьев, Г. М. Шахдинаров. – СПб.: Питер, 2001. – 432 с.

В. Е. Тарасенко¹, А. А. Жешко²¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

email: trs9@yandex.ru;

azeshko@gmail.com

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

В статье с целью наиболее полной оценки экономичности дизеля Deutz BF06M1013FC трактора «Беларус-3022ДЦ» и выбора оптимальных режимов его работы представлена последовательность построения универсальной многопараметровой характеристики, основа которой сформирована данными ряда нагрузочных характеристик рассматриваемого дизеля по результатам испытаний на базе испытательного центра «Трактор» ОАО «МТЗ» с использованием аттестованного стенда HORIBA DT2100.

На основании анализа путей достижения наибольшей топливной экономичности, а также работ отечественных и зарубежных ученых в этой области отмечается, что кривые удельного эффективного расхода топлива могут быть адекватно описаны с помощью регрессионной модели второй степени в функции эффективного давления и частоты вращения коленчатого вала дизеля. Получена регрессионная модель удельного эффективного расхода топлива в виде полинома функции, аргументами которой являются параметры рабочего режима: среднее эффективное давление и частота вращения коленчатого вала дизеля.

Ключевые слова: дизель, режим, модель, топливо, расход, давление, характеристика.

V. E. Tarasenko¹, A. A. Zheshko²¹Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»²RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: trs9@yandex.ru;

azeshko@gmail.com

DETERMINATION OF ECONOMIC OPERATING MODES OF AUTOTRACTOR ENGINES

In article the sequence of creation of the Engine universal characteristic for the purpose of an assessment of profitability of the diesel Deutz BF06M1013FC of tractor «Belarus-3022DTS» and the choice of optimum power setting is stated, data of load characteristics of the considered engine are obtained by results of tests in the test center «Traktor» of «MTZ» with use of the certified HORIBA DT2100 stand.

Based on the analysis of ways of achievement of the greatest fuel profitability, and also publications of domestic and foreign scientists in this area, it is marked that curves of specific effective fuel consumption can be adequately described by means of regression model of the second level as effective pressure and rotating speed of a crankshaft of the diesel. The regression model of specific effective fuel consumption received in the course of work in the form of a polynomial of function which arguments are parameters of an operating mode is provided: mean effective pressure and rotating speed of a crankshaft of the diesel.

Keywords: diesel, mode, model, fuel, consumption, pressure, characteristic.

Введение

На долю сельского хозяйства приходится около 50 % всей энергии, потребляемой в Республике Беларусь, и в этом количестве топливо составляет более 45 % [1]. Весьма важным является то, что сельское хозяйство основывается на использовании нефтяных видов топлива – дизельного топлива и бензина. Выделим основные аспекты, которые определяют необходимость и неотвратимость экономии используемых, поиска новых альтернативных видов и источников энергии, прежде всего – для автотракторных двигателей внутреннего сгорания (ДВС):

– сельское хозяйство полностью зависит от нефти, запасы которой не безграничны, и надо полагать, что общее истощение нефтяных запасов ограничит возможность поставки ее из других стран и вызовет непредсказуемое увеличение цен. Для стран, не имеющих запасов нефти, наступит сложное время. Конечно, это весьма отдаленная перспектива, но над решением проблемы следует работать уже сегодня;

– новейшие научные разработки и технологии, наукоемкие компоненты, на основе которых разрабатываются и создаются современные технологические процессы, машины, будут применены в сельском хозяйстве. Следует полагать, что это приведет к радикальным изменениям в области использования энергии и ее экономии.

Известно [2, 3], что эффективный удельный расход топлива определяется значением эффективного КПД, зависит от индикаторных показателей работы двигателя и механических потерь, то есть эффективный удельный расход топлива определяется рабочим процессом, принятой конструкцией составляющих компонентов и позволяет оценить экономичность двигателя в целом. Так, при увеличении индикаторного КПД на 1 % расход топлива снижается на $5,9 \text{ г/(кВт·ч)}$ (или на 2,3 %), механического КПД – на $3,4 \text{ г/(кВт·ч)}$ (или 1,3 %), эффективного КПД – на $7,3 \text{ г/(кВт·ч)}$ (или на 2,9 %), а повышение теплоты сгорания дизельного топлива на 1 % снижает расход топлива на $2,4 \text{ г/(кВт·ч)}$ (или на 1,0 %).

Снижение удельного расхода топлива на протяжении длительного периода времени является одной из основных задач развития и модернизации автотракторных ДВС. В настоящее время внедрение электронных систем управления подачей топлива позволило осуществлять гибкое изменение цикловой подачи, оптимальное регулирование угла опережения впрыска топлива, обеспечивать заданную внешнюю скоростную характеристику дизеля и др. [4, 5, 6]. Однако проводимая высокотехнологичная модернизация топливных систем должна дополняться комплексом компьютерного моделирования как рабочих процессов ДВС, так и режимов их работы для обеспечения эффективного функционирования топливной системы в реальных условиях эксплуатации.

Целью настоящей работы явилось на основании серии нагрузочных характеристик дизеля Deutz BF06M1013FC трактора «Беларус-3022ДЦ» построение универсальной многопараметровой характеристики, так как по ней можно наиболее полно оценить экономичность ДВС и выбрать оптимальные режимы его работы. Поставленная цель сводится к построению графической интерпретации на плоскости зависимости интересующего параметра (в нашем случае – удельного эффективного расхода топлива, $g_e, \text{ г/(кВт·ч)}$) двигателя одновременно от двух независимых переменных (среднего эффективного давления, $p_e, \text{ бар}$, и частоты вращения коленчатого вала, $n, \text{ мин}^{-1}$).

Основная часть

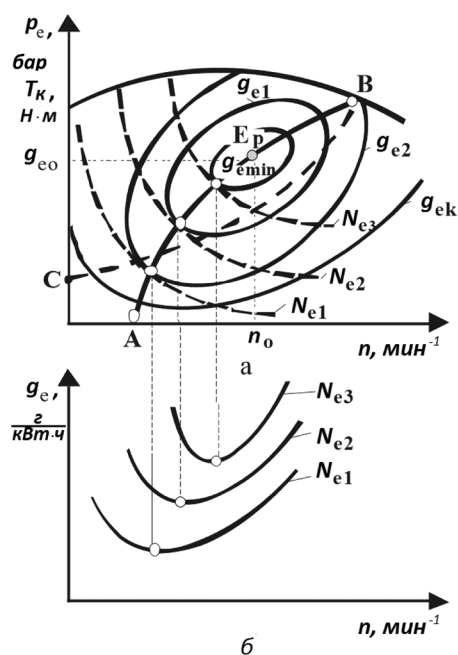
График универсальной многопараметровой характеристики получается как результат проекции на плоскость XU (p_e, n) сечений поверхности отклика $g_e = f(p_e, n)$ при данных значениях g_e в трехмерном пространстве p_e, n, g_e .

На рисунке 1а представлена универсальная многопараметровая характеристика ДВС с замкнутыми кривыми удельного эффективного расхода топлива ($g_e, \text{ г/(кВт·ч)}$) как функция среднего эффективного давления ($p_e, \text{ бар}$), крутящего момента ($T_k, \text{ Н·м}$) и частоты вращения коленчатого вала ($n, \text{ мин}^{-1}$).

Точка наименьшего удельного эффективного расхода топлива, обычно именуемая «полюс экономичности», представлена на рисунке 1а как точка E_p . Эта точка, как правило, определяется при средних оборотах и нагрузке в дизельных двигателях порядка 75 % от максимума [7].

Оптимальный режим работы двигателя с точки зрения потребления топлива соответствует точке E_p . Следовательно, при эксплуатации автотракторных ДВС необходимо придерживаться режимов, соответствующих окрестностям данной точки, то есть области, очень близкой к ней, что обеспечит минимальное потребление топлива g_{emin} . Область, в которой $g_e < g_{\text{emin}}$, считается областью экономичной эксплуатации ДВС.

Однако, как известно, двигатель часто работает на частичной нагрузке, то есть на частичной характеристике. Каждому значению эффективной мощности $N_{ei}, i = 1, \dots, n$, соответствует отдель-



а) универсальная многопараметровая характеристика ДВС;

б) кривые удельного эффективного расхода топлива

Рисунок 1. – Зависимость расхода топлива в ДВС от ряда параметров

ная кривая расхода топлива, и каждая из них имеет свою точку минимального значения (рисунок 1б).

Нанося точки минимального удельного расхода топлива на многопараметровую характеристику, можно получить кривую АВ, которая представляет характеристику минимального удельного расхода топлива или режим экономичного функционирования ДВС.

Результаты исследований

На базе испытательного центра «Трактор» ОАО «МТЗ» проведены испытания дизеля Deutz BF06M1013FC трактора «Беларус-3022ДЦ». По результатам испытаний двигателя BF06M1013FC под нагрузкой через задний ВОМ трактора с использованием аттестованного стенда HORIBA DT2100 (№ 177229), позволяющего определять технико-экономические показатели ДВС и его тепловой режим, получены данные для построения серии нагрузочных характеристик. Методика испытаний соответствовала ГОСТ 30747–2001 (ИСО 789–1–90). Расход топлива (кг/ч) определялся с помощью расходомера AVL 733S.

Данные, полученные по результатам снятия серии нагрузочных характеристик, явились основой для построения универсальной многопараметровой характеристики дизеля Deutz BF06M1013FC. Методика построения изложена в источнике [8].

При обработке массива полученных экспериментальных данных выполнено построение точечной диаграммы для формирования матрицы в функции $g_e = f(p_e)$ (рисунок 2). При этом при движении по оси g_e с постоянным шагом 10 г/кВт·ч в диапазоне 450...230 г/кВт·ч и уменьшении шага до 2 г/кВт·ч в диапазоне малых удельных расходов 230...214 г/кВт·ч определялось, какое эффективное давление p_e соответствует данному расходу топлива при текущей частоте вращения

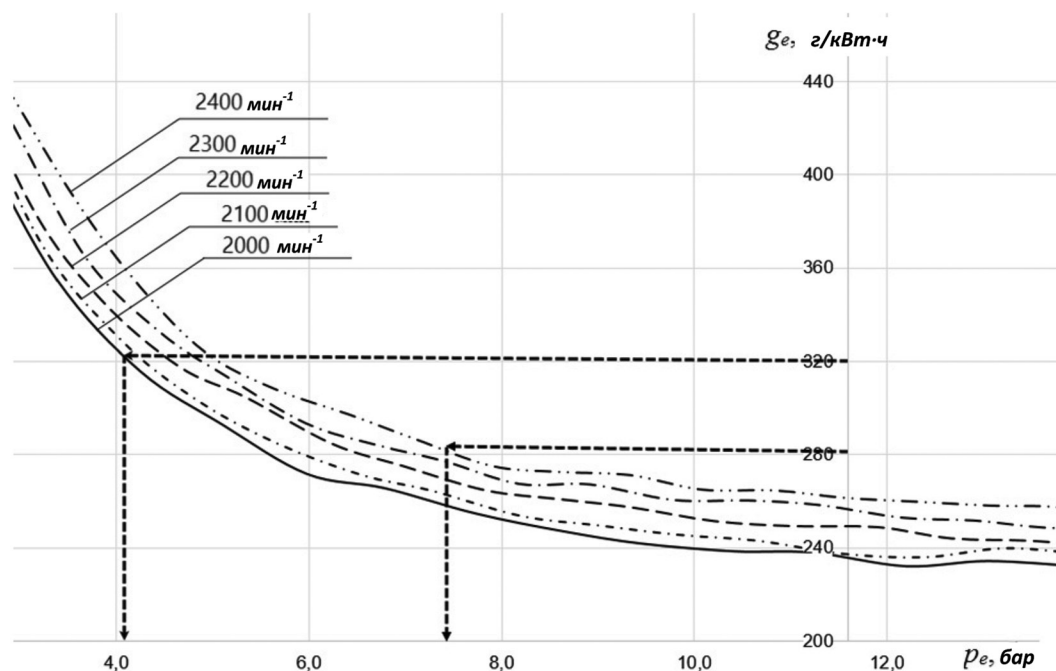


Рисунок 2. – Диаграмма для формирования матрицы в функции $g_e = f(p_e)$

ния. Например, для 2000 мин^{-1} расходу $320 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ соответствует среднее давление $4,2 \text{ бар}$, а для 2400 мин^{-1} при расходе $280 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ давление составляет $7,5 \text{ бар}$. Результаты определения точек по диаграмме (рисунок 2) сведены в матрицу.

Применительно к первоначальному массиву данных, полученному по результатам снятия ряда нагрузочных характеристик дизеля на наиболее характерных для него частотах вращения, осуществлена линейная аппроксимация с использованием пакета прикладных программ MatLab. Для аппроксимации представленных данных использовали модуль MatLab «Curve fitting tool», в котором указали переменные (n, p_e, g_e), тип модели (polynomial) и получили результат (рисунок 3).

Линейная аппроксимация позволила определить коэффициент детерминации, который для данной модели имеет довольно низкое значение $R^2 = 0,7005$. Результаты построения линейной множественной регрессии показали также, что полученная модель имеет слабую сходимость.

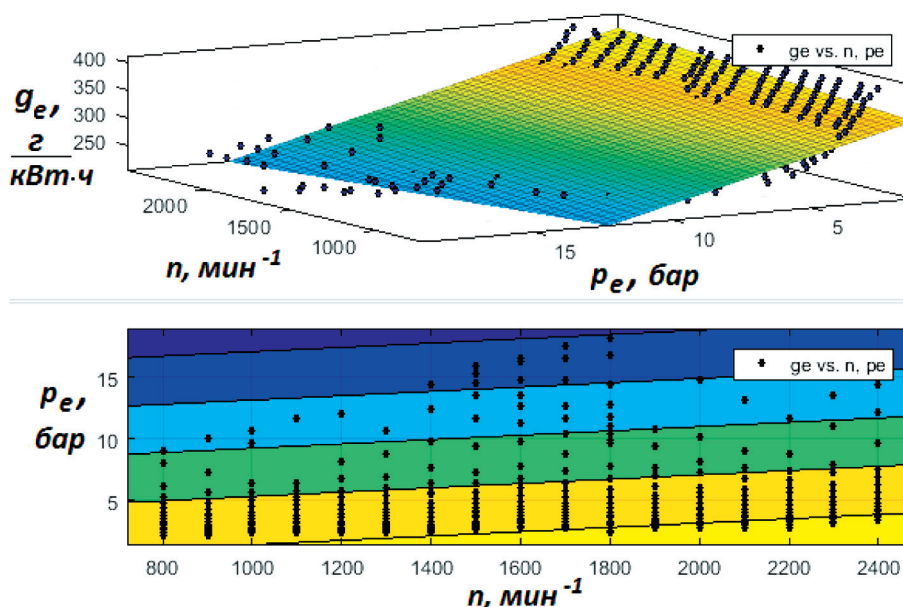


Рисунок 3. – Линейная аппроксимация данных матрицы в MatLab

Дальнейшая работа проводилась с использованием пакета анализа данных Excel. Для повышения точности результатов выполнены расчеты по построению модели в виде степенной функции расхода топлива от рассматриваемых факторов. Однако проведенные расчеты также показали низкое значение коэффициента детерминации, а именно $R^2 < 0,85$, неадекватность модели.

Исходя из анализа литературных источников [7, 9, 10, 11], следует отметить, что статические характеристики двигателя внутреннего сгорания могут быть адекватно описаны с помощью полиномов соответствующей степени. В исследовании [7] регрессионная модель удельного расхода топлива представлена в виде полинома 3-й степени в функции режимных параметров – эффективного давления p_e и числа оборотов n .

Дальнейшее построение математической модели проводилось среди полиномов соответствующей степени. Как показали расчеты, модель в виде полинома второй степени имеет высокие показатели адекватности.

Использование встроенного в MS Excel пакета анализа позволило получить следующую регрессионную модель:

$$g_e = 450,9772714 - 0,015532953n + 0,0000170545n^2 - 40,1645538p_e - 0,002058206np_e + 1,790825133p_e^2.$$

При этом коэффициент детерминации равен $R^2 = 0,909$, и так как $R^2 > 0,85$, можно сделать заключение о том, что модель адекватна. Достоверность уровня значимости по Фишеру (значимость $F = 6,57 \cdot 10^{-167}$) существенно меньше $0,05$, на основании чего делаем вывод: модель стати-

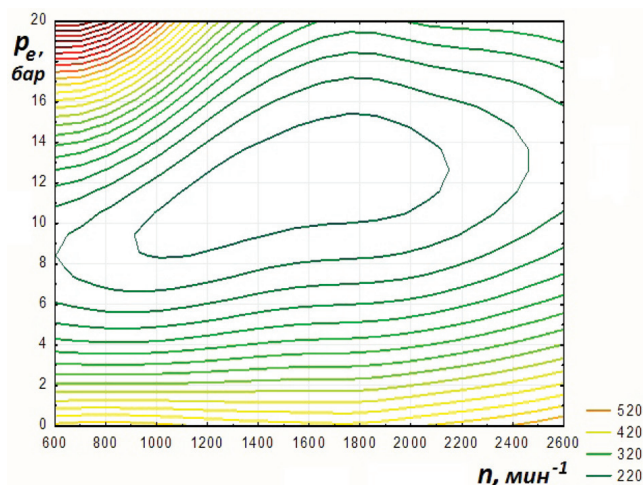


Рисунок 4. – Контурный график полинома второй степени

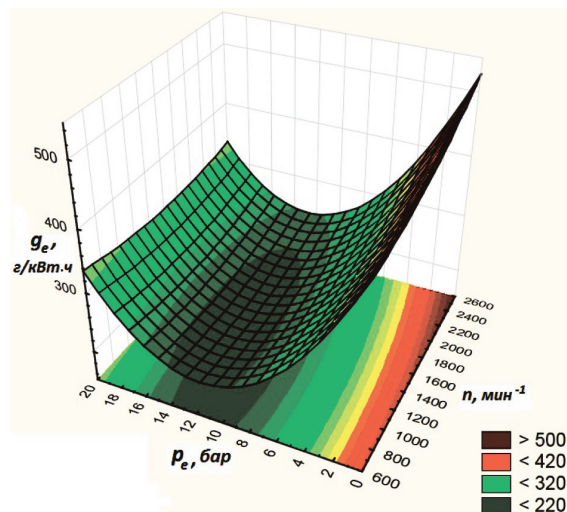


Рисунок 5. – Поверхность отклика полинома второй степени

стически значима. Далее выполнен более подробный расчет и рассчитан критерий Фишера. При этом коэффициент множественной смешанной корреляции равен 0,954573.

Построены графики полученной модели (рисунок 4 и 5).

Графические построения свидетельствуют о том, что с позиции обеспечения минимальных значений удельного эффективного расхода топлива и максимальных значений среднего эффективного давления целесообразно эксплуатировать рассматриваемый дизель с оборотами коленчатого вала в пределах 1150–1900 мин^{-1} . Оптимальной же областью по оборотам коленчатого вала следует считать 1400–1750 мин^{-1} , когда достигается работа с расходом топлива ниже 220 $\text{г/кВт}\cdot\text{ч}$ и значением среднего эффективного давления выше 12 бар.

Заключение

Установлено, что кривые удельного эффективного расхода топлива могут быть адекватно описаны с помощью регрессионной модели второй степени в функции эффективного давления и частоты вращения коленчатого вала двигателя Deutz BF06M1013FC, что позволяет определять оптимальные режимы работы. Приведенная модель второго порядка является существенным преимуществом, так как в ряде работ схожей направленности использованы уравнения третьей степени.

Полученные результаты в совокупности открывают дополнительные возможности посредством электронного блока управления, вырабатывающего управляющие сигналы, корректировать работу системы питания (дозирование подачи топлива) для перевода двигателя в наиболее экономичный режим.

Предложенная последовательность определения оптимальных режимов работы применима как для ДВС, устанавливаемых на тракторах и самоходных сельскохозяйственных машинах широкого диапазона мощности, так и для автомобильных. Также она позволяет добиться показателей работы ДВС, соответствующих минимальному удельному расходу топлива, и выполнить согласование с автоматическими трансмиссиями, которые повсеместно внедряются в конструкции современных мобильных сельскохозяйственных машин.

Литература

1. Якубович, А. И. Экономия топлива на тракторах: монография / А. И. Якубович, Г. М. Кухаренок, В. Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2009. – 229 с.
2. Якубович, А. И. Направления экономии топлива при эксплуатации трактора / А. И. Якубович, В. Е. Тарасенко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2008. – № 1 (2). – С. 38–41.
3. Двигатели внутреннего сгорания: теория рабочих процессов: учеб. для вузов: в 3 кн. / В. Н. Луканин [и др.]; под ред. В. Н. Луканина и М. Г. Шатрова. – 3-е изд., перераб. и испр. – М.: Высшая школа, 2007. – Кн. 1. – 479 с.

4. 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.
5. Шумовский, В. А. Улучшение показателей транспортного дизеля путем совершенствования процессов распыливания топлива и смесеобразования: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / В. А. Шумовский. – Москва, 2016. – 165 с.
6. Тарасенко, В. Е. Анализ топливных систем дизелей с электронным управлением топливоподачей / В. Е. Тарасенко, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2016. – Вып. 50. – С. 52–57.
7. Durković, R. Regression models of specific fuel consumption curves and characteristics of economic operation of internal combustion engines / R. Durković, M. Damjanović // Mechanical Engineering. – 2006. – Vol. 4, № 1. – Pp. 17–26.
8. Кухаренок, Г. М. Теория рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания. Лабораторный практикум / Г. М. Кухаренок, А. Н. Петрученко, И. К. Русецкий. – Минск: БНТУ, 2005. – 55 с.
9. Крутов, В. И. Двигатель внутреннего сгорания как регулируемый объект / В. И. Крутов. – М.: Машиностроение, 1978. – 472 с.
10. Durković, R. Matematical models of tractor driving system and traction efficiency / R. Durković, M. Damjanović // European Automotive Congress – EAEC 2005, Technical sessions powertrain, Beograd, 2005. – Pp. 1–12.
11. Крутов, В. И. Автоматическое регулирование и управление двигателями внутреннего сгорания / В. И. Крутов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 416 с.

УДК 621.436.004.67

Поступила в редакцию 21.09.2017

Received 21.09.2017

В. Г. Андруш, Л. А. Хвощинская

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: andrush.v.g@gmail.com; e-mail: ludmila.ark@gmail.com;

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ УСТАНОВЛЕНИИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОБКАТКИ ДВИГАТЕЛЕЙ

В статье получены формула определения необходимой продолжительности обкатки в зависимости от средней скорости изменения мощности механических потерь, мощности механических потерь в начале обкатки и температуры масла, а также алгоритм селективного установления продолжительности режимов приработки, что позволяет сократить среднее время обкатки не менее чем на 15 % с экономией топливно-энергетических ресурсов по сравнению с рациональным режимом.

Ключевые слова: ремонт, дизель, обкатка стендовая, контроль, техническое состояние, мощность, механические потери, режим, приработка.

V. G. Andrush, L. A. Hvoschinskaya

Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: andrush.v.g@gmail.com; e-mail: ludmila.ark@gmail.com;

RESOURCE CONSERVATION BY THE SELECTIVE SETTING OF THE LENGTH OF THE RUNNING ENGINES

Was obtained formula for determining the necessary duration of running in depending the average speed of changing of mechanical losses power, the mechanical losses power at the beginning of running in, the oil temperature. The algorithm for selective establishing the duration of the regime of diesel engine alignment has been obtained. All this allows to decrease the average duration of the after repair stand running in not less than 15 % with fuel-energy resources saving in comparison with the rational mode.

Keywords: repair, diesel, stand running in, control, technical state, power, mechanical losses, regime, alignment.

Введение

В сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь эксплуатируется около 80 тысяч дизельных двигателей, в том числе: на тракторах – 41 тыс., зерноуборочных комбайнах – 10 тыс., автомобилях – 20 тыс., кормоуборочных комбайнах и другой специальной технике – 9 тыс. [1].

Если учесть, что количество отказов и неисправностей двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в структуре отказов для отдельных машин достигает 35–55 % [2], а удельный вес отремонтированных машин – 70–80 % при моторесурсе, составляющем до 80 % от ресурса новых, то по-прежнему остается актуальной задача повышения качества ремонта двигателей и снижения расхода топливно-энергетических ресурсов [3].

Отношение стоимости капитального ремонта машины к цене новой уменьшилось в последнее время с 30–40 до 20–28 %, а двигателей – с 40–60 до 22–30 %.

За рубежом, несмотря на достаточное количество автотракторных средств, вопросам ремонтно-восстановительных работ придается серьезное значение. Например, в США в настоящее время ремонтно-восстановительными работами занимаются 30 тыс. авторемонтных заводов [4].

Доходы от работ по капитальному ремонту и модернизации дизельных двигателей позволили руководству компании Caterpillar создать новое отделение, ежегодная выручка которого достигла 1 млрд долларов [5].

Обкатка – важнейшая завершающая технологическая операция ремонта автотракторного двигателя. Цель обкатки – не только в подготовке поверхностей трения к восприятию эксплуатационных нагрузок, но и в выявлении и устранении дефектов деталей, сборки и регулировки сопряжений.

За счет проведения высококачественной обкатки на ремонтном предприятии межремонтный срок службы двигателя увеличивается на 8–36 %. В то же время проведение обкатки требует значительных трудозатрат и расхода горюче-смазочных материалов, поэтому необходимо проводить исследования по сокращению времени обкатки двигателей без снижения качества приработки трущихся поверхностей [6].

Основная часть

В качестве показателя качества приработки двигателя принимается количественная мера, характеризующая степень близости его технического состояния к состоянию «полностью приработанного», то есть двигателя с незначительной наработкой, основные параметры которого (мощность механических потерь, удельный расход топлива, расход масла на угар и др.) стабилизировались и при эксплуатации не будут изменяться в сторону улучшения.

Для объективной оценки качества приработки важно правильно выбрать базовые значения соответствующих параметров. Наиболее просто и точно этот вопрос решается при наличии достаточного количества экспериментальных данных о значениях соответствующих параметров для полностью приработанных двигателей. В этом случае в качестве базового значения принимаются модальные значения параметров в имеющейся выборке, если предварительно проверена однородность этих данных с помощью статистических критериев.

Следует отметить, что автотракторные дизели после ремонта имеют значительный разброс параметров, поэтому и время приработки двигателей будет неодинаковым. Существующие режимы обкатки рассчитаны на двигатель после ремонта с усредненными выходными параметрами, без учета индивидуальных показателей. И, как показывает практика, некоторые двигатели достигают состояния обкатанных за более короткое время, а отдельные, с большой мощностью механических потерь в начале обкатки, не успевают приработаться, перегреваются и даже выходят из строя – заклинивают.

Индивидуализация обкатки позволяет определить время окончания приработки двигателей, своевременно перейти на очередную ступень и закончить обкатку.

В качестве информационного параметра приработанности трущихся поверхностей деталей обкатываемого двигателя выбрана мощность механических потерь, которая определяется по показанию весового механизма обкаточного стенда методом прокручивания коленчатого вала от электродвигателя. Для упрощения алгоритма и устройства управления обкаткой мощность механических потерь можно определять на фиксированной частоте вращения.

Исследования показали, что на мощность механических потерь в процессе обкатки, кроме частоты вращения, наибольшее влияние оказывают мощность механических потерь в начальный момент обкатки, температура масла и средняя скорость изменения мощности механических потерь [7].

Поэтому была поставлена задача получения уравнения, описывающего изменение мощности механических потерь $N_{мп}$ в процессе обкатки в зависимости от времени обкатки τ , мощности механических потерь в начальный момент обкатки $N_{мп0}$, температуры масла T_m и средней скорости изменения мощности механических потерь $\bar{V}$ в процессе обкатки.

В условиях Минского авторемонтного завода исследованы закономерности изменения параметров дизелей ЯМЗ-236М в процессе обкатки по четырем известным режимам продолжительностью 95, 110, 125 и 180 минут. Полученные экспериментальные данные приведены в таблицах 1–4.

Таблица 1. – Параметры двигателя в процессе обкатки по режиму продолжительностью 180 минут ($\bar{V} = 17 \text{ Вт/мин}$)

Наименование показателей				
Вариант опыта A_i	Время обкатки τ , мин	Температура масла T_m , °C	Мощность механических потерь в начале обкатки $N_{мп0}$, кВт	Мощность механических потерь в конце обкатки $N_{мп}$, кВт
A_1	0	49	8,25	8,25
A_2	0	50	8,92	8,92
A_3	0	52	9,92	9,92
A_4	40	63	8,25	7,84
A_5	40	64	8,92	8,36
A_6	40	66	9,92	9,32
A_7	80	76	8,25	6,73
A_8	80	77	8,92	7,25
A_9	80	79	9,92	8,47
A_{10}	120	88	8,25	5,95
A_{11}	120	89	8,92	6,28
A_{12}	120	92	9,92	7,46
A_{13}	180	97	8,25	5,48
A_{14}	180	98	8,92	5,91
A_{15}	180	99	9,92	6,63

Таблица 2. – Параметры двигателя при обкатке по режиму продолжительностью 125 минут ($\bar{V} = 21 \text{ Вт/мин}$)

Наименование показателей				
Вариант опыта B_i	Время обкатки τ , мин	Температура масла T_m , °C	Мощность механических потерь в начале обкатки $N_{мп0}$, кВт	Мощность механических потерь в конце обкатки $N_{мп}$, кВт
B_1	0	49	8,18	8,18
B_2	0	52	8,90	8,90
B_3	0	51	9,66	9,66
B_4	40	58	8,18	7,62
B_5	40	70	8,90	7,80
B_6	40	66	9,66	8,47
B_7	80	73	8,18	6,59
B_8	80	84	8,90	6,81
B_9	80	82	9,66	7,44
B_{10}	120	94	8,18	5,81
B_{11}	120	98	8,90	6,35
B_{12}	120	98	9,66	6,95
B_{13}	125	99	8,18	5,74
B_{14}	125	100	8,90	6,25
B_{15}	125	100	9,66	6,84

Таблица 3. – Параметры двигателя при обкатке по режиму продолжительностью 110 минут ($\bar{v} = 25 \text{ Вт/мин}$)

Наименование показателей				
Вариант опыта C_i	Время обкатки τ , мин	Температура масла T_m , °C	Мощность механических потерь в начале обкатки $N_{мн0}$, кВт	Мощность механических потерь в конце обкатки $N_{мк}$, кВт
C_1	0	52	8,51	8,51
C_2	0	50	9,32	9,32
C_3	0	49	10,14	10,14
C_4	40	72	8,51	7,96
C_5	40	71	9,32	8,92
C_6	40	71	10,14	9,21
C_7	80	88	8,51	9,32
C_8	80	91	9,32	6,99
C_9	80	95	10,14	7,90
C_{10}	110	100	8,51	6,09
C_{11}	110	100	9,32	6,62
C_{12}	110	101	10,14	7,22

Таблица 4. – Параметры двигателя в процессе обкатки по режиму продолжительностью 95 минут ($\bar{v} = 28 \text{ Вт/мин}$)

Наименование показателей				
Вариант опыта D_i	Время обкатки τ , мин	Температура масла T_m , °C	Мощность механических потерь в начале обкатки $N_{мн0}$, кВт	Мощность механических потерь в конце обкатки $N_{мк}$, кВт
D_1	0	54	8,47	8,47
D_2	0	52	9,19	9,19
D_3	0	52	9,95	9,95
D_4	40	73	8,47	7,34
D_5	40	76	9,19	8,04
D_6	40	74	9,95	8,72
D_7	80	94	8,47	6,23
D_8	80	94	9,19	6,88
D_9	80	95	9,95	7,46
D_{10}	95	100	8,47	6,00
D_{11}	95	100	9,19	6,55
D_{12}	95	100	9,95	7,18

Проведенные исследования [8] показали, что для двигателей, прошедших обкатку по различным технологиям, изменяется скорость изменения параметров, а характер их взаимосвязи в процессе обкатки остается практически постоянным.

Различные режимы обкатки двигателей характеризуются средней скоростью $\bar{v}$ (Вт/мин) изменения мощности механических потерь в процессе обкатки, которую можно определить по формуле:

$$\bar{v} = \frac{(N_{мн0} - N_{мк}) \cdot 10^3}{\tau_{об}},$$

где $N_{мн0}$ – мощность механических потерь в начале обкатки, кВт;

$N_{мк}$ – мощность механических потерь в конце обкатки, кВт;

$\tau_{об}$ – время обкатки, мин.

Найдем скорости изменения режимов обкатки v_n^* на каждом из временных интервалов $[\tau_n, \tau_{n+1}]$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) по формуле:

$$v_n^* = \frac{(N_{mn} - N_{mn+1}) \cdot 10^3}{\tau_{n+1} - \tau_n}, \quad (1)$$

где N_{mn} , N_{mn+1} – мощность механических потерь в соответствующих точках, кВт;

τ_n , τ_{n+1} – границы временных промежутков, мин.

Так как значение мощности механических потерь через вязкость зависит от температуры масла в процессе обкатки, которая, в свою очередь, зависит от температуры в начале обкатки, введем новую переменную T , равную разности между текущим и начальным значениями температуры масла.

$$T = T_m - T_{m0},$$

где T_{m0} – температура масла в начале обкатки, °С.

Среднее значение v^* для исследуемых режимов за весь промежуток обкатки равно $\bar{v} = 17; 21; 25; 28$ (Вт/мин).

Для каждого из четырех режимов построим интерполяционную формулу зависимости мощности механических потерь от начальной мощности N_{mn0} , времени τ , разности температур масла T и средней скорости изменения мощности механических потерь $\bar{v}$.

Поскольку переменная $\bar{v}$ принимает четыре значения, соответствующие четырем сравниваемым режимам обкатки, то, рассматривая ее как функцию переменных τ , T_m и N_{mn} , построим поверхности уровня этой функции, соответствующие четырем заданным значениям: $\bar{v} = 17$, $\bar{v} = 21$, $\bar{v} = 25$, $\bar{v} = 28$ Вт/мин (см. таблицы 1–4). Линейную интерполяцию функции N_{mn} как функции двух переменных τ и T_m (при фиксированном $\bar{v}$) проводим по формуле, аналогичной формуле [9, с. 59] для функции вида $z = f(x, y)$:

$$z = \frac{\Delta_0 - \Delta_1 x - \Delta_2 y}{\Delta_3},$$

$$\text{где } \Delta_0 = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{vmatrix}, \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} 1 & y_1 & z_1 \\ 1 & y_2 & z_2 \\ 1 & y_3 & z_3 \end{vmatrix}, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} x_1 & 1 & z_1 \\ x_2 & 1 & z_2 \\ x_3 & 1 & z_3 \end{vmatrix}, \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix};$$

(x_k, y_k, z_k) , $k = 1; 2; 3$ – координаты узлов интерполирования.

В результате мы получили четыре цепочки плоскостей [7].

Рассматривая функцию $x_n = f(x_1, x_2, \dots, x_{n-1})$ ($n-1$ переменных, можно аналогично получить интерполяционную формулу:

$$u = \frac{\Delta_0 - x_1 \Delta_1 - x_2 \Delta_2 - \dots - x_{n-1} \Delta_{n-1}}{\Delta_n}, \quad (2)$$

$$\text{где } \Delta_0 = \begin{vmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nn} \end{vmatrix};$$

$(x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kn})$ $k = 1, \dots, n$ – координаты узлов интерполирования, а определители Δ_k ($k = 1, \dots, n-1$) получаются из Δ_0 путем замены k -го столбца столбцом из единиц. При выводе этой формулы используется метод математической индукции. Выберем в качестве узлов интерполирования следующие точки:

- при $\bar{v} = 17$ Вт/мин – точки A_5, A_8, A_{12}, A_{15} ;
- при $\bar{v} = 21$ Вт/мин – точки B_5, B_8, B_{11}, B_{13} ;
- при $\bar{v} = 25$ Вт/мин – точки C_6, C_9, C_{10}, C_{12} ;
- при $\bar{v} = 28$ Вт/мин – точки D_6, D_8, D_9, D_{12} .

Получаем четыре интерполяционные формулы, описывающие мощность механических потерь $N_{mn}^{(1)}, N_{mn}^{(2)}, N_{mn}^{(3)}, N_{mn}^{(4)}$ для каждого из четырех режимов:

$$\begin{aligned} N_{mn}^{(1)} &= N_{mn0} \cdot (1.07 - 0.0028 \cdot \tau + 0.0027 \cdot T - 0.0041 \cdot \bar{v}^*); \\ N_{mn}^{(2)} &= N_{mn0} \cdot (1.10 - 0.0058 \cdot \tau + 0.0089 \cdot T - 0.0048 \cdot \bar{v}^*); \\ N_{mn}^{(3)} &= N_{mn0} \cdot (1.04 - 0.0020 \cdot \tau - 0.0020 \cdot T - 0.0007 \cdot \bar{v}^*); \\ N_{mn}^{(4)} &= N_{mn0} \cdot (1.03 + 0.0020 \cdot \tau - 0.0100 \cdot T - 0.0009 \cdot \bar{v}^*). \end{aligned} \quad (3)$$

Поскольку в процессе обкатки скорость изменения режимов является кусочно-постоянной, то формулы (3) можно использовать для определения мощности механических потерь в процессе обкатки в любой момент времени, при этом скорость $\bar{v}$ берем равной средней скорости изменения мощности механических потерь на соответствующем временном промежутке (формула (1)).

Кроме этого, формулы (3) мы можем использовать для выбора наиболее подходящего режима обкатки из данных четырех режимов.

Однако формулы (3) не позволяют непосредственно назначить режимы, в конце которых мощность механических потерь достигает значения, соответствующего области обкатанных $N_{mn\text{ об}} = 6,83 \text{ кВт}$. Поэтому важным является определение необходимого времени обкатки.

Выведем универсальную для всех четырех режимов интерполяционную формулу, описывающую зависимость изменения мощности механических потерь N_{mn} от времени τ , температуры масла $T = T_m - T_{m0}$, средней скорости изменения мощности механических потерь $\bar{v}$ и мощности механических потерь в начале обкатки N_{mn0} . Используем данные таблиц 1–4.

Выбирая в качестве узлов интерполирования точки $D_{11}, C_{11}, B_{11}, A_{11}, A_{14}$ и используя формулу (2), получим интерполяционную формулу:

$$N_{mn} = 0,452 \cdot N_{mn0} - 0,008 \cdot \tau - 0,015 \cdot T - 0,019 \cdot \bar{v} + 4,618. \quad (4)$$

Эта формула является универсальной для всех режимов обкатки при $\tau > 40 \text{ мин}$.

Проверка точности описания уравнением (4) экспериментальных данных проводилась подстановкой в данное уравнение координат промежуточных точек для получения расчетных значений N_{mn} . Сравнение показало, что рассчитанные значения мощности механических потерь отличались от экспериментальных результатов менее чем на 5 %.

Выразим из формулы (4) переменную τ – время обкатки (мин):

$$\tau = 56,5 \cdot N_{mn0} - 1,875 \cdot T - 2,375 \cdot \bar{v} + 577,25 - 125 \cdot N_{mn}.$$

Учитывая, что $T = T_m - T_{m0}$, а в конце обкатки двигателя, соответствующие области обкатанных, имеют значение $T_m = 99 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ и $N_{mn} = N_{mn\text{ об}} = 6,83 \text{ кВт}$, получим формулу определения необходимой длительности обкатки до достижения требуемого качества приработанности деталей, соответствующего обкатанным, в зависимости от средней скорости изменения мощности механических потерь (выбранного режима обкатки, рационального для данного производства), мощности механических потерь в начале обкатки и температуры масла:

$$\tau = 56,5 \cdot N_{mn0} - 2,375 \cdot \bar{v} + 1,875 \cdot T_{m0} - 462,125.$$

Для наиболее рационального режима с $\bar{v} = 28 \text{ Вт/мин}$ время приработки составит:

$$\tau = 56,5 \cdot N_{mn0} + 1,875 \cdot T_{m0} - 528,625. \quad (5)$$

Заключение

Используя формулу (5), определяем время, необходимое для обкатки двигателей по наиболее рациональному режиму с $\bar{v} = 28 \text{ Вт/мин}$, по данным таблицы 4.

Назначая продолжительность приработки для каждого двигателя по предложенному алгоритму, среднее время обкатки можно сократить не менее чем на 15 % по сравнению с рациональным режимом.

Аналогично, используя формулу (3) или (4), можем определить по начальной мощности механических потерь и температуре масла необходимую продолжительность обкатки и для других, более длительных режимов, с $\bar{v} < 28 \text{ Вт/мин}$, при этом сокращение длительности будет более чем на 30 %.

Для предприятия с годовой программой ремонта 697 двигателей чистый дисконтированный доход составляет 1517 у. е., срок возврата капитальных вложений – 2,1 года при годовой экономии 2,4 тонны дизтоплива и 12616 кВт·ч электроэнергии.

Литература

1. Сельское хозяйство: статистический сборник. – Минск: РУП «ИВЦ Национального статистического комитета РБ», 2017. – 232 с.
2. Коваленко, Н. А. Техническая эксплуатация автомобилей / Н. А. Коваленко, В. П. Лобах, Н. В. Вепринцев. – Минск: Новое знание, 2008. – 352 с.
3. Соловьев, Р. Ю. Современная концепция обслуживания и ремонта / Р. Ю. Соловьев, В. М. Михлин, А. В. Колчин // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 1. – С. 12–15.
4. Петросов, В. В. Ремонт автомобилей и двигателей: учебник / В. В. Петросов. – 8-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 224 с.
5. Модернизация изношенных двигателей фирмы «Caterpillar» // Техника и оборудование для села. – 2007. – № 2. – С. 39.
6. Стрельцов, В. В. Ресурсосберегающая ускоренная обкатка отремонтированных двигателей / В. В. Стрельцов, В. Н. Попов, В. Ф. Карпенков. – М.: Колос, 1995. – 175 с.
7. Исследование мощности механических потерь в зависимости от времени, температуры масла и скорости изменения режимов обкатки / Л. И. Бурганская [и др.] // Агропанорама. – 2006. – № 1. – С. 27–31.
8. Трубилов, А. К. Безразборная оценка послеремонтного ресурса автотракторных дизелей по комплексному критерию качества в период 60-часовой стендовой обкатки: дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / А. К. Трубилов. – Минск, 1999. – 206 л.
9. Турчак, Л. И. Основы численных методов / Л. И. Турчак, П. В. Плотников // Москва: Физматлит, 2002. – 374 с.

УДК 631.3 (075.8)

Поступила в редакцию 17.11.2017

Received 17.11.2017

В. В. Мирутко, Е. В. Семин, А. С. Гуль

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: kauzzz@yandex.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ДВИГАТЕЛЯ И ЕГО ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ

В статье обоснована комбинированная схема очистки двигателя и его деталей на основе гидродинамической очистки высоконапорным аппаратом с комплектом специальных адаптеров и биоразлагаемых технических моющих средств. Основной целью работы является разработка ресурсосберегающей технологии очистки двигателя и его деталей при ремонте, наиболее полно отвечающей техническим, санитарным, экологическим требованиям и экономическим возможностям ремонтно-обслуживающих предприятий АПК.

Ключевые слова: двигатель, очистка, загрязнения, моечная установка.

V. V. Mirutko, E. V. Siomin, A. S. Gul

Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: kauzzz@yandex.ru

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF CLEANING OF ENGINE AND PARTS DURING REPAIR

In the article combined scheme of purification of the engine and its parts based on hydrodynamic high-pressure cleaning apparatus with a set of special adapters technical and biodegradable detergents. The main goal of this work is development of resource-saving technology of cleaning of the engine and its parts for the repair,

most fully meet the technical, sanitary and ecological requirements and economic possibilities of repair-serving enterprises of agroindustrial complex.

Keywords: engine, cleaning, contamination, washing machine.

Введение

Очистка двигателя и его деталей от загрязнений является одним из важнейших факторов, влияющих на ресурс отремонтированного двигателя. От совершенства технологии и моечных установок зависят качество очистки изделий, производительность труда, культура производства, безошибочный контроль, дефектация деталей и в конечном счете себестоимость как процесса очистки, так и всего ремонта двигателя в целом. Работы по очистке двигателя и его деталей остаются наиболее трудоемкими, малоэффективными и экологически небезопасными. Некачественная очистка блоков цилиндров и их головок от нагара и накипи приводит к снижению эффективной мощности двигателей на 5–8 %, увеличению расхода горюче-смазочных материалов на 10–20 %. Из-за некачественной очистки деталей в процессе сборки дизелей послеремонтный ресурс снижается на 25–30 % [1].

Анализ существующих технологий очистки двигателя и его деталей при ремонте и обоснование технических средств обеспечения

Изучение состояния вопроса по рассматриваемой проблеме [1–6] указывает на зависимость технологии очистки двигателя и его деталей при ремонте и технических средств ее обеспечения от вида и места проводимого ремонта. Наибольшую трудоемкость и повышенные требования к качеству очистки имеют технологии очистки двигателя и его деталей при проведении капитального ремонта. При этом качество очистки основных деталей (блока и головки блока цилиндров, коленчатого и распределительного валов, гильзы, поршня, шатуна) является одним из основных факторов, определяющих уровень технологии ремонта двигателей. На их поверхности образуются многочисленные загрязнения: эксплуатационные – нагар, накипь, асфальто-смолистые и лаковые отложения (осадки), продукты износа и коррозии, остатки лакокрасочных покрытий; технологические – стружка, окалина, притирочные пасты, остатки эмульсии, абразив, пыль и др. Рекомендуемые к применению моющие средства достаточно эффективны, но, несмотря на это, ни одно из них не может удалить весь спектр загрязнений одновременно. Поэтому по типовым технологиям базовые детали двигателей подвергают сложной многостадийной очистке.

Проблема очистки двигателя и его деталей при ремонте усложняется также наличием большого спектра удаляемых загрязнений, имеющих различные свойства и способы удаления, при необходимости выполнения жестких технических, санитарных и экологических требований. Это можно проследить, проанализировав приведенные ниже способы удаления различных типов загрязнений.

Очистка от нагара. Наиболее сложно и трудоемко очищать детали от нагара, так как он содержит нерастворимые и малорастворимые компоненты. Нагар удаляют различными способами: механическим – шабером, стальными щетками и т.п.; термическим – нагрев деталей до 600–700 °С и постепенное охлаждение вместе с печью; струйным; химико-термическим и другими. При гидроабразивной очистке на нагар воздействуют струей воды с кварцевым песком. Основным энергоносителем является сжатый воздух, который увлекает абразивную жидкость и с большой скоростью выбрасывает ее на деталь. Лучшие результаты по удалению нагара дает струйная очистка косточковой крошкой, флюсом, аморфным стеклом, чугуновой крошкой. Флюсы, в отличие от косточковой крошки, можно многократно использовать. Загрязненный флюс очищают прокаливанием при температуре 200–250 °С. Химические способы очистки деталей от нагара малопродуктивны и не обеспечивают полного его удаления, особенно с деталей сложной конфигурации.

Очистка от накипи. При использовании в двигателях в качестве охлаждающей жидкости жесткой воды на стенках водяных рубашек образуется накипь – твердый нерастворимый осадок. Отложение накипи отрицательно сказывается на работе двигателей. Так, при толщине накипи

около одного миллиметра температура внутренних стенок цилиндров повышается на 25 °С, что увеличивает их износ на 12 %. Накипь настолько прочно пристает к стенкам водяной рубашки, что для ее удаления необходимо применять специальные химические реактивы. Накипь образуется при нагреве воды в основном из солей кальция и магния в виде бикарбонатов $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$.

Наиболее эффективным средством удаления накипи (и продуктов коррозии), как установлено в работах МГАУ, является состав МСД-1: оксиэтилидендифосфоновая кислота – 10–40 г/л и тиомочевина – 0,78–2 г/л. Последний используется в качестве ингибитора. Время очистки зависит от толщины отложений и концентрации раствора и не превышает 5 часов. При ежегодной промывке системы охлаждения концентрация составляет 10 г/л. При очистке от накипи отдельных деталей при ремонте двигателей концентрацию кислоты доводят до 40 г/л. Алюминиевые детали от накипи очищают в водном растворе технического тринола (20 г/л). Украинская сельскохозяйственная академия предложила экологически чистые жидкости МОС-1 и МОС-2, позволяющие эффективно выполнять очистку систем охлаждения двигателей от накипи при их эксплуатации.

Удаление асфальто-смолистых отложений. Погружная очистка является одним из основных способов очистки базовых деталей двигателей в типовых технологиях моторных ремонтных заводов (МРЗ) при капитальном ремонте. Погружные машины позволяют эффективно и качественно очищать детали от асфальто-смолистых отложений за счет создания турбулентных потоков при температуре 90–100 °С. Турбулентные потоки создаются вибрацией маятниковыми колебаниями платформ очистных машин – ротор-активаторными и лопастными винтами, затопленными пульсирующими струями с переменными направлениями, скоростями, давлением, барботажем горячим воздухом, паром и другими способами, что исключает образование застойных зон (в карманах, выступах, впадинах и др.) и тем самым повышает качество очистки корпусных деталей. В исследованиях ГОСНИТИ, МГАУ, ВНИИПАВ установлено [1–3], что качество погружной очистки изделий возрастает в зависимости от способа ее интенсификации в такой последовательности: прямолинейные возвратно-поступательные колебания деталей в растворе; маятниковые колебания деталей; использование лопастного винта; использование ротора-активатора и роторная очистка (периодические вынос и окунание деталей). Последние два способа интенсификации погружной очистки практически равноценны. И все же предпочтение рекомендуют отдавать ротор-активаторному способу по причине использования моечных машин меньших габаритов. Там же, где используются машины с лопастными винтами, их рекомендуют заменить роторами-активаторами. Осадки, отлагающиеся на стенках картеров, представляют собой липкую массу, состоящую из масла (50–85 %), воды (3–35 %), топлива (1–7 %), продуктов износа, золы, сажи и других веществ. Удаление осадков обычно не вызывает особых затруднений.

Очистка масляных каналов. Полости шатунных шеек коленчатых валов тракторных двигателей часто наполнены наполовину, а порою забиты полностью отложениями, которые плотно пристаю к поверхностям. Чтобы удалить их, вывертывают пробки, вручную очищают полости шатунных шеек, используя наставки, выколотки, отвертки, металлические и капроновые ершики. Капроновыми ершиками удаляют загрязнения из масляных каналов, которые обычно на 50–75 % забиты осадками. Каналы продувают сжатым воздухом. Аналогично очищают масляные каналы в блоках цилиндров. После ручной очистки полостей и масляных каналов коленчатые валы (блоки, шатуны) направляют на выварку в погружные ванны (с открытыми полостями шатунных шеек, а блоки цилиндров – со снятыми крышками коренных подшипников, очистку которых выполняют отдельно). Изделия, прошедшие выварку, дополнительно вручную очищают, разрыхляют возможные остатки отложений в каналах, полостях и продувают их сжатым воздухом. После этого изделия направляют на циркуляционную очистку полостей и масляных каналов. Для базовых деталей применяют трудоемкую и энергоемкую циркуляционную очистку масляных каналов (коленчатых валов и блоков цилиндров) на специальных, спроектированных для этих целей установках, например на СЦ-1, СЦ-7, АЛ-3, при температуре 80–90 °С в течение 10–15 мин моющими растворами МС-8, МС-15А при давлении 0,3–0,6 МПа. Перед сборкой по типовым технологиям масляные каналы блоков цилиндров, коленчатых валов и шатунов должны

пройти дополнительную очистку от технологических загрязнений в моечных машинах типа ОМ-3600 пульсирующим потоком моющего раствора под давлением 1–6 МПа в течение 10–15 мин. Для промывки масляных каналов можно использовать растворы МС-8, МС-15А концентрацией 15–20 г/л. Моечная машина ОМ-3600 укомплектована набором приспособлений специально для очистки масляных каналов коленчатых валов и блоков.

Удаление продуктов коррозии. Очистку деталей от коррозии выполняют механическим или химическим методом. Механическую очистку деталей выполняют стальными проволочными щетками, струйной очисткой – кварцевым песком, металлической крошкой, дробью и др. При удалении коррозии проволочной щеткой ее смачивают в 2–5 %-ном растворе соды. При химическом способе удаления коррозии обычно применяют кислотные растворы (травление). Перед травлением детали очищают (обезжиривают) в выварочных ваннах. Для химического удаления продуктов коррозии чаще всего используют 10 %-ный и 50 %-ный растворы ингибированной соляной кислоты. Ингибированные растворы соляной кислоты утрачивают свою агрессивность к стальным и чугунным деталям. Травление детали в 10 %-ном растворе выполняют при температуре 80–90 °С в течение 10–40 мин. Для удаления окислов и осветления поверхности деталей из чугуна и стали их обрабатывают в 50 %-ном растворе ингибированной соляной кислоты при 50–60 °С в течение 5–10 мин. После травления детали промывают в растворе кальцинированной соды (3–5 г/л), тринатрийфосфата (1,5–2 г/л) при температуре 80–90 °С в течение 5–10 мин.

Удаление старой краски. Старую краску удаляют чаще всего в щелочных растворах каустической соды концентрацией 80–100 г/л при температуре 80–90 °С. Время обработки – 60–90 мин, затем детали промывают в горячей воде. Далее детали пассивируют в растворе нитрата натрия концентрацией 5 г/л при температуре 50–60 °С.

Расконсервацию деталей рекомендуется производить в специальных герметичных камерах-банях, в которые подается горячий воздух (50–70 °С). Консервирующая смазка под воздействием горячего воздуха размягчается и стекает в поддоны. Затем на изделие подается горячий раствор моющей жидкости, которая смывает остатки смазки. Перед поступлением на сборку детали ополаскивают в растворах «Темп», МС-6, «Лабомид-101» концентрацией 5–10 г/л, температура 75–85 °С, время 5–10 мин.

Результаты исследований

Приведенный выше материал указывает на многовариантность решения задачи разработки ресурсосберегающей технологии очистки двигателя и его деталей при ремонте для различных уровней ремонтно-обслуживающей базы (РОБ) АПК: МРЗ, мастерских общего назначения (МОН) райагросервисов, райагропромтехник и центральных ремонтных мастерских (ЦРМ) крупных коллективных хозяйств.

В типовых технологиях очистки двигателя и его деталей используется достаточно широкий спектр различных моечных машин, суммарная стоимость которых неоправданно велика и не по карману многим ремонтно-обслуживающим предприятиям, включая специализированные мотороремонтные заводы. Для обоснованного выбора технологии и технических средств обеспечения при разработке ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий очистки целесообразно использовать следующие рекомендации:

- обеспечить соответствие видов и массогабаритных показателей объектов очистки способу очистки, типу и производительности моечно-очистных машин;
- использовать универсальные высоконапорные моечные аппараты фирм Karcher и др. с комплектом специальных приспособлений и принадлежностей, расширяющих их функциональные возможности (гидрокавитационный насадок, гидродинамический насадок, турбофреза, щетки и т. д.);
- применять моечные машины нового поколения с быстроизменяемыми очищающими средами;
- применять альтернативные гидроочистке методы: ледоструйную, ультразвуковую очистку, полиэтиленовой или металлической дробью, песком, косточковой или фарфоровой крошкой и т. д.;

- использовать моечные машины погружного типа, камерные и другие периодически – по мере накопления обслуживаемого фонда;
- использовать межсменное время для вымачивания изделий в специальных технических моющих растворах для удаления прочнофиксированных загрязнений – асфальтосмолистых, нагара, накали, ржавчины и др.;
- применять низкотемпературные и биологически хорошо разлагаемые технические средства типа «Сириус» и др.;

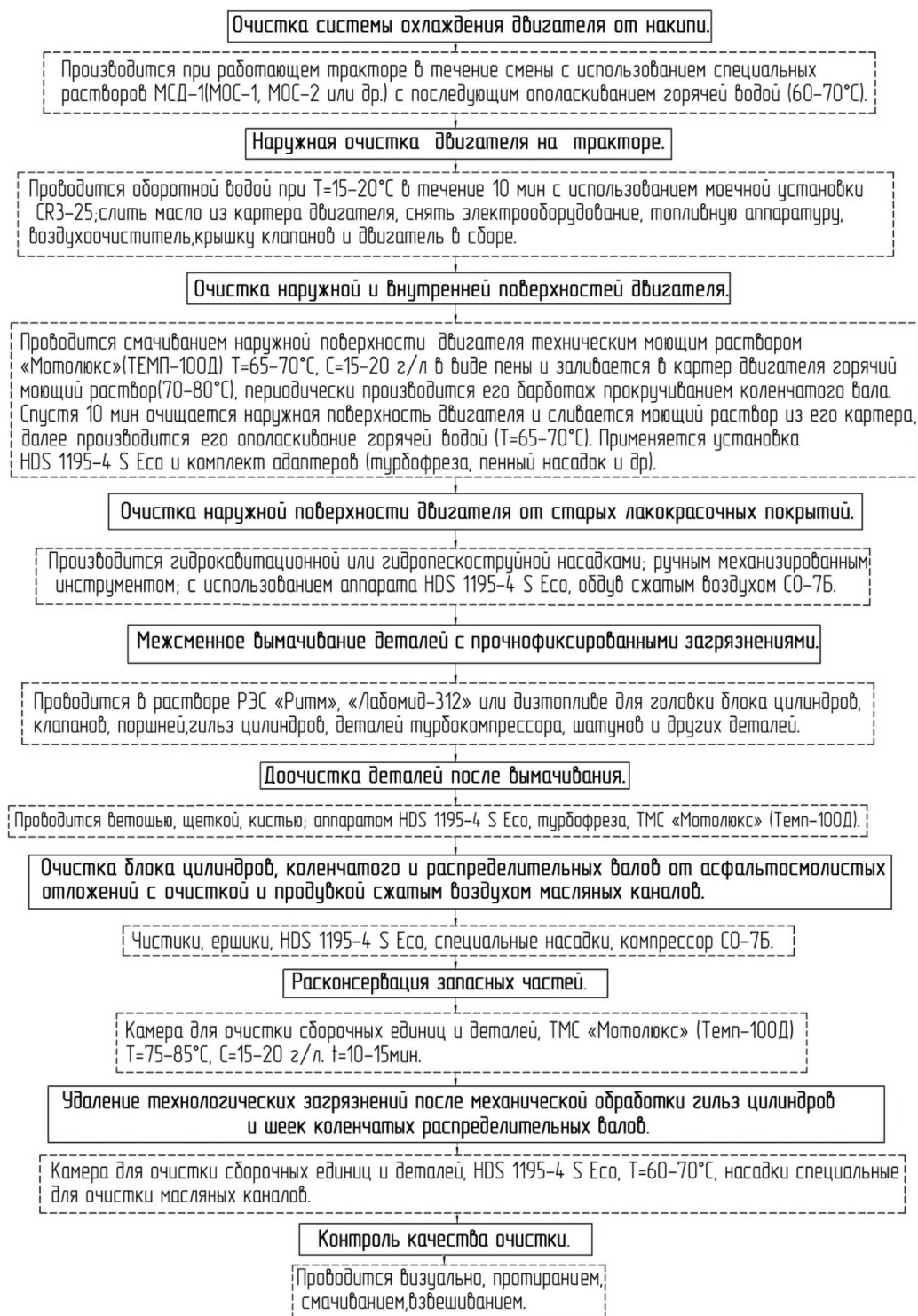


Рисунок 1. – Схема технологического процесса очистки двигателя и его деталей при ремонте

- применять специальные средства, предотвращающие или уменьшающие адгезию загрязнений, к поверхностям объектов очистки;
- применять эффективные средства контроля технологических режимов работы моечных машин и качественного состава очищающих сред.

Критериями оценки разрабатываемых технологий очистки являются: производительность очистки, степень очистки поверхностей изделий, трудоемкость очистки, себестоимость очистки, включая удельные расходы воды, топлива, моющих средств, электроэнергии. Виды удаляемых загрязнений, продолжительность выхода на оптимальный режим работы, соотношение массы моечной установки и обслуживаемых объектов очистки, количественный и качественный состав образующихся отходов, степень их регенерации и утилизации, производственная и экологическая безопасность.

В связи с этим заслуживает внимания решение проблемы очистки двигателя и его деталей путем применения гидродинамического способа очистки высоконапорными моечными аппаратами, отличающегося экономичностью, технологичностью и универсальностью [3, 4]. Высоконапорные моечные аппараты имеют повышенную гидродинамическую мощность, обеспечивают высокоскоростной нагрев воды с образованием пароводяной смеси ($T = 140 \dots 150^\circ\text{C}$), небольшой расход воды и топлива, быстрый выход на рабочий режим работы, применение технических моющих средств при относительно невысокой стоимости по отношению к другим моечным машинам.

На рисунке 1 представлена схема технологического процесса очистки двигателя и его деталей при ремонте, основанного на гидродинамическом способе с применением высоконапорных моечных аппаратов.

Отличительной особенностью представленной схемы технологической линии очистки двигателя является применение ограниченной номенклатуры моечных машин. Для предварительного отмыва трактора и двигателя применяется центробежная самовсасывающая моечная установка CR3-25, работающая на оборотной воде. Для очистки снятого двигателя в сборе и очистки сборочных единиц и деталей после его разборки используются высоконапорный моечный аппарат фирмы Karcher типа HDS-695VEX с высокоскоростным нагревом воды и с применением специальных адаптеров (турбофреза, гидрокавитационный и пенный насадки, турболазер, насадки для промывки масляных каналов) и моечная специальная камера для очистки небольших сборочных единиц и деталей. Применяется также межсменное вымачивание деталей с прочнофиксированными загрязнениями (головка блока цилиндров, клапаны, поршни, гильзы цилиндров, детали турбокомпрессора, коллектора, шатуны) в растворах растворяюще-эмульгированных средств «Ритм», «Лабомид-312» или дизтопливе в герметичных ваннах. Удаление технологических загрязнений и промывка масляных каналов после механической обработки также могут осуществляться высоконапорным аппаратом с применением турбофрезы и кавитационных насадок в указанной выше специальной моечной камере. Работа этой камеры может производиться в режимах ручного и автоматического управления. В первом случае очистка осуществляется пистолетом-распылителем или брандспойтом через моечное окно, а во втором случае очистка производится автоматически через моечную рамку с форсунками при вращающейся моечной корзине при снятом пистолете-распылителе или брандспойте.

Заключение

Разработаны технологическая линия и перспективная схема ТП для сокращения затрат при очистке двигателя и его деталей при ремонте в райагросервисах и коллективных хозяйствах. Они основаны на применении комбинированного гидродинамического метода наружной очистки двигателя и базовых деталей и очистке других деталей в специальной камере в режиме оборотного водоснабжения. Основными преимуществами предлагаемой технологии очистки по отношению к типовой являются: универсальность, то есть возможность удалять весь спектр загрязнений, свойственных двигателю и его деталям, включая прочнофиксированные, с применением специальных высокопроизводительных и экономичных адаптеров: турбофрезы, турболазера, гидрокавитационного, гидрорескоструйного, пенного и других насадок и эффективных

биоразлагаемых технических моющих средств («Мотолукс», «Автолик», «Умос» и др.). Применение комбинированного гидродинамического метода очистки в режиме оборотного водоснабжения обеспечивает повышение производительности труда, снижение расхода воды, электроэнергии, расхода моющих средств и металлоемкости более чем в 3 раза, быстрый выход на оптимальный режим работы с соблюдением жестких нормативных технических, санитарных и экологических требований.

Литература

1. Беднарский, В. В. Организация капитального ремонта автомобилей: учебное пособие / В. В. Беднарский. – Ростов Н/Д: Феникс, 2005 – 592 с.
2. Усков, В. П. Справочник по ремонту базовых деталей двигателей / В. П. Усков. – Брянск: Клиновская типография, 1998. – 589 с.
3. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве / В. И. Черноиванов [и др.]; под ред. В. И. Черноиванова. – Москва-Челябинск: ГОСНИТИ, 2003 – 992 с.
4. Технология ремонта машин / Е. А. Пучин [и др.]; под ред. Е. А. Пучина. – М.: Колос, 2007. – 488 с.
5. Хрулев, А. Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей: производственно-практическое издание / А. Э. Хрулев. – М.: Изд-во «За рулем», 1998. – 440 с.
6. Холдeman, Д. Д. Автомобильные двигатели. Теория и техническое обслуживание / Д. Д. Холдeman, Ч. Д. Митчел. – 4-е изд. – М.; СПб; Киев, 2006 – 645 с.

УДК 631.171:65.011.56(075.8)

Поступила в редакцию 17.04.2017

Received 17.04.2017

С. Г. Пархоменко¹, Г. Г. Пархоменко²

¹*Азово-Черноморский инженерный институт Донского государственного аграрного университета*

²*СКНИИМЭСХ ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»*

г. Зерноград, Российская Федерация

¹*e-mail: s-parkhom@mail.ru*

²*e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО ИНФОРМАЦИОННЫМ ПАРАМЕТРАМ НА ПРИМЕРЕ РАСЧЕТА ДВИГАТЕЛЯ Д-240

В статье приведены основы моделирования технологических процессов по информационным параметрам. Представлена математическая модель дизельного двигателя с всережимным регулятором. Приведены методика моделирования в программном комплексе «МВТУ» и результаты расчетов работы двигателя Д-240.

Ключевые слова: информационные параметры, дизельный двигатель, всережимный регулятор частоты вращения, моделирование.

S. G. Parkhomenko¹, G. G. Parkhomenko²

¹*Azov-Black Sea Engineering Institute Don State Agrarian University*

²*NCRIMEA FSBSI «The agrarian scientific centre «Donskoy»*

g. Zernograd, Russia

¹*e-mail: s-parkhom@mail.ru;*

²*e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru*

MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES BASED ON INFORMATION PARAMETERS USING THE EXAMPLE OF CALCULATING THE D-240 ENGINE

The article presents the basics of modeling of technological processes based on information parameters. The mathematical model of the diesel engine with the all-speed governor is presented. The modeling technique is given in the software package MBTY and results of calculations of operation of the engine D-240.

Keywords: information parameters, diesel engine, all-speed governor, modeling.

Введение

В сельскохозяйственном производстве основные технологические процессы выполняются рабочими органами машины агрегатов соответствующего назначения [1, 2]. В совокупности информационных параметров, характеризующих процесс, сельскохозяйственная машина или агрегат отражаются осуществлением ряда действий по подготовке и выполнению технологических операций в соответствии с режимом функционирования. Выделяют следующие режимы функционирования сельскохозяйственных машин и агрегатов [1]:

- *установочный*, объединяющий фазы подготовки обрабатываемой среды и установки рабочих органов машины для обеспечения требуемых показателей технологического процесса;
- *рабочий*, при котором осуществляется непосредственное воздействие сельскохозяйственной машины на обрабатываемую среду;
- *биологический*, связанный с характерными особенностями сельскохозяйственного производства и обрабатываемой среды, заключающийся в созревании зерна и пр.;
- *транспортный*, обусловленный необходимостью перемещения по полю сельскохозяйственных машин для осуществления заданного технологического процесса, а также перевозки зерна, семян, удобрений и пр.;
- *обслуживания*, предполагающий техническое обслуживание и ремонт машин и рабочих органов.

Для осуществления заданного технологического процесса при вышеперечисленных режимах функционирования сельскохозяйственных машин используются мобильные энергетические средства, соответствие скорости с нагрузкой в двигателях внутреннего сгорания которых обеспечивается посредством всережимного регулятора частоты вращения.

Объекты и методы исследования

В равновесном режиме работа двигателя внутреннего сгорания характеризуется постоянством угловой скорости коленчатого вала при заданной нагрузке. Поддержание такого режима возможно при условии равенства крутящего момента двигателя M_δ и момента сопротивления на коленчатом валу M_c [3].

$$M_\delta = M_c.$$

В неравновесном режиме (в случае неравенства момента двигателя и момента сопротивления) возникают инерционные силы.

$$J_\delta \cdot \dot{\omega}_\delta = M_\delta - M_c, \quad (1)$$

где J_δ – приведенный к коленчатому валу момент инерции двигателя;

ω_δ – угловая скорость вала двигателя.

Информационными параметрами в данном случае являются вышеперечисленные параметры. Характеристики крутящего момента двигателя и удельного расхода топлива [4, 5, 6] представлены уравнениями регрессии:

$$M_\delta = a_0 + a_1 \cdot \omega_\delta + a_2 \cdot \omega_\delta^2 + a_3 \cdot h_p + a_4 \cdot \omega_\delta \cdot h_p + a_5 \cdot h_p^2; \quad (2)$$

$$g_e = b_0 + b_1 \cdot \omega_\delta + b_2 \cdot \omega_\delta^2 + b_3 \cdot h_p + b_4 \cdot \omega_\delta \cdot h_p + b_5 \cdot h_p^2,$$

где a_i, b_i – коэффициенты регрессии;

h_p – отклонение рейки топливного насоса от положения, соответствующего номинальной подаче топлива.

Движение рейки топливного насоса, снабженного регулятором прямого действия, определяется движением муфты регулятора. Согласно [4], отклонение рейки топливного насоса УТН-5 определяется зависимостью:

$$h_p = 3,57 \cdot z,$$

где z – перемещение муфты регулятора.

Без учета инерционных сил движение муфты регулятора описывается системой уравнений [7]:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_p \cdot \dot{z} + c_p \cdot z &= \frac{A(z)}{i_p^2} \cdot \omega_d^2 - F(\gamma), \text{ при } z \geq z_n \\ \alpha_p \cdot \dot{z} + c_k \cdot z &= \frac{A(z)}{i_p^2} \cdot \omega_d^2 - F_{k0}, \text{ при } z < z_n \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где z_n – положение муфты регулятора, соответствующее номинальной подаче топлива;

α_p – коэффициент вязкого трения в регуляторе;

c_p, c_k – приведенные к муфте жесткости пружин регулятора и корректора;

$A(z)$ – коэффициент поддерживающей силы;

i_p – передаточное число привода вала регулятора;

$F(\gamma)$ – усилие затяжки пружины регулятора, зависящее от угла поворота рычага управления регулятором γ ;

F_{k0} – начальное усилие затяжки пружины корректора.

Совместное решение уравнений (1) и (3) представляет определенную сложность. Для решения обычно используются численные методы интегрирования. Решение подобных задач целесообразно осуществлять посредством моделирования на компьютере с помощью специально разработанных программ. К ним относится программный комплекс МВТУ. Программный комплекс «Моделирование в технических устройствах» (ПК «МВТУ»), разработанный на кафедре «Ядерные реакторы и ядерные энергетические установки» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, предназначен для исследования и анализа переходных и установившихся процессов в любых динамических системах, в том числе и в автоматических системах, с использованием визуальных средств структурного моделирования [8, 9, 10, 11, 12, 13]. В программном комплексе «Моделирование в технических устройствах» (ПК «МВТУ») использован метод структурного моделирования, базирующийся на математических моделях систем автоматического регулирования в виде их структурных схем. В ПК «МВТУ» принята графическая форма ввода исходных данных в компьютер в виде структурной схемы моделирования, которую составляют с использованием соответствующих блоков, имеющихся в библиотеках программного комплекса. По внешнему виду структурная схема моделирования полностью повторяет исходную структурную схему с добавлением специальных блоков для формирования внешних воздействий на систему (задающего и возмущающих воздействий) и регистрации переходных процессов. Возможность графического ввода исходных данных обеспечивается наличием в ПК «МВТУ» графического и текстового редакторов, а также библиотеки графических представлений функциональных блоков и диалоговых средств обучения пользователя.

Результаты исследований

Графически представленная математическая модель в виде структурной схемы (рисунок 1), введенная в компьютер посредством программных средств ПК «МВТУ», автоматически преобразуется в систему уравнений в форме Коши и решается численными методами интегрирования [8, 9, 10, 11].

Перемещение муфты регулятора определяется в «новом» блоке z (рисунок 2) по формулам (3). Крутящий момент двигателя рассчитывается в «новом» блоке M_d (рисунок 3) на основе частоты вращения и положения муфты регулятора по формуле (2). Сопротивление на коленчатом валу задается блоком «ступенчатое воздействие» M_c . Сигналы из блоков M_d и M_c поступают на блок «сумматор», выход из которого идет на блок «интегратор». На выходе из интегратора получается угловая скорость коленвала двигателя. Этот сигнал подается на блоки M_d и z . Для расчета углового ускорения и частоты вращения используются блоки «усилитель».

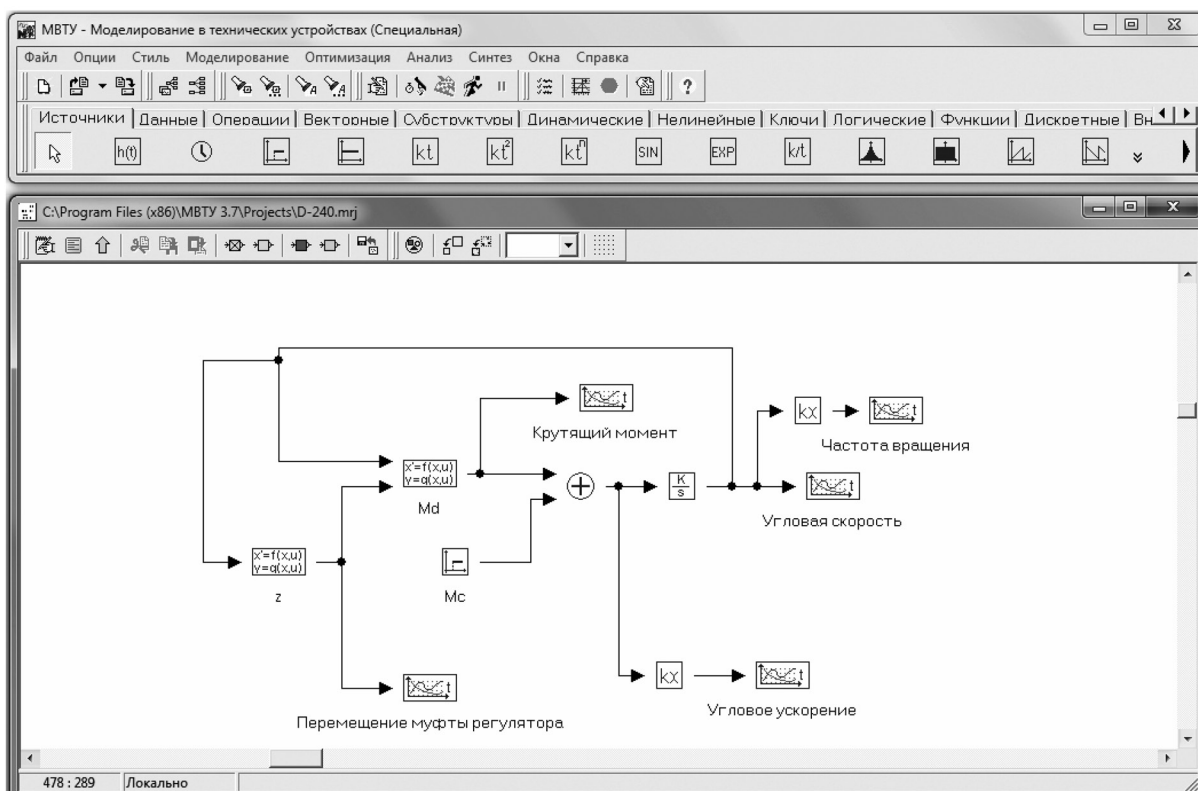


Рисунок 1. – Структурная схема в ПК «МВТУ»

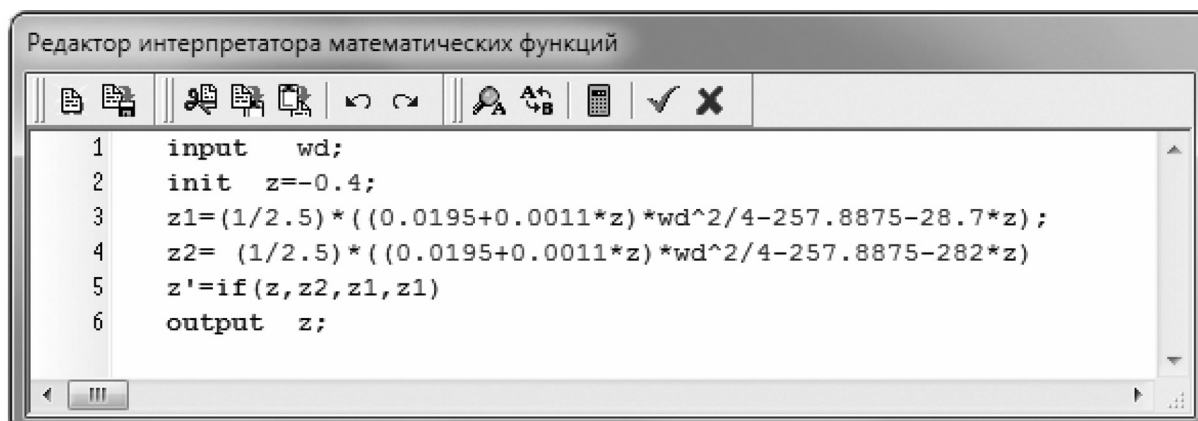


Рисунок 2. – Блок z – перемещение муфты регулятора

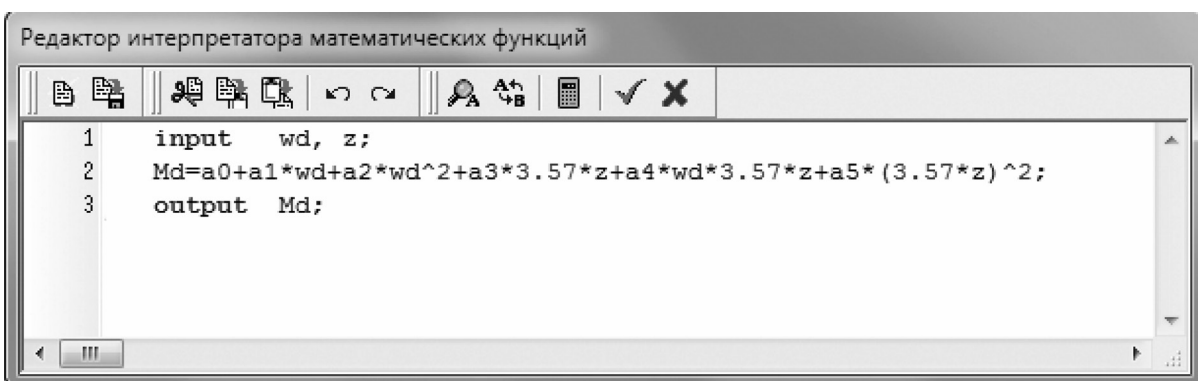


Рисунок 3. – Блок M_d – крутящий момент двигателя

Для просмотра результатов расчета угловой скорости, частоты вращения, углового ускорения, момента двигателя, перемещения муфты регулятора используются блоки «временной график».

В начале двигатель разгоняется без нагрузки с частоты 1625 мин^{-1} и выходит на режим холостого хода. Затем на 5 секунде работы ступенчато увеличивается момент сопротивления. Далее двигатель работает при постоянной нагрузке.

Для решения других задач вместо блока «ступенчатое воздействие» M_c присоединяется другой блок из библиотеки «источники входных сигналов» или цепочка блоков, моделирующих трансмиссию трактора и т.п.

Результаты расчета показателей работы двигателя Д-240 с регулятором частоты вращения показаны на рисунках 4–6.

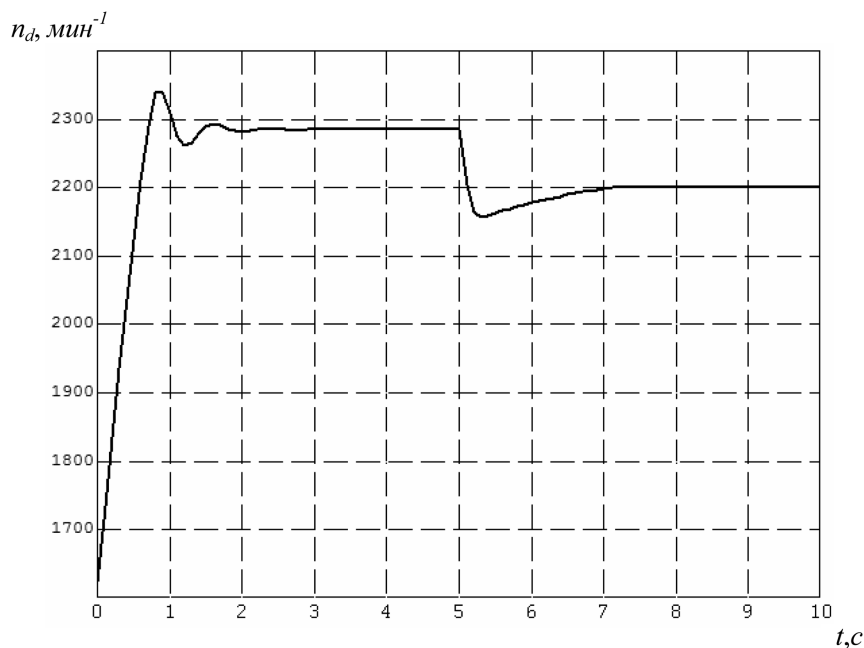


Рисунок 4. – Частота вращения коленчатого вала двигателя

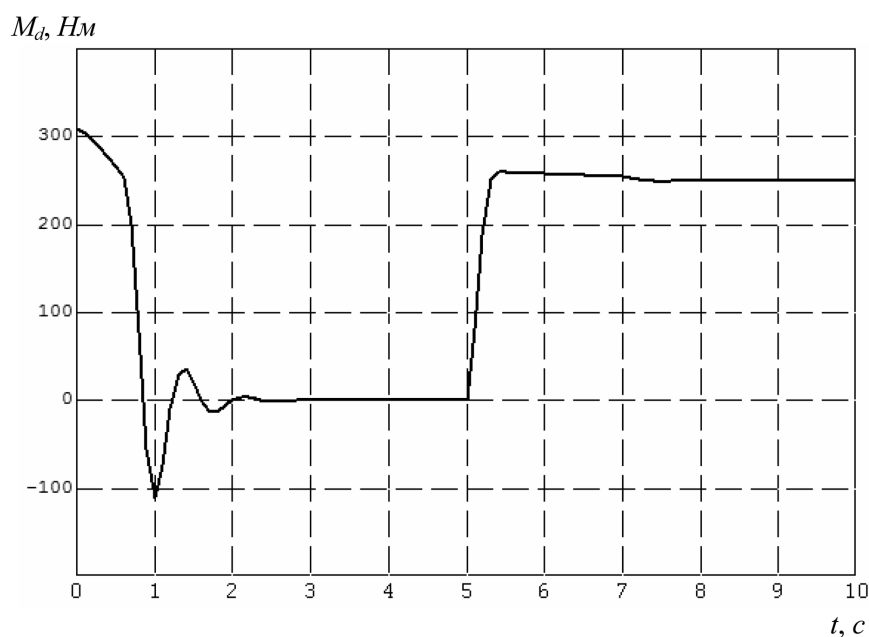


Рисунок 5. – Крутящий момент двигателя

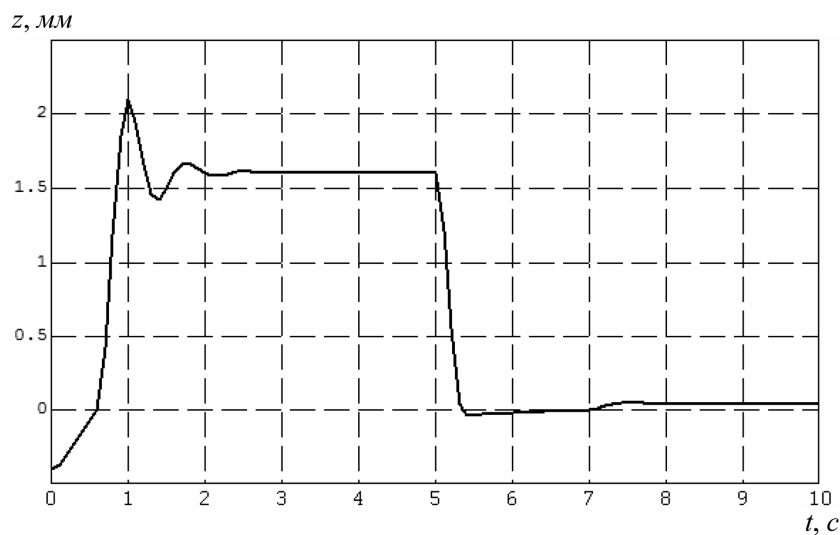


Рисунок 6. – Перемещение муфты регулятора

На рисунке 7 показаны угловые ускорения коленчатого вала при разгоне двигателя без нагрузки для различных коэффициентов вязкого трения в регуляторе.

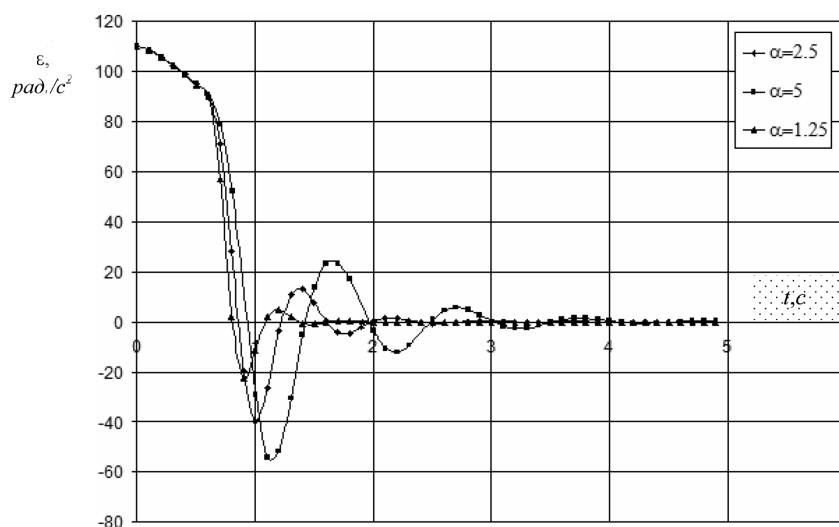


Рисунок 7. – Угловое ускорение коленчатого вала двигателя при различных коэффициентах вязкого трения в регуляторе

Заключение

Моделирование по информационным параметрам в ПК «МВТУ» позволяет анализировать работу дизельного двигателя с регулятором на различных режимах, совершенствовать работу регулятора [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20].

Литература

1. Бородин, И. Ф. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов / И. Ф. Бородин, Н. И. Кирилин. – Москва: Колос, 1977. – 328 с.
2. Пархоменко, Г. Г. Оптимизация показателей технологических процессов сельскохозяйственного производства в растениеводстве / Г. Г. Пархоменко, С. Г. Пархоменко // Хранение и переработка зерна. – 2017. – № 1 (209). – С. 55–60.
3. Кутьков, Г. М. Тяговая динамика тракторов / Г. М. Кутьков. – Москва: Машиностроение, 1980. – 215 с.
4. Ксенович, И. П. Системы автоматического управления ступенчатыми трансмиссиями тракторов / И. П. Ксенович, В. П. Тарасик. – Москва: Машиностроение, 1979. – 280 с.

5. Тарасик, В. П. Проектирование колесных тягово-транспортных машин / В. П. Тарасик. – Минск: Вышэйш. шк., 1984. – 163 с.
6. Пархоменко, С. Г. Моделирование работы дизельного двигателя с всережимным регулятором в программном комплексе «МВТУ» / С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: материалы V Всероссийской науч.-практ. конф., г. Рубцовск, 26–27 ноября 2015 г. / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2015. – С. 61–68.
7. Пархоменко, С. Г. Совершенствование функционирования МТА с колесным трактором класса 1,4 на основе оптимизации параметров пневматических шин: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / С. Г. Пархоменко. – Зерноград: АЧГАА, 1999. – 156 с.
8. Практикум по автоматике. Математическое моделирование систем автоматического регулирования / Б. А. Карташов [и др.]; под ред. Б. А. Карташова. – М: КолосС, 2004. – 184 с.
9. Системы автоматического регулирования: практикум по математическому моделированию / Б. А. Карташов [и др.]; под ред. Б. А. Карташова. – Ростов н/Д: Феникс, 2015. – 458 с.
10. Пархоменко, С. Г. Параметрическая оптимизация комбинированной следяще-силовой системы автоматического регулирования пахотного агрегата / С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: сб. науч. докл. XVIII Междунар. науч.-практ. конф., г. Тамбов, 23–24 сентября 2015 г. – Тамбов, 2015. – С. 18–22.
11. Пархоменко, Г. С. Моделирование на ПЭВМ следящей системы с нелинейным колебательным объектом регулирования / Г. С. Пархоменко, С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Достижения науки – агропромышленному производству: материалы Юбилейной XLV Междунар. науч.-техн. конф., г. Челябинск, 2–3 марта 2006 г. / Челябинский ГАУ. – Челябинск, 2006. – Ч. 4. – С. 34–38.
12. Пархоменко, Г. С. Расчет в MATHCAD рабочих режимов тягово-приводных машинно-тракторных агрегатов / Г. С. Пархоменко, С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Достижения науки – агропромышленному производству: Материалы XLIV Междунар. науч.-техн. конф., г. Челябинск, 26–27 января 2005 г. / Челябинский ГАУ. – Челябинск, 2005. – С. 271–275.
13. Пархоменко, Г. С. Анализ рабочих режимов и расчет на ПЭВМ состава тяговых машинно-тракторных агрегатов / Г. С. Пархоменко, С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Материалы XLIV Междунар. науч.-техн. конф., г. Челябинск, 2003 г. / Челябинский ГАУ. – Челябинск, 2003. – С. 315–320.
14. Пархоменко, С. Г. Измерение силы тяги на крюке трактора в агрегате с навесной сельскохозяйственной машиной / С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 4. – С. 15–19.
15. Пархоменко, С. Г. Повышение энергоэффективности мобильных почвообрабатывающих агрегатов / С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Инновации в сельском хозяйстве. – 2016. – № 3 (18). – С. 40–47.
16. Пархоменко, Г. Г. Повышение эксплуатационной надежности САР почвообрабатывающих машин / Г. Г. Пархоменко, С. Г. Пархоменко // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 122. – С. 87–91.
17. Пархоменко, Г. С. Моделирование в программном комплексе «МВТУ» динамики мобильных сельскохозяйственных машин и нелинейных следящих систем / Г. С. Пархоменко, С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Совершенствование технологий и средств механизации полеводства: межвузовский сб. тр. к 75-летию академии (г. Зерноград, АЧГАА). – Зерноград, 2005. – С. 86–92.
18. Пархоменко, С. Г. Динамометрирование навесных сельскохозяйственных машин / С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 124-1. – С. 125–129.
19. Пархоменко, Г. С. Моделирование на ПЭВМ по программному комплексу «МВТУ» усовершенствованной силовой САР трактора МТЗ-80 / Г. С. Пархоменко, С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Материалы XLIII Междунар. науч.-техн. конф., г. Челябинск, 2004 г. / Челябинский ГАУ. – Челябинск, 2004. – С. 22–26.
20. Пархоменко, Г. С. Методика параметрической оптимизации в программном комплексе «МВТУ» комбинированной следяще-силовой САР пахотного агрегата с трактором класса 1,4 / Г. С. Пархоменко, С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Совершенствование технических средств в растениеводстве: межвузовский сб. науч. тр. – Зерноград, 2010. – С. 3–12.

**С. В. Крылов¹, П. В. Авраменко¹, Н. Г. Бакач², А. В. Иванов¹,
А. В. Наумик²**

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь

**НЕОБХОДИМОСТЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТКП 148–2008
«ИСПЫТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ, МАШИН
И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ.
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ»**

В данной статье рассмотрены недостатки ТКП 148–2008, которые заключаются как в неполном представлении перечня испытаний, так и в ряде несоответствий с другими ТНПА.

Ключевые слова: испытания, виды, техническая экспертиза, функциональные показатели, оценка энергопотребления, эксплуатационно-технологическая оценка, типовые программы испытаний.

S. V. Krilov¹, P. V. Auramenka¹, N. G. Bakach², A. V. Ivanov¹, A. V. Naumik²

¹Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»
Minsk, Republic of Belarus

²RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus

**NEED TO IMPROVE TCP 148–2008 «TESTING AGRICULTURAL MACHINERY,
MACHINES AND EQUIPMENT FOR PROCESSING AGRICULTURAL
RAW MATERIALS. BASIC PROVISIONS»**

This article lists the shortcomings of TCP 148–2008, which are expressed both in the incomplete presentation of the list of tests, and in a number of inconsistencies with other TNLA.

Keywords: tests, types, technical expertise, functional indicators, energy consumption assessment, operational and technological evaluation, standard test programs.

Введение

Прикладные научные исследования невозможны без различного рода испытаний. Поэтому в СССР проведению испытаний уделяли особое внимание, что выражалось в принятии технических нормативно-правовых актов (ТНПА), в том числе и в области сельского хозяйства. Подтверждающим примером служит ГОСТ 16504–81 «Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения» [1].

Для проведения испытаний сельскохозяйственной техники в Республике Беларусь был разработан технический кодекс установившейся практики ТКП 148–2008 «Испытания сельскохозяйственной техники, машин и оборудования для переработки сельскохозяйственного сырья. Основные положения» [2]. К сожалению, в этом документе не приведены важные моменты испытаний, и он не полностью согласуется с другими ТНПА, принятыми как до, так и после введения в действие данного ТКП.

**Недостатки ТКП 148–2008 «Испытания сельскохозяйственной техники, машин
и оборудования для переработки сельскохозяйственного сырья. Основные положения»**

В главе 3 представлены виды испытаний и дана их краткая характеристика. Пункт 3.2 данного документа.

3.2 Испытательные центры (лаборатории) проводят следующие виды испытаний:

– предварительные;

- приемочные;
- квалификационные;
- периодические;
- типовые;
- сертификационные;
- инспекционные.

Очевидно, что для успешной разработки сельскохозяйственных машин и постановки на производство этого перечня испытаний сельхозтехники явно недостаточно. Отсутствуют заводские, или, исходя из терминов ГОСТ 16505–81 [1], предъявительские испытания. Во время их проведения проверяется работоспособность изготовленного опытного образца, после испытаний принимается решение: оставить его на заводе-изготовителе или направить на последующие испытания.

Отсутствует в данном ТНПА еще один вид испытаний – исследовательские. На основании этих испытаний разрабатываются исходные требования (ИТ) и техническое задание (ТЗ). Конечно, ИТ в СССР разрабатывались после испытаний макетного образца, который создавался перед экспериментальным. В настоящее время из-за жестких административных требований данный элемент НИР исчез полностью, поэтому и разработка ИТ также прекратилась.

Последний вид испытаний, отсутствующий в ТКП 148–2008, – сравнительные испытания. Однако они очень важны, так как позволяют сравнить машины различных разработчиков, выполняющие одну и ту же технологическую операцию в реальных производственных условиях. Такие испытания позволят выявить достоинства и недостатки каждой испытываемой машины.

В данном ТКП указана лишь цель испытаний, а важнейший признак испытаний, согласно ГОСТ 16505–81 [1], – принятие на основе их результатов определенных решений, отсутствует. Также нет сведений об оформлении результатов испытаний.

Типовая программа испытаний, представленная в приложении «А» рассматриваемого в статье ТКП, является не совсем логичным и не согласованным с другими ТНПА документом. В СТБ 1578–2005 [3] отсутствует термин «функциональные показатели», в том числе и в содержании технического задания на разработку сельскохозяйственной техники. Являясь в ТКП 148–2008 [2] одним из главных показателей при проведении испытаний, в СТБ 1578–2005 [3] он даже не заслуживает упоминания. Само же толкование термина «функциональные показатели», представленное в ТКП 148–2008 [2], не является полным.

Согласно типовой программе испытаний, представленной в документе [2], техническая экспертиза не проводится при сертификационных и инспекционных испытаниях, хотя оценка безопасности и эргономичности проводится, что строго обязательно для сертификационных испытаний. Как оценка безопасности может проводиться без технической экспертизы, авторам статьи непонятно. Возможно, что техническая экспертиза при сертификационных и инспекционных испытаниях может проводиться в меньшем объеме, чем при приемочных испытаниях (там осуществляются три технические экспертизы).

Оценка показателей энергопотребления и эксплуатационно-технологическая оценка взаимосвязаны. Для установления этих показателей необходимо определить объем выполненной работы за период наблюдения. Почему разработчики документа [2] предлагают оценивать показатели в такой последовательности, непонятно.

В параграфе 6.2 «Оценка показателей энергопотребления» нет ссылки на ГОСТ Р 52777–2007 [4] и номенклатура показателей меньше, чем в ГОСТ Р 52777–2007 [4].

Соответственно, в документе [2] не представлены следующие положения [4].

Допускается потребную мощность навесной, полунавесной и прицепной сельскохозяйственной машины ($N_M, кВт$) вычислять по формуле:

$$N_M = N_{та} - N_{т.с.},$$

где $N_{та}$ – потребная мощность машинно-тракторного агрегата для выполнения технологической операции, $кВт$;

$N_{т.с.}$ – потребная мощность на самопередвижение трактора, $кВт$.

Соответственно, тяговое сопротивление машины вычисляют по формуле:

$$R_M = 10^3 \frac{N_{т.а} - N_{ВОМ} - N_{т.с}}{V}.$$

Эти формулы важны, так как в большинстве случаев при проведении энергетической оценки измеряется лишь расход топлива, что позволяет вычислить только потребную мощность машинно-тракторного агрегата ($N_{т.а}$), а потребная мощность сельхозмашины остается неизвестной.

Заключение

Представленный неполный перечень недостатков ТКП 148–2008 наглядно демонстрирует, что данный нормативный документ [2] нуждается в доработке и гармонизации со всеми другими ТНПА.

Литература

1. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения: ГОСТ 16504–81. – Введ. 01.01.1982. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 24 с.
2. Испытания сельскохозяйственной техники, машин и оборудования для переработки сельскохозяйственного сырья. Основные положения: ТКП 148–2008 (02150). – Введ. 01.02.2009. – Минск: БелГИСС, 2009. – 24 с.
3. Техника сельскохозяйственная. Разработка и постановка на производство: СТБ 1578–2005. – Введ. 01.01.2006. – Минск: БелГИСС, 2005. – 18 с.
4. Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки: ГОСТ Р 52777–2007. – Введ. 2008.07.01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 7 с.

УДК 631.3(083.74)

Поступила в редакцию 27.06.2017
Received 27.06.2017

С. В. Крылов¹, Н. Г. Бакач², А. В. Наумик², Е. Н. Гришкова²

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОСТ Р52778–2007 «ИСПЫТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ. МЕТОДЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ»

В статье рассмотрен ГОСТ Р52778–2007 [1] и его применение при испытаниях. Представлены отдельные несоответствия данного ГОСТа при его использовании.

Ключевые слова: эксплуатационно-технологические показатели, оптимальность, статистические методы обработки данных, несоответствия, небрежность.

S. V. Krylov¹, N. G. Bakach², A. V. Naumik², E. N. Grishkova²

¹Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»
Minsk, Republic of Belarus

²RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus

PROBLEMS OF USE GOST R52778–2007 «TESTING AGRICULTURAL MACHINERY. METHODS OF OPERATIONAL-TECHNOLOGICAL EVALUATION»

The article considers GOST R52778–2007 and its application in testing. There are some discrepancies in this GOST when using it.

Keywords: operational and technological indicators, optimality, statistical methods of data processing, inconsistencies, negligence.

Введение

В настоящее время технические нормативные правовые акты в области технического нормирования и стандартизации (ТНПА), разработанные для применения в различных отраслях сельского хозяйства, имеют ряд довольно заметных недостатков [2–4], чего не наблюдалось ГОСТах, разработанных еще в Советском Союзе. Такая небрежность на бумаге может привести как к ошибочным организационным, так и техническим решениям уже в реальной практике [2, 3]. К сожалению, подобная небрежность присутствует и в ТНПА Российской Федерации. Наглядный пример – ГОСТ Р52778–2007 «Испытание сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки».

Вопросов, возникающих к данному ГОСТу, слишком много, поэтому рассмотрим только часть из них.

Недостатки ГОСТ Р52778–2007

Недостатки ГОСТ Р52778–2007 присутствуют уже со 2 страницы.

Пункт 3.1 Эксплуатационно-технологическая оценка: Оценка эксплуатационных качеств (свойств) сельскохозяйственной машины, характеризующих способность выполнять технологический процесс в пределах агротехнического срока, с оптимальной производительностью, при соблюдении заданного зональной технологией качества работы и минимальными потерями сменного времени.

В результате анализа данного пункта возникают сразу два вопроса.

1. Что означает термин «оптимальная производительность»? Слово «оптимальный» перестает быть банальным прилагательным, только если указан критерий, по которому определяют оптимальность, в противном случае любой объект, который попадает на глаза, может быть объявлен оптимальным.

2. Что означает фраза: «...и минимальными потерями сменного времени»?

Можно лишь догадаться, что авторы имели в виду, так как они предлагают следующую формулу для проверки баланса сменного времени (формула (Г.20) приложения Г данного ГОСТа):

$$T_{\text{см.н}} = T_{1\text{н}} + T_{2\text{н}} + T_{311\text{н}} + T_{32\text{н}} + T_{33\text{н}} + T_{41\text{н}} + T_{5\text{н}} + T_{6\text{н}} + T_{71\text{н}},$$

где $T_{\text{см.н}}$ – продолжительность нормативной смены;

$T_{1\text{н}}$ – основное время при нормативной продолжительности смены, ч. (Данное толкование символа взято из формулы (6) этого ГОСТа).

Далее приведем наименования символов этой формулы согласно ГОСТу Р52778–2007, включив пояснения и последующие формулы:

где $T_{2\text{н}}$ – вспомогательное время при нормативной продолжительности смены;

$T_{311\text{н}}$ – время на проведение ЕТО при нормативной продолжительности смены, ч;

$T_{32\text{н}}$ – время на подготовку и окончание работ при нормативной продолжительности смены, ч;

$T_{33\text{н}}$ – время на проведение наладки и регулировки при нормативной продолжительности смены;

$T_{41\text{н}}$ – время на устранение нарушения технологического процесса при нормативной продолжительности смены, ч;

$T_{5\text{н}}$ – время на отдых (нормативное), ч;

$T_{6\text{н}}$ – время холостой работы при нормативной продолжительности смены, ч;

$T_{71\text{н}}$ – время на ЕТО машины, агрегируемой с испытуемой, при нормативной продолжительности смены.

Из представленной формулы ясно, что минимальными должны быть затраты времени на различные вспомогательные и другие работы, отличные от основной работы.

В разделе 3 «Термины и определения» отсутствует ряд важных сформулированных словесно определений, ведь даже в математике наряду с математической экспликацией присутствует, как правило, терминологическое представление описываемых понятий и процессов. Складывается

такое впечатление, что авторы ГОСТа сознательно избегают словесных формулировок, так как построение предложений и оборотов в данном ГОСТе оставляет желать лучшего.

Расшифровка термина «основная работа» приведена в советском ГОСТе 24055–88, но в новом ГОСТе отсутствует даже ссылка на ГОСТ 24055–88 [5]. В ГОСТе Р 52778–2007 определение и расчет статистических характеристик предлагается проводить по правилам и методам в соответствии с ГОСТ 50779.21–2004. В советском ГОСТе 24055–88 фигурировал другой ТНПА – СТ СЭВ545–77.

ГОСТ Р 50779.21–2004 «Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение».

Очевидно, что экспериментальные данные, полученные в результате эксплуатационно-технологической оценки, не должны противоречить нормальному распределению. То есть должны были проводиться исследования, позволяющие утверждать, что данные, которые предлагает обрабатывать ГОСТ 52778–2007, а именно: производительность за 1 час основного времени; время на повороты; время технического обслуживания (выгрузки, загрузки); расход топлива за 1 час основного времени (для аппаратного способа получения данных), не противоречат нормальному закону распределения. Значения производительности за 1 час основного времени и расход топлива за 1 час основного времени определяются с использованием формул, поэтому ГОСТ Р 50779.21–2004 для них не применим. В ГОСТе Р 50779.21–2004 приведены практические примеры его использования в производстве, медицине, химии. Про сельское хозяйство не сказано ни слова.

Заключение

Представленные, причем далеко не все, несоответствия рассматриваемого ГОСТа наглядно демонстрируют, что требуется его значительная переработка. Она должна начаться с разъяснения всех понятий, встречаемых в ГОСТе, либо с оформления ссылок на эти разъяснения в другом ГОСТе. Необходимо также более логично изложить материал, тщательно провести редактирование текста и предложить статистическую обработку экспериментальных данных, полученных при испытаниях в сельском хозяйстве.

В настоящее время данный ГОСТ затруднительно использовать для статистической обработки экспериментальных данных. Поэтому ни в одном протоколе Белорусской МИС статистическая обработка экспериментальных данных не представлена.

Литература

1. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки: ГОСТ Р 52778–2007. – Введ. 30.06.2008. – М.: Стандартинформ, 2008. – 24 с.
2. Крылов, С. В. Оценка экономической эффективности сельхозтехники в современных условиях / С. В. Крылов, А. В. Ленский, И. М. Ковалева // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2009. – Вып. 43. – Т. 2. – С. 149–156.
3. Крылов, С. В. Проблемы методов экономической оценки различных технологий заготовки травянистых кормов / С. В. Крылов, В. С. Костюк, В. В. Русаков // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2010. – Вып. 44. – Т. 2. – С. 10–14.
4. Крылов, С. В. Проблемы расчета напольного воздуховода в картофелехранилищах / С. В. Крылов, И. И. Гируцкий, В. В. Носко, А. В. Иванов, Н. Г. Бакач, В. Ф. Марышев, О. А. Кислый // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2014. – Вып. 48. – Т. 1. – С. 205–209.
5. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. Общие положения: ГОСТ 24055–88 (СТ СЭВ568–86). – Введ. 01.01.1989. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. – 16 с.

А. Л. Мисун, П. Е. Круглый, Л. В. Мисун, С. Н. Корбут

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: SLM_90@mail.ru*

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УБОРКИ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР

В статье приводятся теоретические зависимости, позволяющие прогнозировать эффективность функционирования транспортного обеспечения кормоуборки. Предложены организационно-технические мероприятия для снижения производственного травматизма при загрузке и выгрузке растительной массы из транспортного средства.

Ключевые слова: производственный травматизм, кормоуборочный комбайн, кабина, безопасность труда, транспортное обеспечение, эффективность, уборка, кормовые культуры.

A. L. Misyn, P. E. Krygliu, L. V. Misyn, S. N. Korbyt

*Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: SLM_90@mail.ru*

ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL MEASURES TO IMPROVE THE EFFICIENCY AND SECURITY OF TRANSPORT MAINTENANCE MOWING

The article shows the theoretical dependence, which allows to predict the efficiency of transport service of forage harvest. Proposed organizational and technical measures to reduce industrial injuries when loading and unloading the crop from the vehicle.

Keywords: occupational injuries, forage harvester, cabin, safety, transport, efficiency, harvest, fodder crops.

Введение

Отвозка убранных кормовых культур, от выполнения которой зависит весь технологический процесс, часто по времени запаздывает, иногда простаивает транспортное средство, то есть вся технологическая система кормоуборки находится в неработоспособном состоянии. При этом в период заготовки кормов нередко дожди, увеличивается интенсивность движения транспорта по полевым дорогам, повышается уровень опасности производственного риска, ухудшаются экономические показатели кормоуборки в целом [1].

Результаты исследований

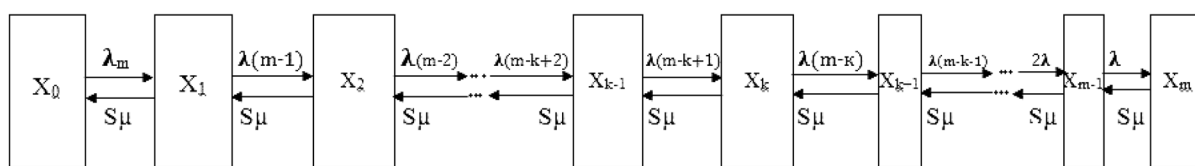
Снизить вероятность наступления неработоспособного состояния технологической системы кормоуборки по причине «транспорт» возможно за счет оптимальной организации использования транспортных средств. Для моделирования рассматриваемого процесса применим математический аппарат теории массового обслуживания. Представим, что парк комплекса для уборки кормовых культур состоит из m комбайнов. Загрузка и отвоз убранной растительной массы от комбайнов обеспечивается S единицами транспорта. При этом учитываем, что часть транспортных средств, обслуживающих комплекс комбайнов, будет простаивать, когда количество поступивших отказов комбайнов (k) больше числа единиц транспорта. Для этого случая рассмотрим вариант транспортного обслуживания кормоуборочных комплексов, включающих три и более комбайнов, с совместной организацией работы транспортных средств, способствующей увеличению интенсивности обслуживания (μ). Функция $\mu(S)$, представляющая собой суммарную

интенсивность транспортного обслуживания комбайнов, является неубывающей и при определенных значениях S достигает своего максимального постоянного уровня. Поскольку на практике число транспортных средств, обслуживающих кормоуборочные комплексы, ограничено $S_{max} = 3$, можно предположить, что в этих пределах интенсивность суммарного потока обслуживания пропорциональна числу транспортных средств, то есть $\mu(S) = \mu \cdot S$. Граф состояний системы транспортного обслуживания кормоуборочных комбайнов приведен на рисунке 1. Рассмотрим подробно все возможные состояния системы обслуживания и их вероятности:

X_0 – состояние, при котором все комбайны работают. Отказавших комбайнов нет. Все единицы транспорта задействованы и обслуживают комбайны. Это состояние достигается, если произойдет одно из событий:

A – в момент времени t система транспортного обслуживания комбайнов находилась в состоянии X_0 и за время Δt ни у одного из m кормоуборочных комбайнов не было отказа;

B – в момент времени t система находилась в состоянии X_j – от одного комбайна поступил отказ, и он не загружал растительной массой транспорт, то есть простаивал; за время Δt отказ комбайна был устранен и система пришла в состояние X_0 .



X_0 – состояние технологической системы кормоуборки, при котором все m -комбайны работают;

$X_1, X_2, X_{k-1}, X_k, X_{k+1}, X_{m-1}, X_m$ – состояние системы, когда имеют место отказы комбайнов;

S – транспортные средства для обслуживания комбайнов; k – отказавшие комбайны

Рисунок 1. – Граф состояний системы транспортного обслуживания кормоуборочных комбайнов

По теореме сложения вероятностей находим вероятность того, что в системе транспортного обслуживания комбайнов в момент времени $t + \Delta t$ не будет ни одного требования:

$$P_o(t + \Delta t) = P(A) + P(B) + O(\Delta t), \quad (1)$$

где $O(\Delta t)$ – бесконечно малая величина высшего порядка по сравнению с Δt .

Вероятность того, что в момент t система находилась в состоянии X_0 , равна $P_0(t)$. Вероятность того, что за время Δt не было отказа ни от одного из m кормоуборочных комбайнов, равна $e^{-\lambda m \Delta t} = 1 - \lambda m \Delta t + O(\Delta t)$. Тогда по теореме умножения вероятностей

$$P(A) = P_o(t)[1 - \lambda m \Delta t + O(\Delta t)]. \quad (2)$$

Вероятность того, что в момент времени t система находилась в состоянии X_j , равна $P_j(t)$, а вероятность того, что за время Δt комбайн загружал растительную массу в транспортное средство, равна $1 - e^{-s\mu \Delta t} = s\mu \Delta t + O(\Delta t)$.

Тогда

$$P(B) = P_1(t)[s\mu \Delta t + O(\Delta t)]. \quad (3)$$

Подставив выражения (2), (3) в уравнение (1), получим:

$$P(B) = P_1(t)[s\mu \Delta t + O(\Delta t)].$$

$$P_o(t + \Delta t) = P_o(t)[1 - \lambda m \Delta t + O(\Delta t)] + P_1(t)[s\mu \Delta t + O(\Delta t)]. \quad (4)$$

Преобразовав уравнение (4), получаем:

$$\frac{P_o(t + \Delta t) - P_o(t)}{\Delta t} = -\lambda m P_o(t) + s\mu P_1(t) + O(\Delta t).$$

Перейдя к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$, получаем обыкновенное линейное дифференциальное уравнение относительно $P_0(t)$:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda m P_0(t) + s\mu P_1(t). \quad (5)$$

В пределе при $t \rightarrow \infty$ получим алгебраическое уравнение:

$$-\lambda m P_0 + s\mu P_1 = 0. \quad (6)$$

X_k – состояние, когда от k комбайнов поступили отказы ($1 \leq k < m$) и за время Δt не загружалось растительной массой ни одно из транспортных средств ($m-k$) и не устранены отказы ни одного из k кормоуборочных комбайнов;

C – в момент времени t система находилась в состоянии X_k , и за время Δt не загружалось растительной массой ни одно из транспортных средств ($m-k$) и не устранены отказы ни одного из k кормоуборочных комбайнов;

D – в момент времени t система находилась в состоянии X_{k-1} , и за время Δt от одного из ($m-k+1$) комбайнов поступил отказ и не один из ($k-1$) комбайнов не восстановлен;

E – в момент времени t система находилась в состоянии X_{k-1} , и за время Δt не поступило отказа ни от одного из ($m-k-1$) комбайнов, а у одного из ($k+1$) комбайнов отказы устранены. Тогда

$$P_k(t + \Delta t) = P(C) + P(D) + P(E) + O(\Delta t). \quad (7)$$

Поскольку вероятность того, что в момент времени t система находится в состоянии X_k , равна $P_k(t)$, а вероятность того, что за время Δt не поступило отказа ни от одного из ($m-k$) кормоуборочных комбайнов, равна $[1 - \lambda(m-k)\Delta t + O(\Delta t)]$ и вероятность того, что за время Δt не устранены отказы ни у одного из k комбайнов, равна $[1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)]$, то по теореме умножения вероятностей

$$P(C) = P_k(t)[1 - \lambda(m-k)\Delta t + O(\Delta t)][1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)].$$

После преобразования получим:

$$P(C) = P_k(t)\{1 - [\lambda(m-k) + s\mu]\Delta t + O(\Delta t)\} \quad (1 \leq k < m). \quad (8)$$

Вероятность того, что в момент времени t система транспортного обслуживания комбайнов находилась в состоянии X_{k-1} , равна $P_{k-1}(t)$. Вероятность того, что за время Δt поступил отказ от одного из ($m-k+1$) комбайнов, равна $[\lambda(m-k+1)\Delta t + O(\Delta t)]$. Вероятность того, что ни один из ($k-1$) отказавших кормоуборочных комбайнов не обслуживался транспортным средством за время Δt , равна $[1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)]$. Тогда

$$\begin{aligned} P(D) &= P_{k-1}(t)[\lambda(m-k+1)\Delta t + O(\Delta t)][1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)] \\ &\text{или} \\ P(D) &= P_{k-1}(t)[\lambda(m-k+1)\Delta t + O(\Delta t)] \quad (1 \leq k < m) \end{aligned} \quad (9)$$

Так как вероятность того, что рассматриваемая система транспортного обслуживания комбайна, находившаяся в момент времени t в состоянии X_{k+1} , равна $P_{k+1}(t)$, а вероятность того, что за время Δt ни у одного из ($m-k-1$) комбайнов не было отказа, равна

$$[1 - \lambda(m-k-1)\Delta t + O(\Delta t)], \text{ то } P(E) = P_{k+1}(t)[s\mu\Delta t + O(\Delta t)][1 - \lambda(m-k-1)\Delta t + O(\Delta t)].$$

Преобразовав, получаем:

$$P(E) = P_{k+1}(t)[s\mu\Delta t + O(\Delta t)] \quad (1 \leq k < m). \quad (10)$$

Таким образом, после подстановки формул (8)–(10) в уравнение (7) имеем:

$$\begin{aligned} P_k(t + \Delta t) &= P_k(t)\{1 - \lambda(m-k) + s\mu\}\Delta t + O(\Delta t) + \\ &+ P_{k-1}(t)[\lambda(m-k-1)\Delta t + O(\Delta t)] + P_{k+1}(t)[s\mu\Delta t + O(\Delta t)] \quad (1 \leq k < m). \end{aligned} \quad (11)$$

После преобразования выражения (11)

$$\frac{P_o(t + \Delta t) - P_k(t)}{\Delta t} = -[\lambda(m - k) + s\mu]P_k(t) + \lambda(m - k + 1)P_{k+1}(t) + s\mu P_{k+1}(t) \quad (1 \leq k < m).$$

В стационарном состоянии

$$\lambda(m - k + 1)P_{k+1} - [\lambda(m - k) + s\mu]P_k + s\mu P_{k+1} = 0 \quad (1 \leq k < m). \quad (12)$$

Отдельно рассмотрим X_m , когда все кормоуборочные комбайны не обслуживались транспортными средствами ($k = m$). Состояние достигается, если произойдет одно из событий:

F – в момент времени t от всех m комбайнов поступили отказы, и ни одно из S транспортных средств не загружалось за время Δt ;

G – в момент времени t система транспортного обслуживания комбайнов находилась в состоянии X_{m-1} , и за время Δt от последнего работающего кормоуборочного комбайна поступил отказ и ни одно из S транспортных средств не было загружено.

Тогда

$$P_m(t + \Delta t) = P(F) + P(G) + O(\Delta t). \quad (13)$$

Поскольку вероятность того, что в момент времени t рассматриваемая система находилась в состоянии X_m , равна $P_m(t)$, а вероятность того, что за время Δt ни одно из транспортных средств не было загружено, равна $[1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)]$, то

$$P(F) = P_m(t)[1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)]. \quad (14)$$

Так, вероятность того, что в момент времени t система транспортного обслуживания комбайнов находилась в состоянии X_{m-1} , равна $P_{m-1}(t)$, а вероятность того, что за время Δt от последнего кормоуборочного комбайна поступит отказ, равна $[\lambda\Delta t + O(\Delta t)]$ и вероятность того, что за время Δt ни одно из S транспортных средств не загружалось, равна

$$[1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)], \text{ то } P(G) = P_{m-1}(t)[\lambda\Delta t + O(\Delta t)][1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)] = \\ = P_{m-1}(t)[\lambda\Delta t + O(\Delta t)]. \quad (15)$$

После подстановки зависимостей (14), (15) в уравнение (13), получим:

$$P_m(t + \Delta t) = P_m(t)[1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)] + P_{m-1}(t)[\lambda\Delta t + O(\Delta t)] = \\ = P_m(t) - P_m(t)[s\mu\Delta t + O(\Delta t)] + P_{m-1}(t)[\lambda\Delta t + O(\Delta t)]. \quad (16)$$

После преобразования выражения (16) имеем:

$$\frac{P_m(t + \Delta t) - P_m(t)}{\Delta t} = \lambda P_{m-1}(t) - s\mu P_m(t) + O(\Delta t).$$

В стационарном состоянии

$$\lambda P_{m-1} - s\mu P_m = 0. \quad (17)$$

Полученные зависимости (6), (12), (17) составляют систему алгебраических уравнений, решение которой позволяет определить вероятности P_k наличия в системе транспортного обслуживания k комбайнов (при работе транспорта с взаимодействием) для стационарного состояния:

$$\begin{cases} -\lambda m P_0 + s\mu P_1 = 0 \\ (m - k + 1)P_{k-1} - [(m - k) + s\mu]P_k + s\mu P_{k+1} = 0 \\ (1 \leq k < m) \\ \lambda m P_{m-1} - s\mu P_m = 0 \end{cases} \quad (18)$$

Проделав соответствующие преобразования, получим выражение для определения вероятности наличия в системе транспортного обслуживания k отказавших кормоуборочных комбайнов:

$$P_k = m(m-1)\dots(m-k+1)\left(\frac{\lambda}{s\mu}\right)^k P_0 = \frac{m!\left(\frac{\rho}{s}\right)^k}{(m-k)!} P_0 \quad (1 \leq k \leq m). \quad (19)$$

На основании зависимости (19) и используя нормирующее условие:

$$\sum_{k=0}^m P_k = 1, \quad (20)$$

получаем основные расчетные уравнения функционирования транспортного обслуживания кормоуборочных комбайнов:

– вероятность того, что система транспортного обслуживания комбайнов свободна, P_0 , определяется из выражения:

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^m \frac{m!\left(\frac{\rho}{s}\right)^k}{(m-k)!} \right]^{-1}, \quad (21)$$

– среднее число комбайнов (m_2), обслуживаемых транспортом и ожидающих выгрузку растительной массы в транспортное средство:

$$m_2 = \frac{\sum_{k=0}^m \frac{km!\left(\frac{\rho}{s}\right)^k}{(m-k)!}}{\sum_{k=0}^m \frac{m!\left(\frac{\rho}{s}\right)^k}{(m-k)!}}. \quad (22)$$

Полученные выражения (21)–(22) позволяют спрогнозировать безотказное и, как следствие, безопасное транспортное обеспечение кормоуборки.

В качестве организационных мероприятий для устранения отказов технологической системы кормоуборки по причине «транспорт», кроме использования дополнительного транспорта для отвозки растительной массы, предлагаются устройство промежуточных накопителей (стационарных или передвижных), подготовка подъездных дорог, снижение простоев транспорта на гонах, выгрузка на ходу без остановки комбайна и др. Для исключения травмоопасной ситуации при загрузке и выгрузке растительной массы из транспортного средства рекомендуется техническое устройство, защищенное патентом на изобретение [2].

Заключение

Предложены теоретические зависимости, позволяющие прогнозировать эффективность функционирования транспортного обеспечения кормоуборки. Предложены организационно-технические мероприятия для снижения производственного травматизма при загрузке и выгрузке растительной массы из транспортного средства.

Литература

1. Пиуновский, И. И. Интенсивные технологии механизированной заготовки кормов из трав и силосных культур: монография / И. И. Пиуновский, В. Р. Петровец. – Горки: БГСХА, 2012. – 397 с.
2. Устройство для блокирования самосвальной платформы транспортного средства: пат. 31146 Республики Казахстан на изобретение, МПК (2006.01) В 60 Р 1/04 / С. О. Нукушев, Н. Н. Романюк, В. А. Агейчик, А. Л. Мисун, Л. В. Мисун, В. Н. Романюк; заявитель Казахск. агротехн. ун-т. – Заявл. 16.04.2015; опубл. 16.05.2016 // Промышленная собственность. Официальный бюллетень / Нац. институт интеллектуал. собственности М-ва юстиции Респ. Казахстан. – 2016. – Бюл. № 5.

Н. Ф. Капустин, О. А. Дытман, О. Н. Буляк

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

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКОЙ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ НА ВЫХОД МЕТАНА ПРИ ИХ АНАЭРОБНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ

Рассмотрено влияние напряженности электрического поля на дезинтеграцию коллоидных частиц жидких отходов животноводства, критерием оценки служили выход метана в процессе их ферментации после приложения различного напряжения к электродам дезинтегратора и динамическая вязкость обработанного субстрата.

Ключевые слова: дезинтегратор, субстрат, коллоидные частицы, динамическая вязкость, напряженность электрического поля.

N. F. Kapustin, O. A. Dytman, O. N. Buliak

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: npcter@yandex.ru*

INFLUENCE OF ELECTRO-KINETIC DISINTERGRAPHY OF ORGANIC WASTE ON METHANE OUTPUT FOR THEIR ANAEROBIC FERMENTATION

The influence of the electric field intensity on the disintegration of colloid particles of animal waste was considered, the criterion for evaluation was the methane output during its fermentation after applying a different voltage to the disintegrator electrodes and the dynamic viscosity of the treated substrate.

Keywords: desintegrator, substrate, colloid particle, dynamic viscosity, electrostatic field strength.

Введение

Складывающаяся ситуация с энергопотреблением диктует необходимость существенного увеличения использования возобновляемых источников энергии и местных видов топлива. В такой крупной отрасли, как сельское хозяйство, значение вторичных энергоресурсов для покрытия недостатка жидкого топлива возрастает за счет возможности получения биогаза из навоза животных и отходов сельскохозяйственного производства с уменьшением при этом негативного воздействия животноводческих хозяйств на окружающую среду и получением электрической и тепловой энергии, а также органоминеральных удобрений.

Производство энергии из органических отходов становится важной отраслью сельского хозяйства Республики Беларусь. В связи с высокой концентрацией в агропромышленном секторе нашей страны животноводческих комплексов и птицефабрик в зоне их расположения образуется значительное количество потенциального биологического топлива, использование которого в биогазовой технологии позволит сократить применение традиционных видов энергии. В республике функционирует 15 биогазовых энергетических комплексов, в том числе 9 – в сельскохозяйственном секторе, 3 – в пищевой промышленности и 3 – в жилищно-коммунальном секторе. Беларусь намерена и дальше увеличивать биогазовые мощности.

Основная часть

Повышению эффективности работы биогазовых установок способствует предварительная подготовка субстрата к процессу его анаэробного брожения. Все известные способы подготовки субстрата к ферментации заключаются в создании комфортных условий для анаэробной пере-

работки органических отходов метанобразующими бактериями в один или несколько этапов, предусматривают подготовку сырья – от простого перемешивания до измельчения субстрата перед загрузкой в ферментер.

В мировой практике начинает активно использоваться электрокинетический метод дезинтеграции коллоидных частиц жидкого субстрата. Принцип работы данного метода заключается в воздействии бегущего электромагнитного поля на органическое сырье (рисунок 1), в результате чего клеточные мембраны деформируются и происходит разрушение клеточных стенок, сопровождаемое высвобождением их содержимого. Тем самым гидролизующим, окисляющим и метаногенным микроорганизмам обеспечивается более свободный доступ к питанию, что ведет к увеличению скорости разложения органики и повышению количественного выхода биогаза [1].

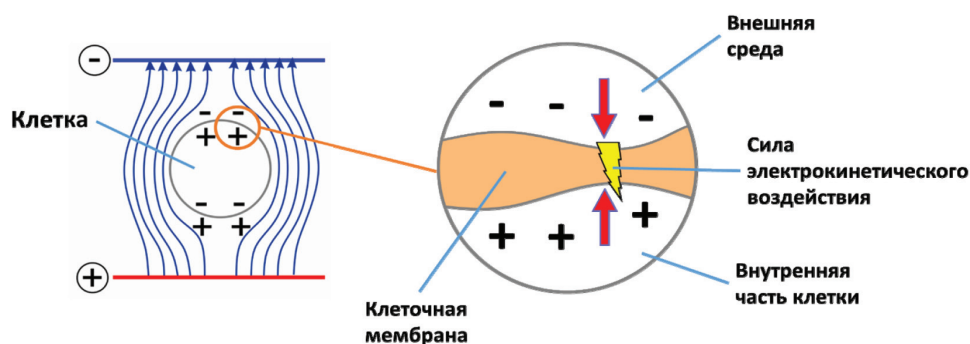


Рисунок 1. – Схема электрокинетического воздействия на клеточную мембрану

Использование электрокинетического метода дезинтеграции коллоидных частиц субстрата на биогазовых комплексах позволяет повысить активность процесса брожения органических отходов в биореакторе и увеличивает количественный выход биогаза на 10–15 % при минимальных инвестиционных затратах [2].

Кроме этого, за счет снижения вязкости субстрата при дезинтеграции коллоидных частиц могут быть снижены на 20–30 % энергозатраты на его перекачку и перемешивание.

Проведенные нами исследования по влиянию дезинтеграции коллоидных частиц полужидкого навоза крупного рогатого скота (КРС) на выход и состав биогаза при его анаэробной ферментации показали увеличение выхода метана. Например, удельный выход метана из навоза КРС (рисунок 2) с содержанием в нем 12,0 % сухого вещества увеличивался при изменении напряженности электрического поля от 130225 до 390677 В/м на 6,8–9,5 %, в то время как при содержании сухого вещества 8,0 % увеличение составляло около 5,3–8,9 % при прочих равных условиях.

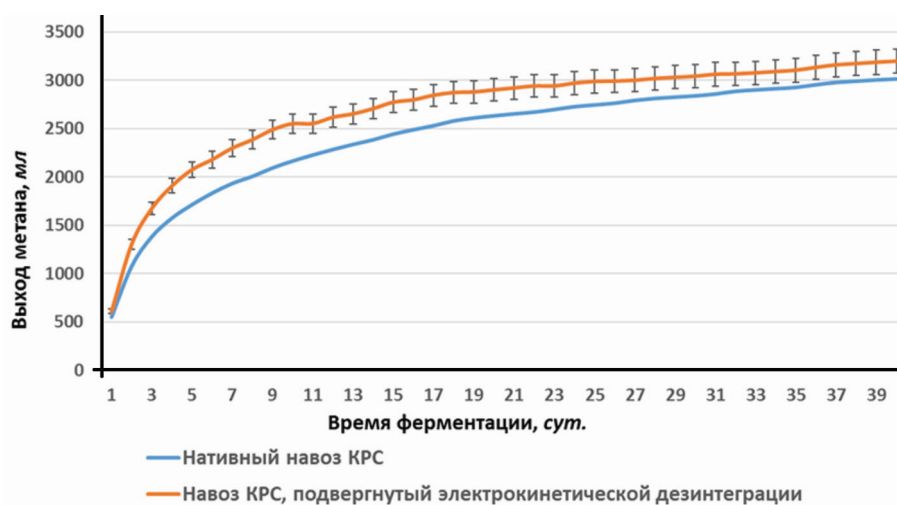


Рисунок 2. – Суммарный выход метана из навоза КРС с содержанием сухих веществ 12 % в процессе его ферментации после приложения различного напряжения к электродам дезинтегратора

Исследования влияния напряженности электрического поля и времени его приложения на вязкость полужидкого навоза дойных коров, полужидкого куриного помета и свиного навоза с различным содержанием в них сухого вещества показали наибольшее снижение их вязкости при воздействии электрического поля при более высоком содержании в отходах сухого вещества. Например, динамическая вязкость навоза дойных коров с содержанием в нем 12 % сухого вещества (рисунок 3) уменьшалась при изменении напряженности электрического поля от 0 до 390677 В/м приблизительно на 20 %, в то время как при содержании сухого вещества, равном 8 %, это снижение динамической вязкости составляло около 7 % при прочих равных условиях.

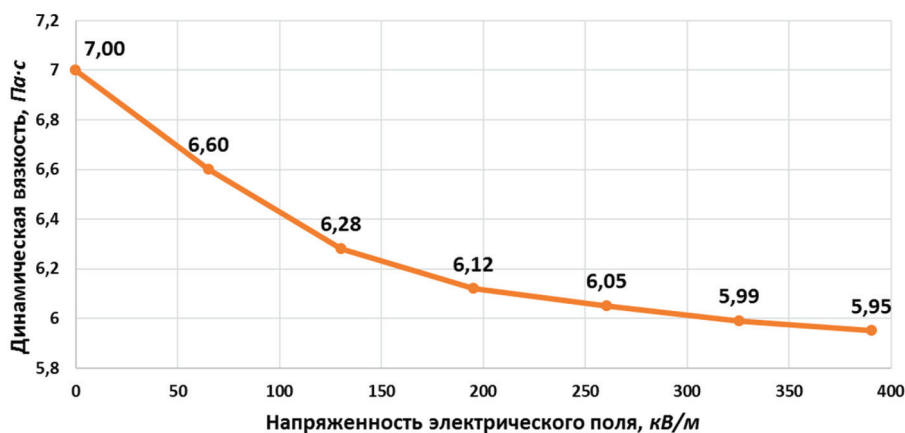


Рисунок 3. – Изменение динамической вязкости навоза дойных коров с содержанием сухих веществ 12 % в зависимости от напряженности воздействующего на него электрического поля

Заключение

Проведенные исследования по влиянию дезинтеграции коллоидных частиц органических отходов животноводства на выход и состав биогаза при его анаэробной ферментации показали, что воздействие электрического поля, приложенного к электродам, между которыми размещались пробы различных органических отходов животноводства с содержанием сухих веществ 8, 10 и 12 %, приводило к увеличению удельного выхода метана от 3 до 13 %. Наблюдалась интенсификация процесса анаэробной ферментации с увеличением выхода метана на 7–13 %, при этом энергопотребление модуля дезинтегратора составляло около 35 Вт. Также в ходе исследования установлено, что дезинтеграция на качественный состав биогаза влияла незначительно и рост метана в составе биогаза не превышал 2 %.

Литература

1. Veränderung der Schlammeigenschaften durch Einsatz elektrokinetischer Desintegration // Бохумский университет прикладных наук (Германия) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.hochschule-bochum.de/fileadmin/media/fb_b/Labore/Siwawi/Diplomarbeiten/pdf/Bachelorarbeit_Boos.pdf. – Дата доступа: 24.02.2016.
2. Сунцова, Ю. А. Энергетические аспекты анаэробной переработки органических отходов сельскохозяйственного производства / Ю. А. Сунцова, Н. Ф. Капустин // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2009. – Вып. 43. – Т. 2. – С. 129–133.

А. В. Ващула¹, В. А. Генин¹, М. В. Базулька², А. В. Захаров³, И. О. Захарова³

¹ГУ «Белорусская МИС»
г. Минск, Республика Беларусь

²ООО «Технологии земледелия»
г. Минск, Республика Беларусь

³УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: zaharov_av7@tut.by

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В статье рассмотрены некоторые аспекты точного земледелия. Показано, что, применяя вегетационный индекс и различные дозы внесения азотных удобрений, можно регулировать рост растений и затем с использованием космического изображения контролировать изменения.

Ключевые слова: точное земледелие, урожайность, вегетационный индекс, базы данных, норма внесения удобрений.

A. V. Vashchula¹, V. A. Genin¹, M. V. Bazulka², A. V. Zakharov³, I. O. Zakharova³

¹State Institution «Belarusian machine-testing station»
Minsk, Republic of Belarus

²Technology of agriculture LLC
Minsk, Republic of Belarus

³Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: zaharov_av7@tut.by

EXPERIENCE OF USE OF TECHNOLOGIES OF EXACT AGRICULTURE IN REPUBLIC OF BELARUS

In article some aspects of exact agriculture are considered. It is shown that with use of a vegetative index and various dose of introduction of nitrogen fertilizers it is possible to regulate growth of plants and to trap a difference with use of the space image.

Keywords: exact agriculture, productivity, vegetative index, databases, norm of application of fertilizers.

Введение

В современном мире технологии ведения сельского хозяйства развиваются стремительными темпами. Подорожание удобрений, горюче-смазочных материалов, средств химической защиты растений сказывается на итоговой стоимости произведенной продукции. Технологии точного земледелия позволяют без потери урожайности сэкономить до 20 процентов материалов.

Точное земледелие – это управление продуктивностью посевов с учетом внутрипольной вариативности среды обитания растений. Целью такого управления является получение максимальной прибыли при условии оптимизации сельскохозяйственного производства, экономии хозяйственных и природных ресурсов. При этом открываются реальные возможности производства качественной продукции и сохранения окружающей среды.

Для использования систем точного земледелия необходима детальная информация о состоянии почвы и растений. Эта информация может быть получена с использованием данных дистанционного зондирования Земли, почвенных сенсоров, датчиков массы и влажности зерна, агрохимического анализа почвы.

В настоящее время ресурсные спутники позволяют получать информацию о поверхности Земли в различных диапазонах длин волн с различным пространственным разрешением. Более

того, программы мониторинга сельского хозяйства активно развиваются. Ярким примером может служить то, что к концу 2017 года компания Planet labs запустит на орбиту 150 ресурсных спутников, которые могут быть использованы для различных сельскохозяйственных задач. Европейское космическое агентство и национальная геологическая служба США предоставляют открытый доступ к данным дистанционного зондирования Земли со спутников Sentinel и Landsat соответственно [1].

Почвенные сенсоры развиваются вслед за системами точного земледелия. В настоящее время почвенные сенсоры позволяют собирать информацию об электропроводности почвы, значениях pH, влажности почвы. Данные об урожайности сельскохозяйственных культур, наряду с информацией, полученной с почвенных сенсоров, являются неотъемлемыми при внедрении технологий точного земледелия. Комплексное использование этой информации может быть применено при построении сети элементарных участков [2].

Несмотря на значительное развитие технологий ведения сельского хозяйства, важнейшим этапом внедрения технологий точного земледелия является агрохимическое обследование почвы. Важно понимать, что информация, собранная с сенсоров и датчиков, только оптимизирует этот процесс, но ни в коем случае не заменяет его.

В данной статье мы постараемся поделиться опытом внедрения технологий точного земледелия в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь. Здесь следует отметить, что в ходе работ нами преимущественно было использовано оборудование Trimble, включая бортовые компьютеры, навигационное оборудование, датчики мониторинга урожайности, датчики вегетационной массы растительности и др. [3].

Основная часть

Первым этапом при внедрении точного земледелия в отдельно взятой сельскохозяйственной организации является создание реляционной базы данных, которая содержит информацию о границах рабочих и элементарных участков, данные агрохимического обследования почвы, информацию о севооборотах, дате сева и другую необходимую информацию, привязанную к конкретному рабочему или элементарному участку. Каждый векторный элемент базы данных (рабочий или элементарный участок) полностью автономен и может быть отредактирован.

В целом вид базы данных – это электронная книга истории полей, совмещенная с паспортом агрохимического обследования почвы и векторными границами участков.

Создание векторного слоя возможно двумя путями, первый из которых – это объезд поля с использованием GNSS-приемников в режиме RTK. Данная технология позволяет создавать границы полей с точностью 2 сантиметра, но у нее есть свои недостатки. Первый и наиболее значимый – GNSS-приемники с указанной точностью работают только на открытых пространствах: на границе поле/лес их точность значительно снижается, вплоть до полной потери сигнала спутника. Вторым недостатком является то, что данная технология достаточно дорога.

Другим вариантом получения информации о границах полей является оцифровка данных дистанционного зондирования Земли. В условиях Беларуси удобно использовать информацию, которую получает РСХАУП «БелПСХАГИ» путем аэрофотосъемки камерой Leica ADS 100. Данная камера позволяет получать 16-битные изображения в 4 спектральных каналах с разрешением до 5 сантиметров [4].

На большей части территории Республики Беларусь съемка производится с разрешением 30 сантиметров. В ходе обработки данных создаются векторные границы рабочих участков, которые в дальнейшем делятся на элементарные участки. Использование этого метода при создании электронной карты полей экономичнее предыдущего.

Преимуществами этого метода являются сопутствующая информация, такая, как цифровая модель местности, получаемая по результатам обработки стереопары, рассчитанные значения вегетационного индекса с использованием красного и ближнего инфракрасного спектрального канала.

Для Беларуси также актуален вопрос выявления технологических нарушений при ведении сельского хозяйства. Аэрофотоизображение с разрешением 30 сантиметров позволяют выявлять

проезды, совершенные не по технологическим полосам, перекрытия при внесении азотных удобрений, участки незаконно используемых либо неиспользуемых земель.

После создания базы данных сельскохозяйственной организации в ней собирается вся информация, необходимая при принятии производственных решений. Далее она загружается в геоинформационную программу, которая позволяет визуализировать всю пространственную информацию, а также получать из базы все необходимые данные о каждом поле.

Помимо этого, использование геоинформационной системы позволяет решать такие сопутствующие задачи, как расчет площади какой-либо части участка во время полевых работ, измерение расстояний переездов и разворотов техники. К компьютеру с установленной программой возможно подключить GNSS-антенну, которая позволяет визуализировать местоположение агронома на карте.

Все эти функции в значительной степени упрощают работу агронома. У нас накоплен значительный опыт внедрения геоинформационных систем в деятельность сельскохозяйственных организаций на общей площади свыше 35 тысяч гектаров.

Результаты исследований

Данное управление продуктивностью посевов достигается за счет дифференцированного внесения удобрений (далее – ДВУ) [5].

Эта методология позволяет пойти двумя различными путями, первый из которых – выравнивание плодородия рабочего участка путем внесения повышенной нормы удобрений на низкопродуктивных участках поля и снижения нормы внесения на высокопродуктивных участках. Другим направлением ДВУ является снижение нормы внесения на участках с низким потенциальным плодородием и увеличение дозы удобрений на высокопродуктивных участках. В первом случае мы выравниваем плодородие почвы и достигаем равномерного урожая в границах всего поля, а в другом – получаем максимальную прибыль при минимальных затратах.

Следует понимать, что с использованием методов точного земледелия мы не можем регулировать все факторы, которые оказывают влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. К ним можно отнести влажность почвы, значение солнечной инсоляции, уклон склона и другие. В основном все эти факторы находятся в тесной зависимости от рельефа. Это значит, что с использованием рельефа земной поверхности мы можем лимитировать норму внесения удобрений.

В 2015 году с использованием системы Trimble Harvest нами были собраны данные об урожайности на рабочем участке площадью 90 га (рисунок 1). На поле прослеживается значительная неоднородность, а значения урожайности различаются более чем в 3 раза.

У нас имелась цифровая модель рельефа этого участка с пространственным разрешением 30 сантиметров и с точностью по вертикали менее 30 сантиметров. С ее помощью нами были рассчитаны 18 морфометрических параметров, среди которых: индекс влажности, топографический индекс позиции и другие. В результате обработки данных и построения модели множественной регрессии нами за счет морфометрических параметров рельефа было объяснено 73 % вариации урожайных данных.

Также следует отметить, что в ходе обследования поля нами было отобрано более 130 образцов на участках с различной урожайностью. После этого в лаборатории был проведен анализ на содержание фосфора, калия, гумуса и величину почвенной кислотности.

Значения содержания гумуса колебались в широком диапазоне – от 1,03 до 3,97 процентов, среднее значение – 2,14, стандартное отклонение – 0,51.

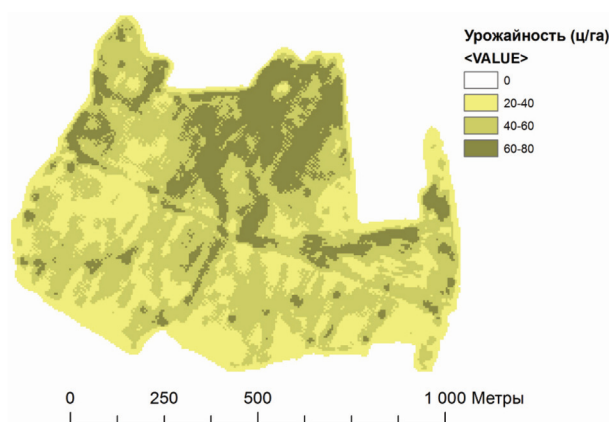


Рисунок 1. – Картограмма урожайности зерна озимой тритикале

Содержание фосфора находилось в диапазоне от 41 до 400 при среднем значении 134 мг/кг, стандартное отклонение – 61 мг/кг.

Содержание калия находилось в диапазоне от 140 до 500 мг/кг при его среднем содержании 370 мг/кг. Стандартное отклонение – 81 мг/кг.

Кислотность по полю варьируется в пределах от 4,95 до 7,15 единиц pH, среднее значение – 6, стандартное отклонение – 0,46.

Включение показателей агрохимического обследования в модель множественной регрессии не увеличило значения результирующего коэффициента детерминации. Другими словами, на исследуемом рабочем участке рельеф поля оказывает первостепенное влияние на урожайность.

Также следует отметить важность ретроспективного анализа полей. Для его осуществления нами были собраны данные дистанционного зондирования за 2002, 2005, 2010 и 2014 годы. Ниже на изображении (рисунок 2) представлено рассчитанное значение вегетационного индекса за 2014 год и урожайность зерна за 2015 год. В 2014 году на данном поле произрастал ячмень, а в 2015 году – озимая тритикале.

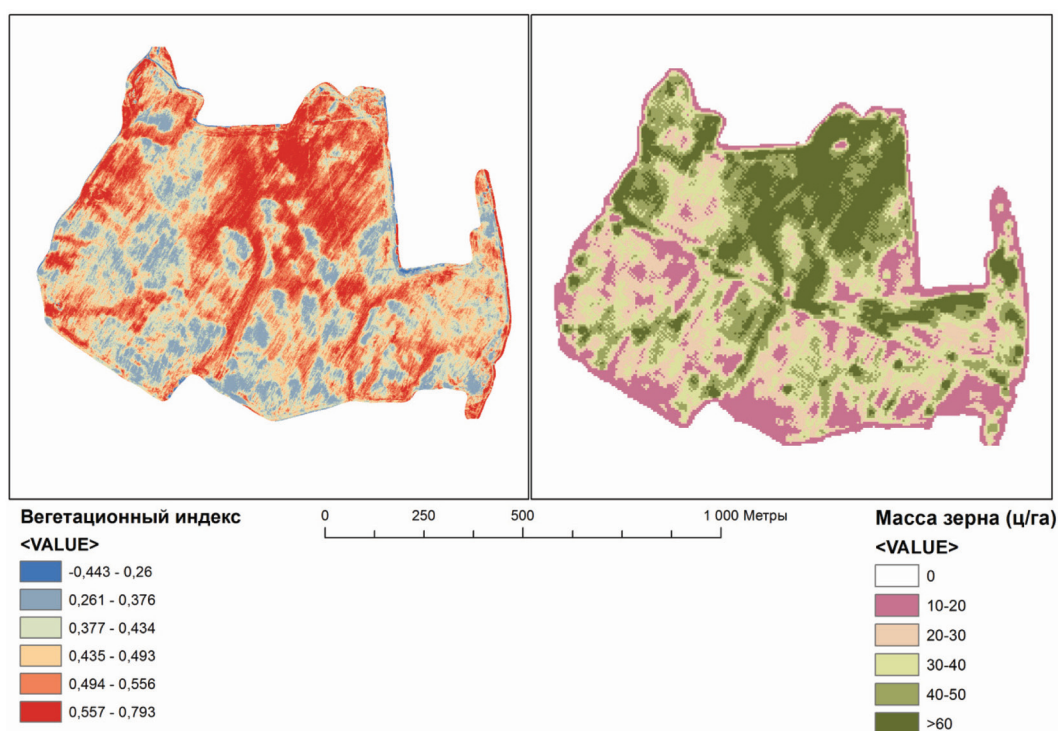


Рисунок 2. – Сравнение значений вегетационного индекса за 2014 год и значений урожайности за 2015 год

Большое сходство характера изображений на обоих рисунках очевидно, схожая картина наблюдается и за предыдущие годы, на основании чего можно заключить следующее: зоны с высокой и низкой урожайностью статичны и связаны с различиями в рельефе. Поэтому мы считаем, что выравнивание плодородия почвы на этом рабочем участке невозможно. В 2016 году норма внесения удобрений на данном поле будет снижена на участках с низкой урожайностью и повышена на участках с высокой урожайностью, что позволит сэкономить примерно 15 процентов минеральных удобрений и, предположительно, повысить урожайность возделываемой культуры.

В 2015 году нами также был произведен эксперимент по выравниванию плодородия на отдельно взятом рабочем участке. Для этого был использован вегетационный индекс, рассчитанный на основании космического изображения за 11 апреля 2015 года. Подкормка производилась 18 апреля; затем результат действия азотных удобрений был оценен с использованием вегетационного индекса за 4 мая 2015 года. Норма азота находилась в диапазоне от 180 до 250 килограммов карбамида на гектар. На участках с низкой вегетацией норма азотных удобрений была увеличена, а на участках с высокой вегетацией норма азотных удобрений была уменьшена.

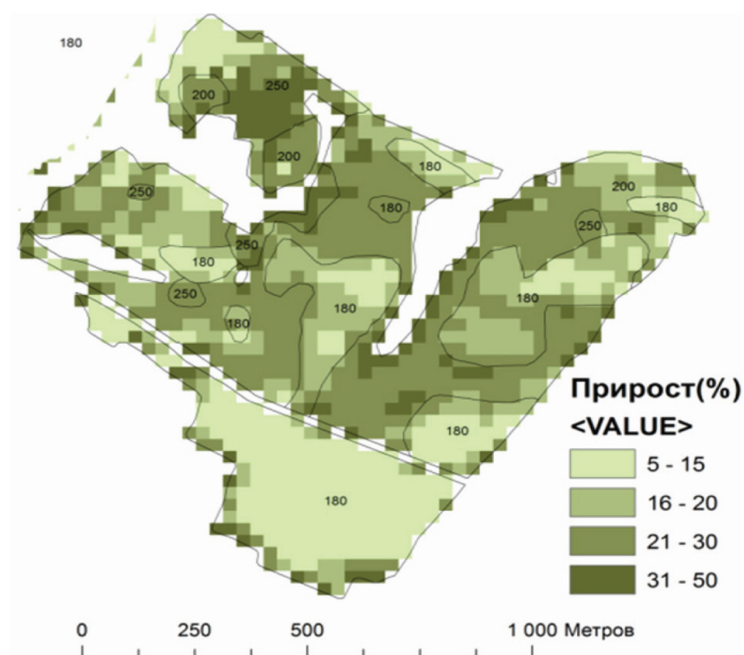


Рисунок 3. – Результат эксперимента по выравниванию плодородия на отдельно взятом рабочем участке

Результат представлен на рисунке 3, где прирост значения вегетационного индекса указан в процентах (разница вегетационных индексов за 11 апреля и 4 мая, деленная на среднее значение).

На рисунке 3 заметно, что максимальный прирост вегетационного индекса сосредоточен в зонах внесения 250 килограммов карбамида на гектар. Минимальный прирост наблюдается в зонах внесения 180 килограммов карбамида. Эксперимент был проведен с целью доказать, что с использованием вегетационного индекса и различной дозы внесения азотных удобрений мы можем регулировать рост растений и контролировать разницу с использованием космического изображения.

Заключение

Наши данные свидетельствуют о том, что с использованием космических снимков и оборудования Trimble мы можем управлять развитием растений и обеспечивать максимальную прибыль для сельскохозяйственных производителей. В статье рассмотрены только некоторые аспекты точного земледелия. Помимо них современные технологии позволяют картировать содержание гумуса в почве на основании данных дистанционного зондирования Земли и, основываясь на высокодетальных картах, дифференцировать норму внесения органических удобрений. Также при наличии актуальных данных агрохимического обследования можно дифференцировать внесение калийных и фосфорных удобрений в зависимости от их содержания по элементарным участкам.

Сельское хозяйство как никакая другая отрасль производства нуждается в высокодетальных данных. В статье было показано, что чем большим объемом информации располагают хозяйства о своих полях, тем эффективнее внедрение современных технологий. Важно то, что 80 процентов информации в сельском хозяйстве является пространственной, то есть она имеет координаты (данные об урожайности, влажность почв, содержание химических элементов). Геоинформационная система позволяет собирать и систематизировать все пространственные данные, а также осуществлять удобный и быстрый доступ к ним.

Литература

1. Данные Landsat 8 // EarthExplorer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://earthexplorer.usgs.gov>. – Дата доступа: 02.03.2015.
2. Баррет, Э. Введение в космическое земледелие / Э. Баррет, Л. Куртис. – М.: Прогресс, 1979. – 368 с.
3. Технология Trimble // Геомир. Инженерный центр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geomir.ru/info136.html>. – Дата доступа: 05.03.2015.
4. Аэрофотосъемочная система Leica ADS100 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/cameras-large-format/leica-ads100-airborne-digital-sensor>. – Дата доступа: 05.03.2015.
5. Кравцов, С. Л. Оценка концентрации органических веществ в почве методами дистанционного зондирования Земли / С. Л. Кравцов, Л. В. Орешкина // Информатика. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси. – 2009. – № 24 (4). – С. 124–133.
6. Данные OrbView 3 // Gis-lab [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gis-lab.inforqa/vi.html>. – Дата доступа: 02.03.2015.
7. Лаборатория SWFAL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.soiltesting.okstate.edu>. – Дата доступа: 05.03.2015.
8. Нормы внесения азотных удобрений // Торговый дом «Агрохим» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: td-agrohim.com.ua/article/30. – Дата доступа: 05.03.2014.

УДК 631.3

Поступила в редакцию 19.09.2017

Received 19.09.2017

Б. Я. Татьянченко, М. Я. Довжик, А. Н. Калнагуз

Сумской национальный аграрный университет

г. Сумы, Украина

e-mail: fakyltet-mex@ukr.net

ПУТЕШЕСТВИЕ БРАХИСТОХРОНЫ

С помощью вариационного метода на основе уравнения Эйлера-Лагранжа определена форма направляющей лопасти центробежного разгонного устройства, при которой твердая частица перемещается между двумя заданными точками центробежного поля минимальное время.

Ключевые слова: центробежное поле, брахистохрона, дифференциальное уравнение, уравнение Эйлера-Лагранжа, условие Лежандра.

B. Ya. Tat'yanchenko, M. Ya. Dovzhik, A. N. Kalnaguz

Sumy National Agrarian University

Sumy, Ukraine

e-mail: fakyltet-mex@ukr.net

THE TRAVEL OF THE BRAHISTROCHRONE

Using the variational method on the basis of the Euler-Lagrange equation, the shape of the guiding blade of a centrifugal accelerating device is determined, at which the solid particle moves for a minimum time between two given points of the centrifugal field.

Keywords: centrifugal field, the brachistochrone, differential equation, Euler-Lagrange equation, Legendre condition.

Введение

Поиском экстремумов функционалов ученые занимаются со времени появления дифференциального и интегрального исчисления. В истории науки видны следы этих поисков при решении самых разных задач. Одной из таких является задача об отыскании формы кривой скорейшего спуска в поле сил тяжести, которую пытался решить Галилей еще в 16 веке. Среди множества плоских кривых, соединяющих две точки, лежащие в одной вертикальной плоскости, следовало найти ту, двигаясь по которой под действием только сил тяжести, материальное тело из верхней точки достигает нижней точки за кратчайшее время. Такая линия называется брахистохроной (от греческого слова, которое в переводе означает «кратчайший»). Галилей ошибался,

считая, что это должна быть дуга окружности. Впервые эту задачу в 1696 году решил И. Бернулли. Наименьшее время ската он находил в виде минимума интеграла

$$t = \int_{x_1}^{x_2} \frac{ds}{v},$$

где x_1 и x_2 – координаты точек A и B (рисунок 1);

s – путь, проходимый материальной точкой;

v – скорость движения, которая в общем случае переменная.

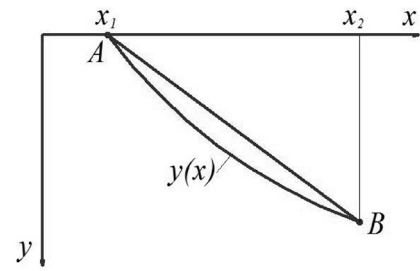


Рисунок 1. – Брахистохрона в поле сил тяжести

Если прямая AB представляет собой кратчайший путь между точками A и B , то найденная И. Бернулли кривая $y(x)$ – брахистохрона в поле тяжести. Это оказалась циклоида с горизонтальным основанием. Следует отметить, что еще в 1659 году Гюйгенс показал, что циклоида является решением задачи о таутохроне – кривой, для которой время, затраченное частицей, скользящей по ней вниз под действием однородной силы тяжести, в самой нижней точке не зависит от выбора начальной точки. Задачами поиска экстремумов функционалов занимались почти все известные ученые: Эйлер, Лагранж и другие. После И. Бернулли задачу о брахистохроне в поле сил тяжести решали Исаак Ньютон, Якоб Бернулли, Г. В. Лейбниц, Г. Ф. Лопиталь, Э. В. Чирнхаус – каждый своим методом. Как известно, метод решения, полученный И. Ньютоном, лег в основу важнейшей отрасли естествознания – вариационного исчисления.

Кроме поля сил тяжести, действующего на материальные тела около поверхности Земли и которое можно отнести к одному из параллельных силовых полей, существует еще и поле сил тяжести, вызываемое гравитационной массой, сосредоточенной в некоторой фиксированной материальной точке. Оно аналогично центробежному полю вокруг вращающегося тела с той разницей, что вектор силового воздействия в этом случае направлен от центра поля и называется центробежной силой, в то время как в поле сил тяжести он имеет противоположное направление и называется центростремительной силой. Это два вида так называемых центральных силовых полей, а именно вталкивающее и выталкивающее силовые поля. Впоследствии задача о брахистохроне в параллельном поле была решена также для случаев, когда движение материальной точки происходит по некоторой поверхности, например цилиндрической или конической. Это уже не плоские, а пространственные задачи [1]. Известна также работа, посвященная исследованию свойств брахистохроны в поле сил тяжести при действии разгоняющей силы и сил трения [2].

Задача о брахистохроне в центральном поле тяготения также сводится к исследованию на минимум функционала времени, для чего рекомендованы численные методы [3]. Известны также работы, например [4], посвященные отысканию необходимых траекторий и в центробежном поле. Однако там речь идет о нахождении некоторых оптимальных траекторий, но не о брахистохроне.

Задача о брахистохроне имеет много вариаций. В этой кривой заложены принципы самой природы. Как известно, принцип Ферма состоит в том, что свет всегда проходит расстояние за кратчайшее время. Именно исходя из законов оптики, И. Бернулли и нашел свою циклоиду. Можно рассматривать движение частиц под действием самых разнообразных сил также и в силовых полях различных конфигураций, например, в электромагнитных полях. Так, в ядерной физике реакция между элементарными частицами, точнее, поведение ядерной реакции вблизи так называемого резонансного значения энергии описывается брахистохроной – формулой Брейта – Вигнера, предложенной Г. Брейтом и Ю. Вигнером в 1936 году [5]. Эта формула позволяет определить вероятность ядерной реакции в зависимости от энергии бомбардирующей частицы, вызывающей данную реакцию.

Центробежные роторные механизмы нашли широкое применение в качестве вентиляторов, насосов и компрессоров, а также для сообщения скорости твердым частицам, например, в дробе-метных аппаратах для очистки или упрочнения поверхностей деталей, разбрасывателях минеральных удобрений, сушильных, сепаратных и перемешивающих устройствах. Разгон частиц материала во всех этих случаях производится при помощи лопастей вращающегося ротора. Этот

же принцип использован и в конструкции центрифуги рассеивающего типа [6], где самофугование частиц происходит во время их вращения относительно собственных центров тяжести при вылете из ротора, и в других конструкциях. Во всех перечисленных случаях большое значение имеет форма направляющих лопаток в зависимости от решаемых задач, из которых наиболее важными являются обеспечение нужной производительности, скорости частиц на выходе или минимального износа поверхности лопаток. Во многих случаях существенное влияние на указанные параметры оказывает время движения разгоняемой частицы вдоль направляющей лопатки. Поэтому задача об отыскании формы брахистохроны в центральном центробежном силовом поле является актуальной и имеющей большое прикладное значение. Это вопрос не только производительности соответствующего аппарата, он касается, прежде всего, взаимодействия скользящей массы с материалом основы. Принудительное движение должно быть максимально приближенным к естественному процессу, отражающему гармонию и рациональность природных явлений, в которых действует закон минимума энергетических потерь. Таким образом, можно предположить, что изогнутая в форме брахистохроны лопатка будет наилучшей во всех отношениях.

Попытка найти уравнение брахистохроны в центробежном поле была предпринята в 1982 году [7]. Были получены уравнения в полярных координатах и определены границы их применимости для практических целей. В данной работе приводятся некоторые уточнения и более подробное решение задачи о брахистохроне в центробежном поле, а также результаты исследования свойств этой кривой при различных исходных параметрах.

Основная часть

Пусть произвольная направляющая AB вращается с постоянной угловой скоростью ω относительно неподвижного центра O (рисунок 2). Материальное тело, попадая на эту направляющую в точке A с начальной относительной скоростью v_0 , движется под действием центробежной силы вдоль направляющей, и при отсутствии трения его скорость в произвольной точке будет

$$v = \sqrt{v_0^2 + \omega^2(r^2 - r_0^2)}, \quad (1)$$

где r_0 – начальный радиус-вектор движущейся точки, занимающий положение под углом φ_0 к оси Or ; r – текущее значение радиуса-вектора под углом φ к оси Or .

Функция $r = r(\varphi)$ кривой AB и ее производная $r' = dr/d\varphi$ неизвестны. Выражение для бесконечно малой дуги ds , соответствующей центральному углу $d\varphi$, будет

$$ds = \sqrt{(rd\varphi)^2 + dr^2} = \sqrt{(r^2 - r'^2)d\varphi}. \quad (2)$$

Время перемещения тела из точки A в точку B

$$t = \int_0^{t_k} \frac{ds}{v}.$$

С учетом выражений (1) и (2) находим

$$t = \frac{1}{\omega} \int_{\varphi_0}^{\varphi_k} f(\varphi) d\varphi, \quad (3)$$

$$\text{где } f(\varphi) = \sqrt{\frac{r^2 + r'^2}{r^2 - k^2}}; \quad k = \frac{\sqrt{\omega^2 r_0^2 + v_0^2}}{\omega}.$$

Необходимо найти минимум этого интеграла. Для этого должно выполняться условие Эйлера-Лагранжа:

$$f(\varphi) - r' \frac{df(\varphi)}{dr'} = C.$$

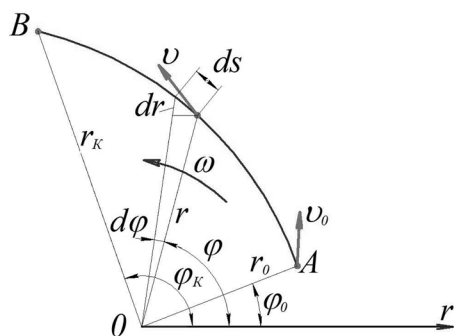


Рисунок 2. – Кривая движения частицы в центробежном поле

Это уравнение после дифференцирования принимает вид:

$$r^2 = C\sqrt{r^2 - r'^2}\sqrt{r^2 - k^2}. \quad (4)$$

Для того чтобы искомая экстремаль давала минимум определенному интегралу, должно выполняться условие Лежандра, требующее неотрицательности второй частной производной от функции $f(\varphi)$ по r' .

$$\frac{df(\varphi)}{dr'} = \frac{r'}{\sqrt{(r^2 + r'^2)(r^2 - k^2)}} = \frac{Cr'}{r^2}; \quad \frac{d^2f(\varphi)}{(dr')^2} = \frac{C}{r^2}.$$

Поскольку $r^2 > 0$, следовательно, постоянная C должна быть положительной. Из уравнения (4) получаем дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными

$$r' = \frac{dr}{d\varphi} = \frac{r}{C} \sqrt{\frac{r^2}{r^2 - k^2} - C^2},$$

которое приводится к виду:

$$d\varphi = C \left(\frac{rdr}{k^2 \sqrt{ar^4 + br^2 + c}} - \frac{dr}{r \sqrt{ar^4 + br^2 + c}} \right),$$

где $a = \frac{1-C^2}{k^4}$; $b = \frac{2C^2-1}{k^2}$; $c = -C^2$.

Интеграл первого слагаемого для $d\varphi$ находим, понижая степень подкоренных трехчленов подстановкой $r^2 = x$, выделяя затем полный квадрат от $\left(x + \frac{b}{2a}\right)$ и делая подстановку $t = x + \frac{b}{2a}$. В результате получим:

$$d\varphi = \frac{C}{2k^2} \cdot \frac{dx}{\sqrt{ax^2 + bx + c}} = \frac{C}{2k^2 \sqrt{a}} \cdot \frac{dx}{\sqrt{\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 + \frac{c}{a} - \frac{b^2}{4a^2}}} = \frac{C}{2\sqrt{1-C^2}} \cdot \frac{dt}{\sqrt{t^2 + m^2}},$$

где $m^2 = \frac{c}{a} - \frac{b^2}{4a^2} = -\frac{k^4}{4(1-C^2)^2}$.

Для случая $C < 1$, приняв $m = \frac{k^2}{z(1-C^2)}$, с использованием подстановки $t = tu$ и $u = 0,5(z + 1/z)$, где $z = u + \sqrt{u^2 - 1}$, находим:

$$d\varphi = \frac{C}{2\sqrt{1-C^2}} \cdot \frac{du}{\sqrt{u^2 - 1}} = \frac{C}{2\sqrt{1-C^2}} \cdot \frac{dz}{z},$$

или $\varphi_1 = \int d\varphi = \frac{C}{2\sqrt{1-C^2}} \ln|z| = \frac{C}{2\sqrt{1-C^2}} \ln|u + \sqrt{u^2 - 1}| + A_1,$

где $u = \frac{t}{m} = 2(1-C^2) \frac{r^2}{k^2} + 2C^2 - 1$.

В случае, когда $C > 1$:

$$d\varphi = \frac{C}{2\sqrt{1-C^2}} \cdot \frac{dt}{\sqrt{t^2 - m^2}} = \frac{C}{2\sqrt{C^2 - 1}} \cdot \frac{dt}{\sqrt{m^2 - t^2}},$$

тогда $\varphi_2 = \frac{-C}{2\sqrt{C^2-1}} \arcsin u + A_2$,

где $u = \frac{t}{m} = 2(1-C^2)\frac{r^2}{k^2} + 2C^2 - 1$.

Второе слагаемое для $d\varphi$ после интегрирования дает одинаковый результат как для $C < 1$, так и для $C > 1$. Решение получаем с использованием подстановок: $r^2 = x$ и $x = 1/t$, выделением полного квадрата от $\left(t + \frac{b}{2c}\right)$, а также при помощи последующей подстановки $p = t + b/2c$:

$$d\varphi = \frac{Cdx}{2x\sqrt{ax^2+bx+c}} = \frac{-Cdt}{2\sqrt{c} \cdot \sqrt{\left(t + \frac{b}{2a}\right)^2 + \frac{c}{a} - \frac{b^2}{4c^2}}} = \frac{-dp}{2\sqrt{-1} \cdot \sqrt{p^2+n^2}} = \frac{-dp}{2\sqrt{n^2-p^2}},$$

где $n^2 = \frac{a}{c} - \frac{b^2}{4c^2} = -\frac{1}{4k^4C^4}$.

Тогда $\varphi_3 = -\frac{1}{2} \arcsin v + D$,

где $v = \frac{p}{n} = \frac{\frac{1}{r^2} + \frac{b}{2c}}{\frac{1}{2k^2C^2}} = 1 - 2C^2 \left(1 - \frac{k^2}{r^2}\right)$.

Таким образом, имеем два решения:

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_3 = \frac{C}{2\sqrt{1-C^2}} \ln \left| u + \sqrt{u^2-1} \right| + \frac{1}{2} \arcsin v + C_1 \text{ при } C < 1;$$

$$\varphi = \varphi_2 - \varphi_3 = \frac{-C}{2\sqrt{C^2-1}} \arcsin u + \frac{1}{2} \arcsin v + C_2 \text{ при } C > 1,$$

где постоянные интегрирования $C_1 = A_1 - D$ и $C_2 = A_2 - D$ находятся из граничных условий, например, $(\varphi = 0, r = r_0)$. Постоянную C можно найти из граничного условия (φ_1, r_1) .

Так как при $C = 1$ имеем особое решение, рассмотрим этот случай отдельно. Принимая $C = 1$ в исходном дифференциальном уравнении, получим:

$$d\varphi = \frac{1}{kr} \sqrt{r^2 - k^2} dr$$

или после интегрирования

$$\varphi = \frac{1}{k} \sqrt{r^2 - k^2} - \arccos \frac{k}{r} + C_3.$$

Результаты исследований

Исследуя полученные решения, убеждаемся, что угол φ с увеличением r и C монотонно возрастает. Тогда из граничного условия (φ_1, r_1) получим

$$\varphi_{r=r_1} = \sqrt{\frac{r_1^2}{k^2} - 1} - \arccos \frac{k}{r_1}.$$

Далее, сравнивая полученную величину $\Phi_{r=r_1}$ с углом Φ_1 , определяющим конечную точку брахистохроны, заданную условиями задачи, можно решить вопрос о выборе нужного уравнения. Если $\Phi < \Phi_{r=r_1}$, необходимо применять первое решение, соответствующее $C < 1$. При $\Phi > \Phi_{r=r_1}$ используется второе решение ($C > 1$). Наконец, если $\Phi = \Phi_{r=r_1}$, искомым будет третье решение, соответствующее $C = 1$. Если в первом решении постоянная C может быть в пределах $0 < C < 1$, то второе решение имеет ограниченную область применения, что вытекает из условий существования $\arcsin u$ и $\arcsin v$.

На практике наиболее часто встречаются случаи, когда материальная частица попадает в центробежное поле на расстоянии r_0 от его центра, а ее начальной скоростью v_0 можно пренебречь. Тогда $k = r_0$ и отношение r/k в уравнениях брахистохроны будет равно r/r_0 . Постоянные интегрирования в полученных уравнениях в этом случае будут: $C_1 = -\frac{\pi}{4}$; $C_2 = \frac{\pi}{4} \left(\frac{C}{\sqrt{C^2 - 1}} - 1 \right)$; $C_3 = 0$, а условие существования $\arcsin u$ принимает вид: $\frac{r}{r_0} \leq \frac{C}{\sqrt{C^2 - 1}}$, что после подстановки в уравнение $\Phi = \Phi(r)$ и исключения постоянной C дает:

$$\Phi_1 \geq \frac{\pi}{2} \left(\frac{r_1}{r_0} - 1 \right).$$

Уравнения брахистохроны в случае $v_0 = 0$ будут:

$$\Phi = \frac{C}{2\sqrt{1-C^2}} \ln \left| u + \sqrt{u^2 - 1} \right| + \frac{1}{2} \arcsin v - \frac{\pi}{4} \text{ при } C < 1;$$

$$\Phi = \frac{1}{2} \arcsin v - \frac{C}{2\sqrt{C^2 - 1}} \arcsin u + \frac{\pi}{4} \left(\frac{C}{\sqrt{C^2 - 1}} - 1 \right) \text{ при } C > 1;$$

$$\Phi = \sqrt{\frac{r^2}{r_0^2} - 1} - \arccos \frac{r_0}{r} \text{ при } C = 1,$$

$$\text{где } u = 2 \left(1 - C^2 \right) \frac{r_0^2}{r^2} + 2C^2 - 1; \quad v = 1 - 2C^2 \left(1 - \frac{r_0^2}{r^2} \right).$$

На рисунке 3 представлен график, определяющий предельное значение постоянной C в зависимости от отношения r_1/r_0 , из которого следует, что при $r/r_0 > 1$ постоянная C тем более ограничена, чем больше отношение r/r_0 . Кроме этого, из рисунка 4 видно, что кривизна брахистохрон, соответствующих значениям $C > 1$, сильно возрастает при приближении к точке (r_0, Φ_0) , а каса-

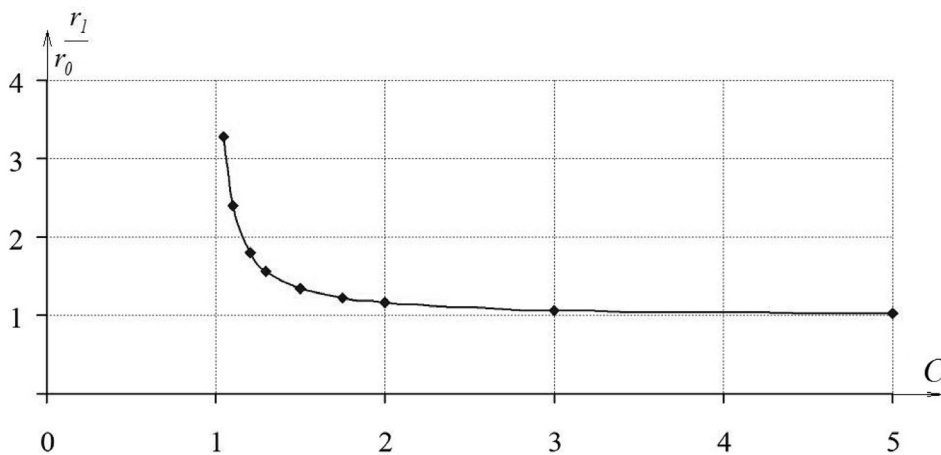


Рисунок 3. – Предельные значения постоянной C в уравнении $\Phi = \Phi(r)$ при $C > 1$

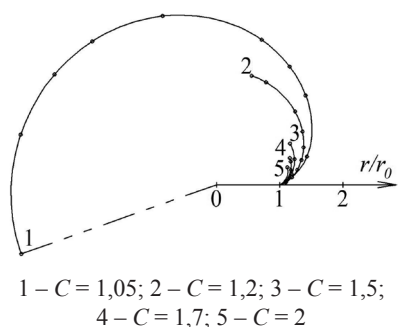
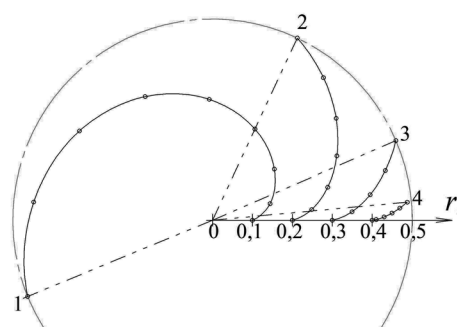
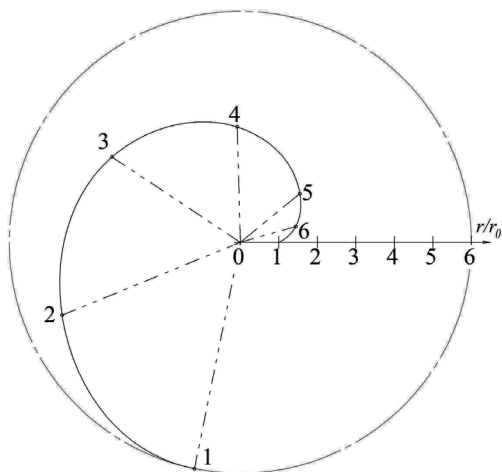


Рисунок 4. – Брахистохроны при $C > 1$



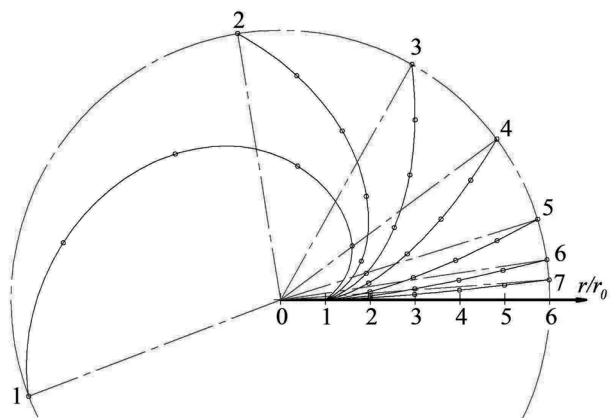
1 – $\varphi_1 = 202,23^\circ$; $r_0 = 0,1$ м; 2 – $\varphi_1 = 64,86^\circ$; $r_0 = 0,2$ м;
3 – $\varphi_1 = 23,26^\circ$; $r_0 = 0,3$ м; 4 – $\varphi_1 = 6,10^\circ$; $r_0 = 0,4$ м

Рисунок 6. – Профили направляющих при $C = 1$ и различных значениях r_0



1 – $\varphi = 258,56^\circ$; $r/r_0 = 6$; 2 – $\varphi = 202,23^\circ$; $r/r_0 = 5$;
3 – $\varphi = 146,38^\circ$; $r/r_0 = 4$; 4 – $\varphi = 91,53^\circ$; $r/r_0 = 3$;
5 – $\varphi_1 = 39,24^\circ$; $r/r_0 = 2$; 6 – $\varphi_1 = 15,87^\circ$; $r/r_0 = 1,5$

Рисунок 5. – Брахистохрона при $C = 1$ в относительных координатах r/r_0



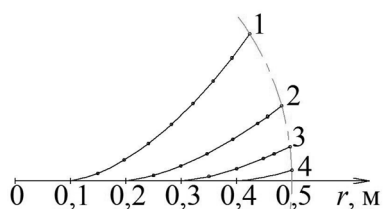
1 – $\varphi_1 = 200,88^\circ$; $C = 0,976$; 2 – $\varphi_1 = 99,13^\circ$; $C = 0,8$;
3 – $\varphi_1 = 60,79^\circ$; $C = 0,6$; 4 – $\varphi_1 = 36,59^\circ$; $C = 0,4$; 5 – $\varphi_1 = 17,37^\circ$;
 $C = 0,2$; 6 – $\varphi_1 = 8,58^\circ$; $C = 0,1$; 7 – $\varphi_1 = 4,28^\circ$; $C = 0,05$

Рисунок 7. – Брахистохроны в относительных координатах при $C < 1$

тельная к кривой составляет с радиальным направлением слишком большой угол. Поэтому при разгоне твердых частиц возможно заклинивание материала на поверхности направляющих лопастей даже при небольшом коэффициенте трения. Это настолько очевидно, что нет необходимости в определении условий отсутствия заклинивания. Однако при незначительной работе сил трения, например, в случае газообразного рабочего тела, такой профиль лопатки может быть рациональным, так как он обеспечивает большую абсолютную скорость на выходе, а следовательно, и напор газообразного потока.

Для практических целей более приемлемым является случай, когда $C = 1$. На рисунке 5 представлен профиль такой брахистохроны в относительных координатах r/r_0 , а на рисунке 6 – профили кривых при разных значениях r_0 .

Наиболее приемлемым на практике является случай, когда $C < 1$. На рисунке 7 показаны брахистохроны в относительных координатах r/r_0 при разных значениях C , а на рисунке 8 – брахистохроны в натуральных размерах. Очевидно, что с уменьшением φ и C кривизна кривой уменьшается и при $\varphi \rightarrow 0$ и $C \rightarrow 0$ брахистохрона приближается к радиальной прямой. Следовательно, линия наискорейшего перемещения материального тела в центробежном поле между двумя точками одного радиуса – прямая.



1 – $\varphi_1 = 32,13^\circ$; $r_0 = 0,1$ м;
2 – $\varphi_1 = 15,69^\circ$; $r_0 = 0,2$ м;
3 – $\varphi_1 = 7,09^\circ$; $r_0 = 0,3$ м;
4 – $\varphi_1 = 1,62^\circ$; $r_0 = 0,4$ м

Рисунок 8. – Брахистохроны при $C = 0,4$ и разных значениях r_0

Заключение

Проведенные исследования показывают, что профиль разгонных лопастей центробежных устройств в форме брахистохроны едва ли можно считать наиболее рациональным, несмотря на некоторое очарование этой кривой, возникшее в научном мире в последнее время. Кривизна лопатки на выходе из ротора хотя и уменьшается по сравнению с кривизной в начале движения, однако приводит к увеличению нормальной силы, а следовательно, и к увеличению сил трения. При определенных условиях возможно даже заклинивание материала. Как видно из рисунка 7, эти явления снижаются, когда профиль лопатки приближается к прямолинейному. С другой стороны, точное изготовление лопастей в форме брахистохрон требует более дорогой технологии, что не может быть оправдано незначительным выигрышем во времени движения частиц. Поэтому применение лопаток в центробежных разгонных устройствах в форме брахистохроны или в виде другого криволинейного профиля может быть оправдано только в отдельных случаях, например, в конструкциях центробежных насосов, вентиляторов или турбин.

Литература

1. Поверхностные брахистохроны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://oasdv.narod.ru/Brachistochron.pdf>. – Дата доступа: 14.08.2017.
2. Вандухов, А. С. Брахистохрона при действии разгоняющей силы, а также сухого и вязкого трения: автореф. дис. ... канд. физ.-мех. наук / А. С. Вандухов; МГУ им. М. В. Ломоносова // Механико-математический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mech.math.msu.su/~snark/files/diss/0138auto.pdf>. – Дата доступа: 14.08.2017.
3. Задача о брахистохроне в центральном поле тяготения // Институт математики и механики УрО РАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://home.imm.uran.ru/iagsoft/brach/netrad_.html. – Дата доступа: 14.08.2017.
4. Шатохин, В. М. Оптимальные траектории точки, перемещающейся под действием центробежной силы инерции / В. М. Шатохин, Н. В. Шатохина // Ст. в журн. «Восточно-европейский журнал передовых технологий». – Харьков: Технологический центр, 2012. – № 7 (58). – Т. 4. – С. 9–14.
5. Формула Брейта-Вигнера // Большая советская энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://endic.ru/enc_sovet/Breta---vignera-formula-55679.html. – Дата доступа: 14.08.2017.
6. Холин, Б. Г. Способ центрифугирования зернистых материалов и фактор разделения центрифуги / Б. Г. Холин, Б. Я. Татьянченко // Теоретические основы химической технологии. – 1979. – № 3. – Т. III.
7. Холин, Б. Г. Брахистохрона в центробежном поле / Б. Г. Холин, Б. Я. Татьянченко // Известие Вузов. Машиностроение. – 1982. – № 2.

СОДЕРЖАНИЕ

Яковчик С. Г., Бакач Н. Г., Салапура Ю. Л., Дыба Э. В. Перспективные направления создания инновационной сельскохозяйственной техники в Республике Беларусь.....	3
Лепешкин Н. Д., Точицкий А. А., Мижурин В. В., Заяц Д. В. Основные направления развития механизации обработки почвы и посева в Республике Беларусь до 2030 года.....	10
Степук Л. Я., Лепешкин Н. Д., Бегун П. П., Рассошенко К. М. Методические аспекты определения потребного количества машин для внесения навоза	16
Адамчук В. В., Погорелый С. П., Черняк Р. Е., Дунь С. В. Экспериментальные исследования мобильного энергетического средства МЭС-330 «Автотрактор» на пахоте	25
Адамчук В. В., Прилуцкий А. Н. Теоретические исследования влияния колебательного движения решет на эффективность сепарирования зерновых смесей	28
Басаревский А. Н., Мажугин И. Е. Аналитический обзор рабочих органов активного типа планировщика-рыхлителя для откосов мелиоративных каналов	34
Басаревский А. Н., Кострома С. П. Анализ средств механизации и способов посева многолетних трав на откосах мелиоративных каналов	39
Басаревский А. Н., Мажугин И. Е. Обоснование конструктивных параметров фрезы-планировщика с зигзагообразным расположением роторов	44
Буяшов В. П., Николаевич А. И., Астрахан Б. М. Исследование условий функционирования машин для уборки картофеля.....	48
Крук И. С., Колоско Д. Н., Назаров Ф. И., Чигарев Ю. В., Тиунчик А. А., Бакач Н. Г., Мазур Д. С. Прочностной расчет параметров уплотняющих элементов почвообрабатывающих кольчато-прутковых катков.....	55
Дыба Э. В., Подшиваленко И. Л. Исследование влияния частоты вращения ротора на неравномерность подачи жидкого навоза и потребную мощность	62
Голдыбан В. В., Воробей А. С., Барановский И. А. Грядоделатель навесной ГН-1 для нарезки и формирования гряд – залог качественной подготовки почвы для посадки картофеля и топинамбура	66
Чеботарев В. П. Расчет параметров пневматического сепарирующего канала для очистки зерна	68
Чеботарев В. П. Обоснование выбора производительности зерноочистительно-сушильного комплекса	73
Перепечаев А. Н., Карпунин В. И., Кислов Е. В. О технологиях углубленной переработки льнозаводами костры и низкосортного короткого волокна	81
Кислов Е. В., Перепечаев А. Н. Анализ конструктивно-технологической схемы линии выработки короткого льноволокна фирмы VANHAUWAERT	86
Зубенко Д. В. Исследования качества работы пневматической высевающей системы централизованного дозирования посевного материала	93
Голдыбан В. В., Барановский И. А. Перспективы разработки средств механизации для уборки сахарной свеклы из кагатов в Республике Беларусь	98
Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В., Заяц Д. В. Исследование уровня патентования дозирующих устройств ...	103
Чеботарев В. П., Лепешкин Н. Д., Козлов Н. С. Расчет параметров нормализатора стерни высокостебельных культур.....	107
Козлов Н. С., Чеботарев В. П. Энергетическая оценка процесса измельчения растительных остатков спирально-ножевидным катком после уборки высокостебельных сельскохозяйственных культур.....	110
Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В., Заяц Д. В. Анализ дозирующих устройств посевных машин и определение пути их совершенствования для высева трудносыпучих семян трав	114
Ленский А. В., Жешко А. А. Технологические особенности возделывания картофеля в различных почвенных условиях	119
Комлач Д. И., Еднач В. Н., Бондаренко Д. Н. Определение экономической эффективности картофелесортировальной машины с комбинированной калибрующей поверхностью	126
Юрин А. Н., Викторovich В. В., Чететкин А. Д. Результаты теоретических исследований по обоснованию конструктивно-технологической схемы агрегата самоходного универсального АСУ-6	132
Юрин А. Н., Викторovich В. В. Обоснование рабочей скорости движения плодуборочного агрегата.....	136

Юрин А. Н., Викторovich В. В. Результаты экспериментальных исследований полноты сбора плодов и их повреждений при механизированной уборке.....	142
Передня В. И. Развитие исследований по механизации и автоматизации технологических процессов на молочно-товарных фермах (к 70-летию со дня образования РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»).....	147
Афанасьев В. А. Состояние и основные тенденции развития комбикормовой промышленности России	155
Передня В. И., Башко Ю. А., Кувшинов А. А., Ступчик И. А. К вопросу определения эффективного ресурса сосковой резины	160
Пунько А. И. Обзор технологий и анализ конструкций устройств для внутренней очистки силосов.....	166
Чумаков В. В., Барановский И. В., Жилич Е. Л. Оборудование для производства экструдированных высокоусвояемых кормов на основе зернобобовых культур.....	170
Лабоцки И. М. Технологические особенности и техническое обеспечение заготовки сена.....	174
Дрозд С. А. Применение ресурсосберегающей технологии двухстадийного измельчения зернофуража в условиях реального производства.....	181
Дрозд С. А. Экспериментально-теоретическое обоснование передаточного отношения между вальцами при двухстадийном измельчении зернофуража.....	186
Кузьменко В. Ф., Максименко В. В., Ямпольский С. Н. Экспериментальное обоснование параметров ускорителя массы кормоуборочного комбайна.....	194
Авраменко П. В., Крылов С. В., Бойко Т. В., Салапура Ю. Л. Обеспечение качественных показателей при внесении жидких консервантов на высокопроизводительных кормоуборочных комбайнах	200
Гутман В. Н. Научно-техническое обеспечение инновационных технологий в свиноводстве (к 70-летию со дня образования РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»).....	204
Ленский А. В., Жешко А. А. Анализ методов расчета оптимальных маршрутов движения машинно-тракторного агрегата по полювому участку произвольной конфигурации	212
Рублев В. И. К обоснованию производственных площадей предприятия материально-технического обеспечения как объекта инженерной инфраструктуры сельскохозяйственного производства	220
Михайловский Е. И. Обоснование теоретических аспектов влияния процесса снабжения материальными ресурсами на эффективность управления производственными затратами организации.....	225
Тарасенко В. Е., Жешко А. А. Определение экономичных режимов работы автотракторных двигателей	232
Андруш В. Г., Хвоцинская Л. А. Ресурсосбережение при селективном установлении продолжительности обкатки двигателей	237
Мирутко В. В., Семин Е. В., Гуль А. С. Совершенствование технологии очистки двигателя и его деталей при ремонте	243
Пархоменко С. Г., Пархоменко Г. Г. Моделирование технологических процессов по информационным параметрам на примере расчета двигателя Д-240	249
Крылов С. В., Авраменко П. В., Бакач Н. Г., Иванов А. В., Наумик А. В. Необходимость совершенствования ТКП 148–2008 «Испытания сельскохозяйственной техники, машин и оборудования для переработки сельскохозяйственного сырья. Основные положения»	256
Крылов С. В., Бакач Н. Г., Наумик А. В., Гришкова Е. Н. Проблемы использования ГОСТ Р52778–2007 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки».....	258
Мисун А. Л., Круглый П. Е., Мисун Л. В., Корбут С. Н. Организационно-технические мероприятия для повышения эффективности и безопасности транспортного обеспечения уборки кормовых культур	261
Капустин Н. Ф., Дытман О. А., Буляк О. Н. Влияние электрокинетической дезинтеграции органических отходов на выход метана при их анаэробной ферментации	266
Ващула А. В., Генин В. А., Базулька М. В., Захаров А. В., Захарова И. О. Опыт использования технологий точного земледелия в Республике Беларусь	269
Татьянченко Б. Я., Довжик М. Я., Калнагуз А. Н. Путешествие брахистохроны	274

Научное издание

МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Межведомственный тематический сборник

Основан в 1968 году

Ответственный за выпуск А. М. Дудик
Редактор-корректор А. С. Борейша
Компьютерная верстка Н. И. Кашуба

Подписано в печать 20.02.2018. Формат 60×84 ¹/₈.
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 33,02. Уч.-изд. л. 22,8. Тираж 100 экз. Заказ 30.

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.