

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ



**Республиканское унитарное предприятие
«Научно-практический центр
Национальной академии наук Беларуси
по механизации сельского хозяйства»**

**Механизация и электрификация
сельского хозяйства**

Межведомственный тематический сборник
Основан в 1968 году

Выпуск 49

Минск
НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства
2015

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 технических наук, доцент Н.Г. Бакач

(зам. главного редактора);

доктор технических наук, доцент,

член-корреспондент НАН Беларуси В.В. Азаренко;

доктора технических наук, профессора В.Н. Дашков, В.И. Передня,

И.И. Пиуновский, Л.Я. Степук, И.Н. Шило;

доктор технических наук, доцент И.И. Гируцкий;

кандидат технических наук, профессор В.П. Миклуш;

кандидаты технических наук, доценты В.Н. Гутман, В.О. Китиков,

В.К. Клыбик, Н.Д. Лепешкин, В.П. Чеботарев, М.Н. Трибуналов;

кандидаты экономических наук, доценты В.Г. Самосюк, Е.И. Михайловский;

кандидаты технических наук В.М. Изоитко, Н.Ф. Капустин, А.Л. Рапинчук;

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,

И.И. Пиуновский, Л.Я. Степук, И.Н. Шило;

доктор технических наук, доцент И.И. Гируцкий.

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.

Введение

Современные рыночные условия хозяйствования, необходимость обеспечения продовольственной безопасности государства требуют повышения эффективности ведения сельскохозяйственного производства и конкурентоспособности его продукции. Осуществимо это только при переходе на инновационный путь развития, предполагающий использование достижений научно-технического прогресса (НТП) и передового производственного опыта. НТП во всем мире рассматривается как главное условие модернизации экономики, систематического обновления ее материально-технического потенциала и является ключевым системным фактором повышения эффективности любого производства. В процессе НТП достижения науки реализуются двояко: с одной стороны, в материально-вещественной форме, прежде всего в виде новой техники, а с другой стороны – в неовещественной форме, через технологию и организацию производства. Уровень развития производственных сил определяется в первую очередь уровнем развития технических средств производства [1].

Основная часть

Создание современной конкурентоспособной техники для агропромышленного комплекса невозможно без использования результатов агроинженерной и смежных с ней наук, а также применения мировых достижений в области машиностроения, материаловедения и информационных технологий.

По своей направленности, по отношению к практике отдельные науки принято разделять на фундаментальные и прикладные.

Фундаментальная наука – это наука, занимающаяся исследованием основополагающих сторон существования материи, жизни, общества, мышления, окружающей среды, не преследующая цели непосредственного получения конкретных результатов, которые можно применять в практике. В свою очередь, она является базой для прикладных наук.

Прикладная наука – это наука, направленная на получение конкретного научного результата, который актуально или потенциально может использоваться для удовлетворения частных или общественных потребностей. Непосредственная цель прикладных наук – применение результатов

фундаментальных наук для решения как познавательных, так и практических проблем. Здесь критерием успеха служит не только достижение истины, но и мера удовлетворения социального заказа [2].

Деление научных исследований на фундаментальные и прикладные является довольно сложным и условным, так как отдельные результаты фундаментальных исследований могут непосредственно применяться на практике. Техническая и технологическая основа современного сельскохозяйственного производства базируется на многочисленных фундаментальных науках, одна из них – земледельческая механика, которую впервые как новую научную дисциплину представил академик В.П. Горячкин. До ее возникновения агроинженерная наука имела характер «описательного» машиноведения и носила разобщенный характер исследований.

Земледельческая механика – это техническая наука, которая развивается в тесной связи с требованиями сельскохозяйственного производства и изучает механику сельскохозяйственных сред и материалов, технологических процессов и операций, машин и механизмов, машинных агрегатов, поточных линий и систем машин, динамику системы «человек – машина» в сельском хозяйстве, а также технологические процессы, базирующиеся на использовании немеханических (тепловых, электрических и др.) видов энергии, и разрабатывает методы инженерного расчета и проектирования для механизации, электрификации и автоматизации сельского хозяйства [3].

Таким образом, земледельческая механика разрабатывает научно-технические и механико-математические методы построения необходимых для сельскохозяйственного производства механических систем, в частности орудий производства, машин и машинных агрегатов, то есть фактически является теоретической основой для создания сельскохозяйственной техники. Безусловно, теоретические исследования взаимодействия рабочих органов с различными материалами, методы описания сложных динамических систем дают возможность разработать методику расчета конструктивных параметров и технологических режимов работы сельскохозяйственных машин, уменьшить затраты средств и времени на экспериментальные исследования. Для обоснования параметров сельскохозяйственных орудий и машин с учетом динамических нагрузок и взаимодействия рабочих органов с почвой или материалом необходимы глубокие знания по земледельческой механике, которую академик В.П. Горячкин назвал «посредником между механикой и природоведением, т. е. механикой мертвого и живого тела». Методологической основой земледельческой механики являются три элемента, которые составляют технологический процесс: объект обработки, рабочий орган, энергетическое средство. В земледельческой механике заложены также научные методы исследований и проектирования сельскохозяйственных

машин: «...теория освещает пути развития техники и определяет направление научно-технического прогресса» [4].

Очевидно, что создание современной высоконадежной сельскохозяйственной техники невозможно без применения современных методов ее конструирования, всеохватывающего исследования, точных расчетов, полномасштабного испытания, высококачественного изготовления с заданным прогнозом надежности всей машины. Помимо этого, организация экспериментов была и остается неотъемлемой насущной задачей при создании сельскохозяйственных машин, так как зачастую процесс взаимодействия рабочих органов с сельскохозяйственными средами невозможно описать теоретически или аналитически. Кроме того, необходимо поддерживать так называемую «эксплуатационную надежность» сельскохозяйственных машин на основе разработки новых научных методов технического сервиса и ремонта. Этой культуры производства и традиций на большинстве заводов сельскохозяйственного машиностроения существенно недостает.

В настоящее время в республике практически не ведутся научные изыскания и фундаментальные исследования по разработке новых методов и технических средств для технического сервиса машин и оборудования, что позволило бы значительно повысить ресурс эксплуатируемой сельскохозяйственной техники и вести работы по своевременному диагностированию и предупреждению неисправностей. Технический сервис и научно обоснованная эксплуатация машинно-тракторного парка должны стать неотъемлемой частью общей системы разработки и эксплуатации машин и оборудования в сельском хозяйстве. Игнорирование этого на практике приводит к значительным экономическим затратам на поддержание парка хозяйств в работоспособном состоянии и к дорогостоящим ремонтам.

Несмотря на достигнутые положительные результаты в агроинженерной науке, вопрос полного использования резерва повышения производительности машин и оборудования не потерял своей актуальности до сих пор. Очевидно, что этот показатель будет всегда главенствующим при создании новых машин и усовершенствовании технологических процессов производства различной сельскохозяйственной продукции. Тщательно обоснованные оптимальные рабочие скорости самоходных машин и сельскохозяйственных агрегатов, соотношение их с шириной захвата, массой самих машин, их рабочих органов и материалов непосредственно связаны с энергоемкостью технологических процессов. Поэтому данному направлению необходимо уделять как можно больше внимания при проектировании, поскольку сельскохозяйственные машины отечественного производства зачастую уступают мировым аналогам именно по критерию энергоемкости.

Очевидно, что использование современных методов и способов описания сложных динамических систем, которыми являются сельскохозяйственные машины, необходимых для получения оптимальных решений по выбору параметров и режимов их работы – важнейшее направление исследований агроинженерных ученых и конструкторов в области сельскохозяйственного машиностроения [5]. Серьезным подспорьем в этом является применение при разработке и конструировании пакетов прикладных компьютерных программ, методов имитационного моделирования и прогнозирования.

Как известно, во всем цивилизованном мире производители техники постоянно вкладывают в собственные технические решения значительные средства (до 10 % от выручки), начиная с затрат на фундаментальные теоретические и экспериментальные исследования, на создание очень дорогих устройств и стендов для исследований и испытания своей продукции, поддержание ее наивысшего технического уровня.

Таким образом, для создания техники мирового уровня при наличии собственного широко развитого сельскохозяйственного машиностроения необходим плодотворный союз производителей и ученых.

На современном этапе ученые-агроинженеры должны работать над такими важнейшими фундаментальными и прикладными вопросами земледельческой механики, как:

- фундаментальные и теоретические основы проектирования и методы исследования и испытания сельскохозяйственных машин и механизмов;
- механика сельскохозяйственных сред и материалов;
- динамика мобильных энергетических средств и машинно-тракторных агрегатов.

Неотъемлемым требованием сегодняшнего дня становятся полная автоматизация и роботизация технологических процессов в сельском хозяйстве, позволяющие избежать или минимизировать влияние человеческого фактора на процесс производства продукции и, что является первостепенным, снизить удельные затраты энергии при повышении производительности труда.

В связи с этим дополнительно к фундаментальным и прикладным вопросам земледельческой механики следует добавлять такие научные направления, связанные с применением информационных и высоких технологий 6-го технологического уклада, как:

- разработка и использование технологий системы точного земледелия и точного животноводства в сельскохозяйственном производстве с переходом к реализации прецизионного сельского хозяйства «Precision Farming»;
- разработка и использование нанотехнологий в сельскохозяйственном производстве.

Основным направлением развития агроинженерной науки в части создания и эксплуатации технических средств является ресурсосбережение. Причем не конкретно взятой технологической операции или машины, а комплекса взаимоувязанных технических средств для возделывания сельскохозяйственных культур и механизации технологических процессов животноводства. И здесь также не обойтись без современных научных знаний по земледельческой механике, триботехнике, мехатронике, используемых в тесной кооперации с агрономией, зоотехнией и ветеринарией. Агроинженерная наука должна значительно расширить направления своих исследований, без чего невозможно создание малозатратной и конкурентоспособной продукции.

При этом следует отметить, что последнее время развитию фундаментальной агроинженерной науки в республике уделяется мало внимания как со стороны академической, так и вузовской науки. Одной из причин этого является низкий технический уровень, моральный и физический износ приборной базы, отсутствие по некоторым направлениям и недостаточный состав научных школ. Корни проблемы также и в слабой научной связи академической и вузовской науки, отсутствии значимых совместных работ. Следует активизировать совместную работу академических технологических институтов с ведущими техническими аграрными вузами с целью повышения технического и научного уровня исследований и привлечения широкоплановых специалистов к разработкам.

Реализация фундаментальных научных проектов в области агроинженерных исследований дает возможность отрабатывать конструкторские решения и технологические операции на макетных образцах, что снижает уровень риска при разработке машин. Это позволяет повысить качественный и технический уровень проектируемых машин и, как итог, гарантированно обеспечить их конкурентоспособность на мировых рынках. Уже на этой стадии исследований необходима слаженная и четкая работа с технологическими институтами Национальной академии наук Беларуси и образовательными и производственными учреждениями, так как именно у последних чаще всего отсутствует заинтересованность в конечной реализации научных идей и разработок в производстве.

Заключение

Земледельческая механика была и остается фундаментальной и теоретической основой разработки и эксплуатации технических средств в сельском хозяйстве, без развития которой невозможно создание машин и оборудования для агропромышленного комплекса, отвечающих современным требованиям. Ее дальнейшее совершенствование возможно только при слаженном совместном взаимодействии академических технологических институтов с ведущими

ми техническими аграрными вузами. Дополнительно к фундаментальным и прикладным вопросам земледельческой механики следует добавлять научные направления, связанные с применением информационных и высоких технологий 6-го технологического уклада, без реализации и применения которых невозможно создание техники завтрашнего дня.

19.11.2015

Литература

1. Огородников, П.И. Основные направления научно-технического прогресса в сельском хозяйстве / П.И. Огородников, Е.П. Огородникова, Т.В. Кретьева // Экономика региона. – 2008. – Приложение к № 2. – С. 194–199.
2. Титов, В.Н. Институциональный и идеологический аспекты функционирования науки / В.Н. Титов // Социологические исследования. – 1999. – № 8. – С. 66.
3. Калетнік, Г.М. Землеробська механіка – теоретична база сучасної сільськогосподарської техніки / Г.М. Калетнік, А.С. Зарішняк, В.В. Адамчук, В.М. Булгаков // Механізація та електрифікація сільського господарства: Міжвідомчий тематичний науковий збірник / ННЦ «ІМЭСХ»; редкол.: В.В. Адамчук [и др.]. – Глеваха, 2013. – Вип. 98. – Том 1. – С. 31–43.
4. Сыроватка, В.И. «Земледельческая механика» В.П. Горячкина – научная основа разработки машин и процессов механизации животноводства / В.И. Сыроватка // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 2. – С. 3–5.
5. Лінник, М.К. Пріоритетні напрями наукових досліджень з механізації сільського господарства / Г.М. Калетнік, А.С. Зарішняк, В.В. Адамчук, В.М. Булгаков // Механізація та електрифікація сільського господарства: Міжвідомчий тематичний науковий збірник / ННЦ «ІМЭСХ». – Глеваха, 2001. – Том X. – С. 8–14.

УДК 631.319.06:004.4

В.И. Кравчук

(ГНУ УкрННІПІТ

ім. Л. Погорелого,

п.г.т. Дослідницьке, Україна)

**РАЗВИТИЕ МЕТОДА
БАЗОВЫХ ЗАДАЧ
ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ
МАШИНО-ТРАКТОРНЫХ
АГРЕГАТОВ**

Введение

В процессе выполнения сельскохозяйственных работ машинно-тракторные агрегаты (МТА) реагируют на различные воздействия динамического характера, что влияет на качество технологического процесса, а также на энергетические показатели, производительность и топливную экономичность. Учитывая то, что комплексная оценка МТА зависит от множества частных критериев, возникает задача многокритериальной оптимизации сельскохозяйственных машин (СХМ) в условиях их адаптации и гарантированного управления.

Согласно принципу гарантированного результата [1–7], адаптированная система отвечает требованиям, если при наихудших условиях (ко-

торые, возможно, появятся в поле за время $t \in T$ оптимизации рабочих процессов при конкретно фиксированных случаях эксплуатации) за счет управления обеспечивает целевой эффективный результат выращивания продукции растениеводства (ВПР) и минимальные потери.

Следует подчеркнуть, что большинство практических задач не решается классическими методами [8]. Данная ситуация проблемна, так как трудности обусловлены: большой размерностью реального вектора состояния объекта; существенными значениями нелинейных зависимостей, которые не линеаризуются; значительным количеством ограничений и требований к координатам управления и фазовым координатам объекта; наличием многих локальных экстремумов и существованием компромиссных режимных ситуаций с неопределенными параметрами.

Основная часть

В работе обоснована целесообразность использования Р-моделей, адекватных уравнениям СХМ и МТА, представленных в форме векторного дифференциального уравнения [2–7, 9–11, 13–15]:

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = f(t, \vec{x}, A), \vec{x}(t_0) = \vec{x}_0, \quad (1)$$

где $\vec{x}$ – m -мерный вектор состояния динамической системы;

A – n -мерный вектор конструктивных параметров проектируемой динамической системы;

f – векторная функция обобщенных сил, действующая на динамическую систему;

t – время работы СХМ.

Будем рассматривать работу СХМ и МТА во временном интервале $t \in [0, H]$, считая, что $t_0 = 0$. Система $I_j, j=\overline{1, r}$ частных критериев оценки эффективности работы динамической системы представлена в виде функционалов [2, 3]:

$$I_j = q_j [x(H, A), H] + \int_0^H \varphi_j(t, x, A) dt. \quad (2)$$

Для каждого частного критерия заданы допустимые пределы его измерения:

$$0 \leq I_j \leq I_{jm}, j = \overline{1, r}, \quad (3)$$

где I_{jm} – предельно допустимое значение отдельного критерия.

Заданные функции q_j и φ_j в функционалах (2) имеют непрерывные частные производные по x и A . Частные критерии (3) являются компонентами r -мерного векторного критерия $I = (I_1, I_2, \dots, I_r)$. Область изменения

векторного критерия определяется ограничениями (3). Каждая компонента векторного критерия I описывается функционалом (2), определенным при решении векторного дифференциального уравнения (1) и фиксированном значении вектора параметров A конкретной СХМ.

Многокритериальная оптимизация динамической системы (1) – это поиск оптимального значения вектора параметров, обеспечивающего минимум векторного критерия $A^0 = (a_1^0, a_2^0, \dots, a_n^0)$, что позволяет минимизировать вектор критерия $I = (I_1, I_2, \dots, I_r)$ при выполнении ограничений (3). Задача векторной оптимизации сводится к минимизации линейной формы компонента векторного критерия с постоянными коэффициентами:

$$I = \sum_{j=1}^r \alpha_j I_j, \quad (4)$$

где $\alpha_j > 0$, $\sum_{j=1}^r \alpha_j = 1$.

В случаях применения линейной свертки (4) частных критериев (2) возникает проблема выбора весовых коэффициентов α_j , $j = \overline{1, r}$ [16]. Основной недостаток минимизации формулы (4) состоит в том, что не учитываются ограничения на частные критерии. В результате этого оптимальное значение векторов параметра A^0 при выбранных α_j , $j = \overline{1, r}$ может дать частный критерий с допустимыми пределами. Методы учета ограничений (3) при оптимизации линейной формулы (4) значительно усложняют решение задачи и практически не применяются.

Известно о методе скалярной свертки частных критериев по нелинейной схеме компромиссов [2, 3], который гарантирует выполнение ограничений (3). Согласно этому методу, задача векторной оптимизации динамики СХМ сводится к минимизации интегрального скалярного критерия [2] вида

$$I(A) = \sum_{j=1}^r \frac{1}{\left[1 - \frac{I_j(A)}{I_{jm}} \right]} \quad (5)$$

при заданных дифференциальных связях (1). Скалярная свертка частных критериев по нелинейной схеме компромиссов (5) гарантирует выполнение ограничений (3), так как в случае приближения любого из частных критериев I_j к верхней границе допустимых значений I_{jm} выражение (5) реализует действие Чебышевского (минимаксного оператора) по этому частному критерию. В работе [3] показано, что скалярная свертка по нелинейной схеме компромиссов дает единственный минимум в пределах ограничений (3). Нелинейную схему компромиссов возможно представить в более общем виде:

$$J(A) = \sum_{j=1}^r \frac{\alpha_j}{\left[1 - \frac{I_j(A)}{I_{j\max}}\right]^{G_j}}, \quad (6)$$

где G_j – значение показателя степени функции частного критерия, которое отражает решения, принадлежит множеству Парето.

Задавая вектор $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r)$ приоритетности частных критериев, можно получить любую точку из множества Парето-оптимальных решений. В случае отсутствия какой-либо информации о приоритетности частных критериев целесообразно применение скалярной свертки (5). Это гарантирует выполнение ограничений (3), унимодальность функционала и не требует решения проблемы выбора вектора приоритетности α [16, 17]. Задача минимизации скалярного критерия (5) при дифференциальных связях (1) требует значительного объема вычислений при решении ее на ПЭВМ.

Решение задачи многокритериальной оптимизации динамических режимов СХМ и МТА можно значительно упростить. С этой целью предлагаем применить Р-преобразование [14, 15] и свести задачу к решению системы конечных уравнений. В результате получим математическую модель уравнения (1) в области изображений в виде рекуррентного выражения:

$$X(k+1, A) = \frac{H}{k+1} F[T(k), X(k), A], X(0) = x_0, \quad (7)$$

где F представляет изображение оригинала функции f .

Последовательно присваивая целочисленные значения аргумента $k = 0, 1, 2, \dots$ в рекуррентном выражении (7) от начального условия $X(0) = x_0$, определяем $X(k, A)$. Обратное преобразование позволяет найти пороговое значение решения уравнения (1) при $t = H$:

$$x(H, A) = \sum_{k=0}^{\infty} X(k, A). \quad (8)$$

На основе Р-преобразования функционалов (2) в функции вектора A параметров динамических режимов СХМ и МТА получим:

$$I_j(A) = q_j [x(H, A), H] + H \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\Phi_j[T(k), X(k, A), A]}{k+1}, \quad j = \overline{1, r}, \quad (9)$$

где Φ_j представляет изображение оригинала функции φ_j , $x(H, A)$ определяется по выражению (8).

Сворачиваем частные критерии (9) в скалярную функцию (5) или (6) по нелинейной схеме компромиссов. В результате задача свелась к оптимизации

функции многих переменных вида (5) или (6), которые зависят от вектора A и конструктивных параметров СХМ. Систему конечных уравнений для определения неизвестных компонент вектора A_0 оптимальных конструктивных параметров адаптированной СХМ получаем в соответствии с необходимыми условиями оптимальности функции $I(A)$ вида (6):

$$\frac{\partial I(A)}{\partial \alpha_i} = 0, \quad i = \overline{1, n}. \quad (10)$$

Если применить скалярную свертку (6) для определения оптимальных конструктивных параметров $A^0 = (a_1^0, a_2^0, \dots, a_n^0)$ СХМ, то система конечных уравнений определяется условиями:

$$\frac{\partial J(A)}{\partial \alpha_i} = 0, \quad i = \overline{1, n}. \quad (11)$$

Численные методы решения системы конечных уравнений (10) или (11) реализуем в системах математического и программного обеспечения любой современной ПЭВМ.

Выводы

1. Применение скалярной свертки по нелинейной схеме компромиссов и математического аппарата Р-преобразований свело задачу многокритериальной (практически до 5–7) оптимизации динамики сельхозагрегатов к решению системы конечных уравнений, размерность которой равна размерности вектора выборочных конструктивных параметров $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ проектируемой динамической системы.

2. Предложенный метод может быть реализован в аналитическом или численно-аналитическом виде. Учитывая то, что Р-преобразование является точным операционным методом, аналитическое решение задачи многокритериальной оптимизации дает возможность получить ее точное решение.

3. Если вектор критериев эффективности удовлетворяется, то адаптированная СХМ с регулятором $u = U^*(t)$ обеспечивает гарантированную результативность оперативного управления при самых влиятельных возмущениях. При благоприятных случаях эффективность будет еще выше за счет уменьшения объемов затраченных ресурсов. Адаптированные СХМ реализуют решения обобщенной многокритериальной вариационной задачи с учетом внутренних особенностей и внешних возмущений. СХМ, адаптированные согласно предложенному методу, одновременно обеспечивают качество функционирования, а также энерго- и ресурсосбережение.

19.08.2015

Литература

1. Булычев, Ю.Т. Системный подход к моделированию сложных динамических систем в задачах оптимизации с прогнозирующей моделью / Ю.Т. Булычев, И.В. Бурлай // *АиТ*. – 1996. – № 3. – С. 34–45.
2. Воронин, А.Н. Багатокритеріальний синтез динамических систем / А.Н. Воронин. – Киев: Наук. думка, 1992. – 160 с.
3. Векторная оптимизация динамических систем / А.Н. Воронин [и др.]. – К.: Техника, 1999. – 284 с.
4. Кравчук, В.І. Розрахункові моделі оптимізації конструктивних параметрів орного агрегату / В.І. Кравчук // *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. праць УкрНДІПВТ*. – Дослідницьке, 2003. – Вип. 6 (20). – С. 413.
5. Кравчук, В.І. Теоретичні основи адаптації сільськогосподарських машин / В.І. Кравчук. – К: НАУ, 2005 – 208 с.
6. Кравчук, В.І. Метод розв'язання проблем багатокритеріальної оптимізації керування робочих процесів сільськогосподарських агрегатів / В.І. Кравчук, Г.Л. Баранов // *Науковий вісник НАУ*. – К., 2001. – Вип. 41. – С. 201–209.
7. Кравчук, В.І. Методика розрахунків оптимальних програмних управлінь на базі дискретних моделей та синтезу замкнутих законів управління сільгоспмашинами та агрегатами / В.І. Кравчук, Г.Л. Баранов // *Механізація виробничих процесів рибного господарства, промислових і аграрних підприємств: зб. наук. праць Керченського технол. ін-ту*. – Керч: КМТІ, 2002. – Вип. 3. – С. 34–40.
8. Чураков, Е.П. Оптимальные и адаптивные системы / Е.П. Чураков. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 256 с.
9. Василенко, П.М. Методика построения рабочих моделей функционирования механических систем / П.М. Василенко, В.П. Василенко. – К.: УСХА, 1980. – 135 с.
10. Василенко, И.И. Автоматизация процессов сельхозпроизводства / И.И. Василенко. – М.: Колос, 1972. – 574 с.
11. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления / А.Б. Лурье [и др.]; под ред. А.Б. Лурье. – Л.: Колос. Ленинград. отд-ние, 1979. – 312 с.
12. Франс, Дж. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Дж. Х. М. Торнли; пер. с англ. А.С. Каменского; под ред. Ф.И. Ерешко. – М.: Агропромиздат, 1981. – 400 с.
13. Векторная оптимизация динамических систем / А.Н. Воронин [и др.]. – К.: Техника, 1999. – 284 с.
14. Пухов, Г.Е. Дифференциальные преобразования функций и уравнений / Г.Е. Пухов. – К: Наук. думка, 1980. – 419 с.
15. Пухов, Г.Е. Приближенные методы математического моделирования, основанные на применении дифференциальных Т-преобразований / Г.Е. Пухов. – Киев: Наук. думка, 1988. – 216 с.
16. Ловейкин, В.С. Методы математического моделирования в формировании обобщенных критериев определения режимов движения и оценки механизмов, машин, роботов-манипуляторов / В.С. Ловейкин, Ю.В. Човнюк // *Механізація сільськогосподарського виробництва: зб. наук. праць Нац. аграр. ун-ту*. – К.: НАУ, 2000. – Т. VIII. – С. 33–40.
17. Ловейкин, В.С. Оптимизация режима движения манипуляционных систем-роботов по комплексному критерию / В.С. Ловейкин // *Вестник машиностроения*. – 1988. – № 2.

УДК 339.562:631.145

Ю.Н. Селюков, А.Ю. Башко

*(РНУП «Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

М.И. Латушко

*(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

Ю.А. Башко

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

СУЩНОСТЬ И ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ АППАРАТ КАТЕГОРИИ «ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ» В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Введение

В настоящее время одной из перспективных стратегий экономического развития в странах с переходной экономикой признается импортозамещение, это обусловлено главным образом такими проблемами, как отрицательное сальдо платежного баланса и низкая конкурентоспособность товаров на внешних рынках. Импортозамещение может выступать как один из подходов к частичному решению данных проблем. При этом импортозамещение как экономическая стратегия должно быть нацелено не на снижение отрицательного внешнеторгового сальдо, а на изменение структуры экономики с увеличением доли производства конкурентоспособных товаров высокой степени готовности, оптимизацию структуры импорта с относительным уменьшением доли неинвестиционных товаров конечного спроса, а также на снижение спроса на импортную продукцию за счет снижения импортоемкости национальной экономики. В то же время импортозамещение не должно предполагать замещения максимального количества различных товаров, поставляемых из-за рубежа [1, с. 99]. На современном этапе применение стратегии импортозамещения не ограничивается одной конкретной отраслью, оно затрагивает различные отрасли народного хозяйства.

Ввиду современной геополитической ситуации импортозамещение в сфере производства сельскохозяйственной продукции приобретает особое значение и становится весьма актуальным направлением, поскольку в данной сфере является одним из факторов укрепления продовольственной безопасности страны. Все это свидетельствует об актуальности проводимых в данной области исследований. Так как импортозамещение в различных литературных источниках рассматривается в качестве составной части разнообразных экономических механизмов, а также одного из факторов развития

отраслей народного хозяйства (в том числе и аграрной), то методологической и теоретической основой данного исследования явились труды белорусских и зарубежных ученых в области менеджмента, продовольственной безопасности, внешнеэкономической деятельности, а также непосредственно импортозамещения. При исследовании использовались методы анализа, сравнения, обобщения, аналогии, табличный, графический, синтеза.

Основная часть

Для Республики Беларусь тема импортозамещения не нова, поскольку данную стратегию развития экономики в качестве одной из ключевых рассматривают на государственном уровне более 10 лет. В указанный период в Беларуси реализовано более 1,5 тыс. импортозамещающих проектов. Вместе с тем в настоящее время в развитии внешней торговли Республики Беларусь, несмотря на некоторое улучшение, все еще сохраняется отрицательная динамика. Как видно в таблице 1, в период с 2010 г. по 2012 г. отмечается рост по всем показателям внешней торговли Республики Беларусь. Так, оборот внешней торговли в 2012 г. по сравнению с 2010 г. возрос на 53,7 % и составил 92464 млн *долл. США*, экспорт в рассматриваемый период увеличился на 20776 млн *долл. США*, импорт – на 11520 млн *долл. США*, а сальдо внешней торговли – на 9256 млн *долл. США*. В 2012–2014 гг. рассмотренные показатели характеризуются отрицательной динамикой. Внешнеторговый оборот товаров в 2014 г. составил 77180 млн *долл. США*, или 83,5 % по сравнению с 2012 г. В рассматриваемый период отмечается одновременное снижение объемов экспорта и импорта. Так, если импорт в 2012 г. составил 46404 млн *долл. США*, то в 2014 г. данный показатель сократился на 12,1 % и составил 40788 млн *долл. США*; объем экспорта в 2012 г. был равен 46060 млн *долл. США*, а в 2014 г. – 36392 млн *долл. США*. В 2014 г. по сравнению с 2012 г. также наблюдается уменьшение сальдо внешней торговли Республики Беларусь. В 2012 г. данный показатель был отрицательным и составлял 344 млн *долл. США*, а в 2014 г. сальдо внешней торговли сократилось на 4052 млн *долл. США* и составило 4396 млн *долл. США*. Следует отметить, что в 2010–2014 гг. наметилась положительная тенденция во внешней торговле сельскохозяйственным сырьем и продовольствием. Экспорт сельскохозяйственного сырья и продовольствия в рассматриваемый период возрос на 66,8 % и составил 5637,5 млн *долл. США*, а импорт – на 65,3 % и составил 4862,1 млн *долл. США*.

Более того, импортозамещение в Республике Беларусь выступает в качестве элемента протекции национального рынка. Глава государства постоянно ориентирует правительство на защиту отечественного производителя и повышение качества и конкурентоспособности отечественной продукции.

Таблица 1. – Показатели внешней торговли Республики Беларусь в 2010–2014 гг. (млн долл. США)

Показатели	2010	2011	2012	2013	2014
Оборот внешней торговли	60168	87178	92464	80226	77180
Экспорт	25284	41419	46060	37203	36392
в т. ч. сельскохозяйственное сырье и продовольствие	3379,4	4049,1	4989,2	5796,4	5637,5
Импорт	34884	45759	46404	43023	40788
в т. ч. сельскохозяйственное сырье и продовольствие	2940,9	3300,9	3689,2	4180,6	4862,1
Сальдо	–9600	–4340	–344	–5820	–4396

Примечание – Таблица 1 составлена на основании источников [2; 3, с. 62].

Успешная реализация стратегии импортозамещения в любой отрасли прежде всего предполагает четкое понимание сущности данного экономического явления, что невозможно без четко определенного теоретико-методологического аппарата импортозамещения в рассматриваемой отрасли. В целях выявления сущности понятия «импортозамещение» и обоснования его категориального аппарата в аграрной сфере рассмотрим подробно данное понятие.

Опираясь на изученные литературные источники [1; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14], категорию «импортозамещение» в аграрной сфере можно трактовать как объективный закономерный процесс увеличения производства, потребления и экспорта отечественной аграрной продукции, который обуславливается более высоким уровнем конкурентоспособности и экономической эффективности в сравнении с импортными аналогами.

В ходе исследований было выявлено, что по своей сути, независимо от сферы применения, импортозамещение может быть абсолютным и относительным, догоняющим и опережающим, прямым и косвенным, традиционным и инновационным [15, с. 21].

В соответствии с изученными теоретико-методологическими основами проблемы импортозамещения установлено, что основной целью импортозамещения в аграрной сфере является увеличение объемов производства сельскохозяйственной продукции [8, с. 22]. Для достижения такой цели необходимо решить следующие задачи: развитие производств, призванных заменить своей продукцией импорт аналогичных товаров на основе использования и перепрофилирования действующих, а также создания новых мощностей; развитие импортозамещающих производств с учетом ограниченности внутреннего рынка, а также их дальнейшая ориентация на экспорт; осуществление структурных преобразований организаций в целях снижения импортной зависимости; повышение уровня конкурен-

тоспособности предприятия в целом и импортозамещающей продукции в частности; привлечение инвестиционных ресурсов для осуществления развития перспективных направлений импортозамещения [16].

Импортозамещению в аграрной сфере присущи такие функции, как обеспечение защиты и укрепление продовольственной безопасности страны; повышение интенсификации производства и получение большей отдачи от земли, основных производственных фондов; обеспечение населения и перерабатывающей сферы АПК высококачественным продовольствием и сырьем; обеспечение структурных сдвигов в экономике; совершенствование структуры производства; ориентация производителей на удовлетворение определенных общественных потребностей на внутреннем рынке, а впоследствии и на внешнем; защита отечественного производителя и потребителя; стимулирование производителей отечественных товаров к увеличению (или наоборот) объемов производства, а потребителей – к потреблению предлагаемых товаров или услуг; повышение уровня жизни населения посредством создания новых рабочих мест и развития инфраструктуры; соединение сферы производства (производителей), сферы потребления (потребителей), а также торговцев-посредников, включение их в общий процесс активного обмена продуктами труда и услугами [8, с. 23; 16].

Основными принципами импортозамещения во всех сферах деятельности, в том числе и аграрной, являются: конкурентоспособность, экономическая эффективность, технологичность производства, экономия и ресурсосбережение, объективность, научная обоснованность, целенаправленность, создание условий, комплексность, закономерность, системность (предполагает комплексное развитие импортозамещения в отраслях, регионах, организациях через соответствующие взаимосвязанные импортозамещающие программы и бизнес-планы развития организации) [9, с. 12; 16].

Исследования категории «импортозамещение» показали, что в качестве объекта импортозамещения могут выступать импортные товары и услуги, которые могут быть заменены отечественными аналогами (для белорусского сельскохозяйственного производства объектами импортозамещения являются зерно (твердая пшеница), продукты переработки картофеля (крахмал, патока, продукты питания из картофеля), овощи, фрукты, ягоды, растительное масло, сахар, белково-витаминные ингредиенты для производства комбикормов [16]), в свою очередь, предметом рассматриваемой категории является производственно-хозяйственная деятельность организации. Импортозамещение осуществляется экономическими, административными, социально-психологическими методами.

Таким образом, подробное рассмотрение категории «импортозамещение» позволяет сформировать ее теоретико-методологический аппарат

применительно к аграрной сфере, который включает уточненное определение понятия «импортозамещение», содержание, основную цель, задачи, функции, принципы, объект, предмет, а также методы. Схематичное изображение теоретико-методологического аппарата импортозамещения представлено на рисунке 1.

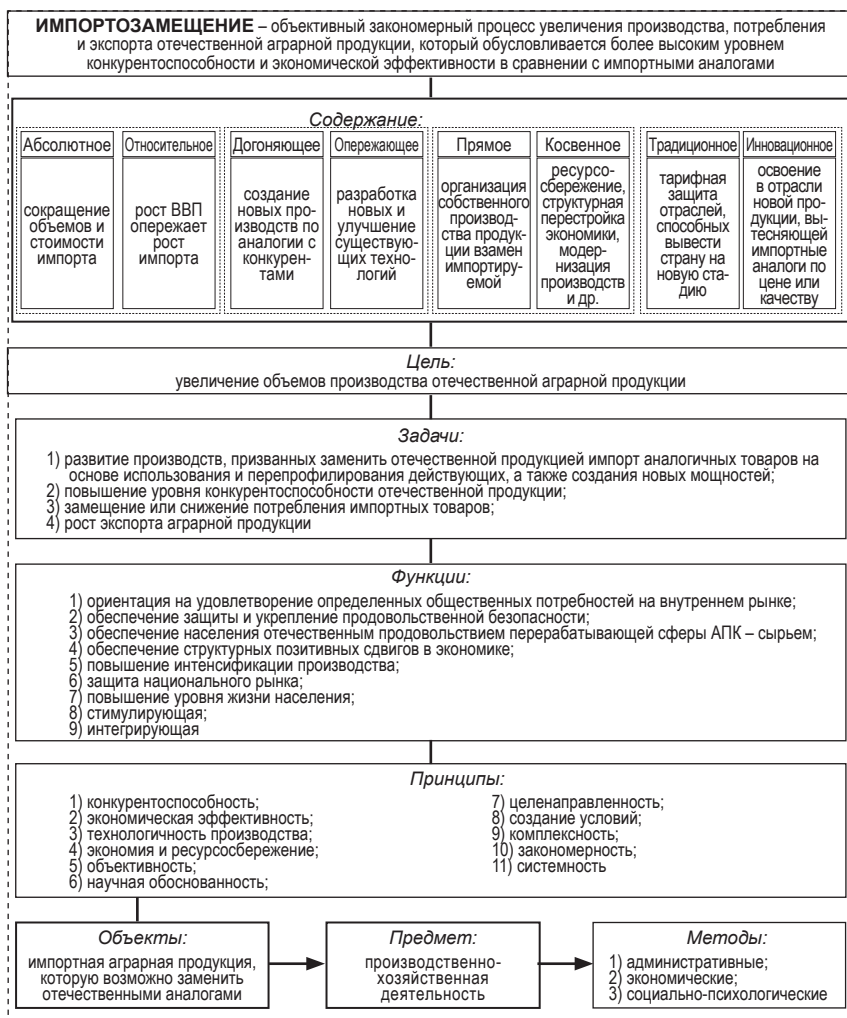


Рисунок 1. – Теоретико-методологический аппарат импортозамещения в агропромышленном комплексе

Примечание – Рисунок 1 составлен авторами на основании собственных исследований.

Сущность категории «импортозамещение» в аграрной сфере можно представить графически (рисунок 2). Согласно рисунку 2, под импортозамещением следует понимать увеличение объемов производства отечественной аграрной продукции, что подразумевает освоение новых видов сельскохозяйственной продукции и совершенствование уже существующих на основе использования и перепрофилирования действующих

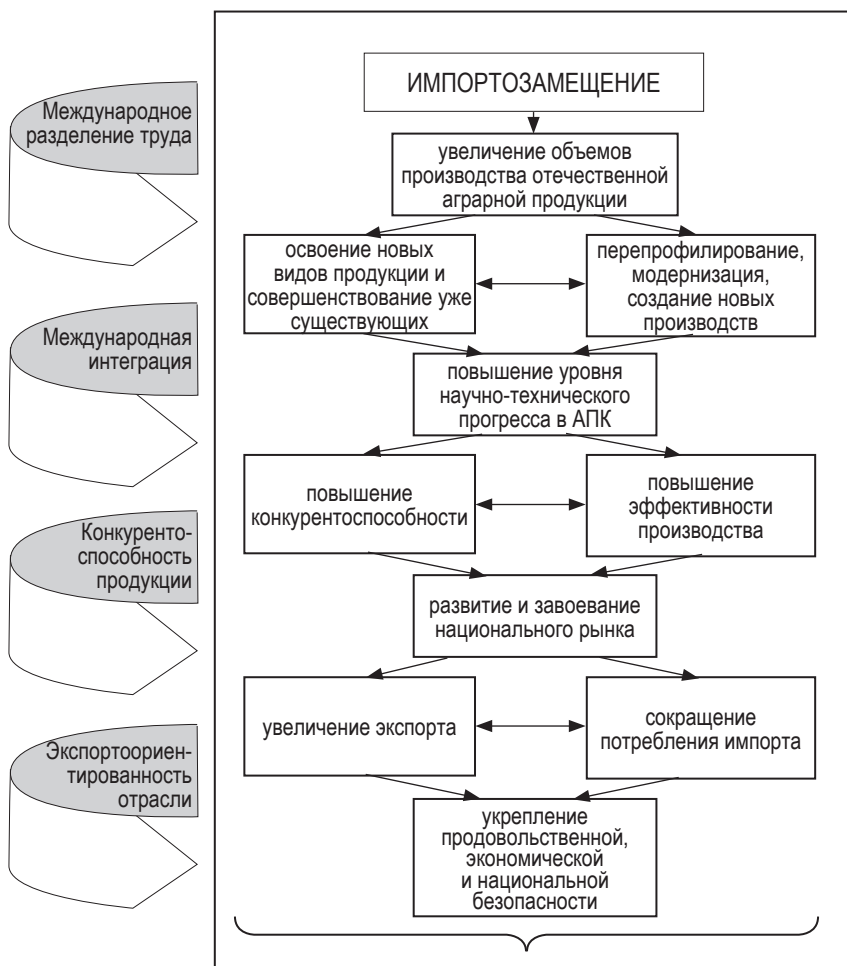


Рисунок 2. – Сущность категории «импортозамещение»

Примечание – Рисунок 2 составлен авторами на основании собственных исследований.

щих производственных мощностей, а также создания новых. Стратегия импортозамещения опирается на развитие всего производства, повышение качества производимой аграрной продукции, применяемые на предприятиях технологии, развитие инноваций, что особенно актуально для страны, уровень развития производственных отраслей которой отстает от уровня государств, с которыми она взаимодействует [11]. Замещение импорта, базисом которого являются прежде всего качественные преобразования в производственной сфере, оказывает положительное влияние на развитие научно-технического потенциала отрасли в целом и сельскохозяйственного предприятия в частности, что, в свою очередь, положительно сказывается на качестве и конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции и, как следствие, на эффективности производства в целом. Повышение конкурентоспособности и эффективности производства импортозамещающей аграрной продукции стимулирует развитие национального рынка и делает возможным сокращение потребления импортного сельскохозяйственного сырья и продовольствия по объективным причинам и, как следствие, завоевание национального рынка. При этом развитие и завоевание национального рынка – это не только снижение зависимости от импорта, но и возможность реализации экспортного потенциала аграрной отрасли, который накапливается посредством реализации стратегии импортозамещения. Изменения в структуре экспорта и импорта аграрной продукции оказывают прямое воздействие на продовольственную, экономическую и национальную безопасность страны: так, увеличение экспорта и сокращение потребления импорта способствует ее укреплению, что, в свою очередь, ведет к достижению устойчивого экономического развития.

При реализации стратегии импортозамещения в малой открытой экономике (к числу которых относится Республика Беларусь) в любой отрасли народного хозяйства успех импортозамещения зависит от учета четырех условий успешности: международное разделение труда; международная интеграция; конкурентоспособность импортозамещающей продукции; экспортоориентированность отрасли, в которой производится импортозамещающая продукция.

Так, международное разделение труда является весьма важным условием для реализации стратегии импортозамещения, поскольку именно оно оказывает влияние на выбор направления развития импортозамещения, соответствующего специализации и ресурсным возможностям на всех уровнях осуществления деятельности по импортозамещению [7, с. 45].

Поскольку в современных условиях развития все большее влияние на все сферы человеческой деятельности оказывают мировые глобализационные процессы (импортозамещение не является здесь исключением), то очень значимым аспектом успешности стратегии импортозамещения является международная интеграция. В ее рамках различные государства объединяются в экономические блоки – ЕАЭС (членом которого является Республика Беларусь), ЕС, Меркосур, АСЕАН и др. Несмотря на интеграционные процессы, такие объединения выполняют, скорее, защитную функцию: барьеры внутри объединения снимаются, но одновременно появляется защита от внешней среды (влияния мировой экономики) [17, с. 4]. Поэтому можно утверждать, что целесообразность импортозамещения сохраняется только в том случае, если оно рассматривается в рамках не отдельно взятой страны, а всего интеграционного объединения.

Мировая практика реализации стратегии импортозамещения показывает, что значимым условием его успеха является конкурентоспособность импортозамещающей продукции. Импортозамещающий товар не должен уступать по качеству и другим параметрам конкурентоспособности импортным аналогам. Опыт Латинской Америки и Юго-Восточной Азии показал, что импортозамещение должно использоваться в качестве промежуточного этапа развития экспорта. Формирование конкурентных преимуществ импортозамещающей продукции по сравнению с импортными аналогами позволяет облегчить переход к развитию экспортных направлений [18, с. 27].

Еще одним условием успешности импортозамещения является экспортоориентированность предприятия, отрасли, государства. Импортозамещающая продукция должна производиться не только для внутреннего потребления, но и выводиться на внешние рынки, то есть импортозамещающие товары должны переводиться в разряд экспортных.

Выводы

Таким образом, в совокупности с иными факторами реализация стратегии импортозамещения в аграрном секторе экономики оказала значительное воздействие на показатели внешней торговли сельскохозяйственным сырьем и продовольствием, в период с 2010 по 2014 гг. наметилась их положительная динамика.

В рамках исследования было уточнено определение понятия «импортозамещение» в аграрной сфере, изучено содержание данной категории, выявлены ее основная цель, задачи, функции, принципы, объект, предмет,

а также методы, обоснована принципиальная схема теоретико-методологического аппарата импортозамещения в рассматриваемой отрасли.

На основании изученных теоретико-методологических основ проблемы импортозамещения выявлено, что его сущность проявляется в протекции национального рынка. При этом такого рода протекция призвана развивать защищаемый рынок с целью укрепления продовольственной, экономической и национальной безопасности, а также достижения в целом устойчивого экономического развития отрасли. Достижение такой цели возможно через сбалансированность в структуре экспорта, импорта, внутреннего производства и потребления. При этом необходимо учитывать условия успешности стратегии импортозамещения: международное разделение труда, международную интеграцию, конкурентоспособность и экспортоориентированность. Таким образом, результатом импортозамещения должно стать устойчивое экономическое развитие аграрной отрасли в целом и сельскохозяйственного предприятия в частности, достигнутое при помощи увеличения экспорта и снижения импорта сельскохозяйственных товаров, повышения конкурентоспособности отечественного сельскохозяйственного сырья и продовольствия, стимулирования технологической модернизации производства, повышения его эффективности. Более того, поэтапно развивающееся импортозамещение ведет к увеличению объемов производства отечественной аграрной продукции, повышению уровня научно-технического прогресса в отрасли, развитию и завоеванию национального рынка, укреплению продовольственной, экономической и национальной безопасности, достижению устойчивого экономического развития агропромышленного комплекса.

06.10.2015

Литература

1. Внешнеторговая политика и конкурентоспособность Республики Беларусь / А.Е. Дайнеко [и др.]; науч. ред. А.Е. Дайнеко; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т экономики. – Минск: Беларус. навука, 2014. – 228 с.
2. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/otrasli-statistiki/torgovlya/> vneshnyaya-torgovlya_2/osnovnye-pokazатели-zaperiod-s-____-po-____gody_10/ osnovnye-pokazатели-vneshnei-torgovli/. – Дата доступа: 20.05.2015.
3. Продовольственная безопасность Республики Беларусь. Мониторинг-2013: в контексте глобальных проблем в сфере продовольствия / З.М. Ильина [и др.]; под ред. З.М. Ильиной. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2014. – 206 с.

4. Внешняя торговля Республики Беларусь в условиях вступления в ВТО и евразийской интеграции / А.Е. Дайнеко [и др.]; под науч. ред. А.Е. Дайнеко; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т экономики. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 245 с.
5. Гавриленко, В.Г. Капитал. Энциклопедический словарь / В.Г. Гавриленко // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «Юр-Спектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 1992–2015.
6. Гусаков, В.Г. Аграрная экономика: термины и понятия: энцикл. справ. / В.Г. Гусаков, Е.И. Дереза. – Минск: Беларус. наука, 2008. – 576 с.
7. Зарянкин, В.В. Роль импортозамещения в системе международных торговых отношений / В.В. Зарянкин // Беларусь и мировые экономические процессы: сборник научных статей. – Минск: Беларус. гос. ун-т, 2010. – Вып. 7. – С. 44–50.
8. Научные основы импортозамещения: На примере импортозамещения продукции АПК / З.М. Ильина [и др.]. – Минск: БГЭУ, 1999. – 167 с.
9. Оптимизация импортных поставок сельскохозяйственной продукции и готового продовольствия на внутренний продовольственный рынок. Методические рекомендации / В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2011. – 172 с.
10. Петрович, М.В. Импортозамещение как инструмент обеспечения экономической безопасности Республики Беларусь / М.В. Петрович // Проблемы управления. – 2013. – № 2 (47). – С. 88–93.
11. Половинкин, В.Н. Проблемы импортозамещения в отечественной экономике / В.Н. Половинкин, А.Б. Фомичев // Экспертный союз [Электронный ресурс]. – 2014. – № 12 (42). – Режим доступа: <http://www.unionexpert.ru/index.php/zhurnal-qekspertnyj-soyuzq-osnova/zhurnal-qehkspertnihyj-soyuzq-122014g/item/655-problemy-importozameschenia>. – Дата доступа: 17.05.2015.
12. Свиричко, Н.Е. Формирование организационно-экономического механизма импортозамещения продовольствия (на примере рынка масложировых товаров Республики Беларусь): дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Н.Е. Свиричко. – Минск, 2006. – 179 л.
13. Сидорова, Е.Ю. Использование модели импортозамещения в рамках ЕвразЭС / Е.Ю. Сидорова, А.А. Каленюк, О.Н. Козырева // Управління економікою: теорія та практика: зб. наук. пр. / редкол.: В.І. Ляшенко (відп. ред.) [та ін.]; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. – Донецьк: ІЕП НАН України, 2012. – С. 239–247.
14. Старовойтова, О.В. Импортозамещение в условиях малой открытой экономики: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.14 / О.В. Старовойтова; Беларус. гос. экон. ун-т. – Минск, 2011. – 24 с.
15. Витязь, П. Импорт заменят инновации / П. Витязь, С. Дедков // Экономика Беларуси. – 2012. – № 1. – С. 20–25.
16. О государственной программе импортозамещения на 2006–2010 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 24 марта 2006 г., N 402 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pravoby.info/docum09/part14/akt14514/index.htm>. – Дата доступа: 26.05.2015.
17. Бераснеў, П. Арыентавацца не толькі на імпартазамяшчэнне / П. Бераснеў // Звязда. – 2012. – № 47 (27162). – С. 4.
18. Червинский, Е.А. Мировая практика реализации политики импортозамещения: опыт Латинской Америки и Юго-Восточной Азии / Е.А. Червинский // Экономический бюллетень НИЭИ. – 2012. – № 1. – С. 21–27.

УДК 631.365

**В.П. Чеботарев, Н.Д. Лепешкин,
И.В. Барановский, В.В. Чумаков**

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

**В.Б. Ловкис, А.В. Новиков,
Т.А. Непарко**

*(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

К ВОПРОСУ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛОМЫ ДЛЯ СУШКИ ЗЕРНА

Введение

Вследствие высокой стоимости традиционных видов топлива – жидкого и газа, во многих странах интенсивно разрабатываются конструкции воздухонагревателей, работающих на местных видах топлива: дровах, щепе, торфобрикетах, соломе, костре, стержнях початков кукурузы. Использование местных видов топлива особенно актуально для сушки зерна, являющейся самым энергоемким процессом во всей технологической цепочке его производства [1].

Основная часть

Дрова, солома, торфобрикеты при использовании в качестве топлива имеют целый ряд недостатков: большую нестабильность и инерционность горения, их необходимо дополнительно готовить к сжиганию. Существенное влияние на теплотворную способность дров или соломы оказывает их влажность: чем она выше, тем меньше тепла они выделяют, тем сложнее их сжигать. Сжигание местных видов топлива в простых топочных агрегатах сопровождается резкими перепадами уровня достигаемых температур: в начале горения, в середине и при догорании. Компенсируется эта нестабильность забрасыванием новых порций топлива и регулировкой подачи воздуха в топочное пространство. Но даже в идеальных случаях нестабильность горения остается высокой. Другим недостатком является сложность агрегатов для сжигания местных видов топлива, их стоимость и металлоемкость в несколько раз выше, чем воздухонагревателей, работающих на традиционных видах топлива. Кроме того, использование, например, дров для сушки зерна на высокопроизводительных зерносушилках сопряжено с целым рядом проблем. В первую очередь – это значительный объем твердого топлива. Так, для зерносушилки производительностью 20 т/ч требуется около 700 кг/ч, или 1,5 м³/ч, дров, а за сезон (при нормативной наработке у зерносушилки 400 часов) – более 600 м³, что связано с большими затратами труда и финансовых средств на подготовку, хранение и сжигание такого объема топлива. Тем не менее дрова как топливо для зерносушилок малого и среднего клас-

сов являются доступным альтернативным источником тепловой энергии. Задача состоит в создании эффективных топок для ее получения [2].

Другим важным источником получения тепловой энергии для сельскохозяйственного производства является солома. За рубежом, в том числе в Западной Европе, США, Канаде, солому давно используют как топливо. Но в то же время, в силу своих природных свойств, солома при сжигании создает целый ряд специфических проблем. Солома чрезвычайно гигроскопична, она способна поглотить воды в 7–10 раз больше собственного веса. В то же время эта влага, по сравнению, например, с древесной, в десятки раз быстрее высвобождается при нагревании. Это является существенным положительным свойством соломы как топлива. Кроме того, потенциал соломы как топлива можно оценить таким показателем: количество энергии, которое может быть получено из 1 кг сухой (до 7 % влажности) соломы, составляет 3300 ккал, что вдвое меньше, чем в угле, и втрое меньше, чем в дизельном топливе. Солома, как и древесина, развивает теоретическую температуру горения на уровне 1000...1200 °С, чего вполне достаточно для обеспечения такого процесса, как подогрев наружного воздуха с целью сушки зерна. Большим достоинством соломы является практически полное отсутствие в дымовых газах серы и ее соединений. В то же время сжигание неподготовленной соломы в неприспособленных топках может понизить ее удельную энергопроизводительность до 100 ккал/кг, что крайне неэффективно. Одними из основных достоинств соломы как топлива являются ее достаточное количество, ежегодная возобновляемость и сравнительно небольшие расстояния для перевозки. Информация о среднегодовом производстве и структуре использования соломы в Республике Беларусь приведена в таблицах 1 и 2. В последние годы в республике выращивается около 9 млн тонн соломы и заготавливается примерно 5 млн тонн (таблица 1).

Исходя из структуры использования (таблица 2), при полном исключении ее расходования для укрытия буртов и силосования, на сушку зерна, без

Таблица 1. – Среднегодовое производство и заготовка соломы в республике

Наименование культуры	Уборочная площадь, тыс. га	Биологическая урожайность, т/га	Производство, млн т	Заготовка, млн т
Рожь озимая	400	3,6	1,44	0,72
Ячмень	560	3,2	1,79	1,25
Овес	170	3,3	0,56	0,48
Пшеница озимая	320	3,5	1,12	0,67
Пшеница яровая	150	3,4	0,51	0,31
Тритикале	450	3,6	1,62	0,81
Рапс	350	3,8	1,33	0,4
Прочие	200	3,2	0,64	0,45
Всего	2600	3,47	9,01	5,09

ущерба другим направлениям применения, может быть использовано около 1 млн тонн. С учетом того, что в каждом сельскохозяйственном предприятии республики имеется в наличии необходимая техника для заготовки соломы в тюках или рулонах, она должна рассматриваться в ближайшей перспективе как основное местное топливо для зерносушилок. Техничко-экономическая эффективность использования соломы в качестве топлива имеет следующие показатели. Теплотворная способность соломы (влажностью не более 18 %) составляет в среднем около 2773 ккал/кг. Следовательно, 1 кг жидкого топлива может быть заменен 3,5 кг соломы. Удельный расход соломы (при КПД воздухонагревателя, равном 0,88 относительно воздухонагревателя, работающего на жидком топливе) в среднем составит 27 кг/пл. т.

Таблица 2. – Среднегодовые объемы использования соломы в республике

Назначение	Фактически используется		Прогнозируемое использование	
	Объем, млн т	Структура, %	Объем, млн т	Структура, %
На корм, всего	3,21	35,6	3,0	25
В том числе:				
– для силосования;	0,6	6,7	0,6	5
– для приготовления кормосмесей	2,6	28,9	2,4	20
На подстилку (приготовление навоза)	0,51	5,7	2,4	20
Для укрытия буртов	0,7	7,8	0	0
Для реализации фермерам и населению	1,2	13,3	0,84	7
На топливо для зерносушилок	0	0	0,96	8
Запашка	3,92	43,5	4,8	40
Всего	9,01	100	12	100

При стоимости соломы 8,5 у.е./т и сезонной выработке зерносушилкой 4000 пл. т стоимость топлива, израсходованного за сезон, составит 918 у.е. – 47,3 % от стоимости газа, используемого как топливо воздухонагревателя. Таким образом, по своим технико-экономическим показателям солома имеет существенные перспективы использования для сушки зерна. Однако она требует обязательной подготовки к сжиганию. На месте использования соломы необходимо организовать навесы для хранения, обеспечить вспомогательными механизмами доставку и загрузку ее в топку.

За рубежом одним из самых перспективных направлений работ по созданию воздухонагревателей на местных видах топлива является разработка агрегатов, работающих на соломе. Широкое использование соломы для производства энергии в Европе началось в 70-х годах прошлого столетия. Наибольших успехов в этом достигли Германия и Дания. В 1997 г. в сельском хозяйстве Дании, например, уже функционировало около 10 тысяч котлов и теплогенераторов.

ров, в которых применяется в качестве топлива солома, спрессованная в тюки или брикеты. Это позволило включить в энергетический баланс страны новый вид энергоносителя на уровне 1,4 % от общего энергопотребления. Естественно, большая часть этой энергии была выработана и потреблена в сельском хозяйстве: на обогрев помещений и сушку сельскохозяйственных материалов.

Вместе с тем оказалось, что целенаправленное сжигание соломы в больших количествах имеет целый ряд научно-технических проблем. Обеспечить требуемый процесс горения соломы можно лишь в специальных топках и только в том случае, если она будет особым образом (прессованием, брикетированием) подготовлена к сжиганию. Процесс горения также имеет свои особенности. Солома по своей структуре препятствует интенсивному горению и требует подачи так называемого вторичного воздуха для дожига образующихся при горении летучих горючих веществ (окиси углерода, водорода). При этом вторичный воздух должен быть подогрет до температуры 500–600 °С. Кроме того, теплотворная способность соломы, как и дров, очень сильно зависит от ее влажности. Например, при влажности 20 % (наиболее пригодной для сжигания) ее удельная теплотворная способность составляет около 4000 ккал/кг, тогда как при влажности 40–45 % (обычно наблюдаемой во время уборки) она понижается до 1500–1800 ккал/кг. Поэтому для целей сжигания необходимо проводить заготовку соломы оптимальной влажности. Хранить солому, предназначенную для применения в качестве топлива, необходимо в складах, в которых не допускается ее увлажнение.

Развивая направление использования соломы как топлива в сельскохозяйственном производстве, ученые РУП «НПЦ НАН Беларуси по меха-

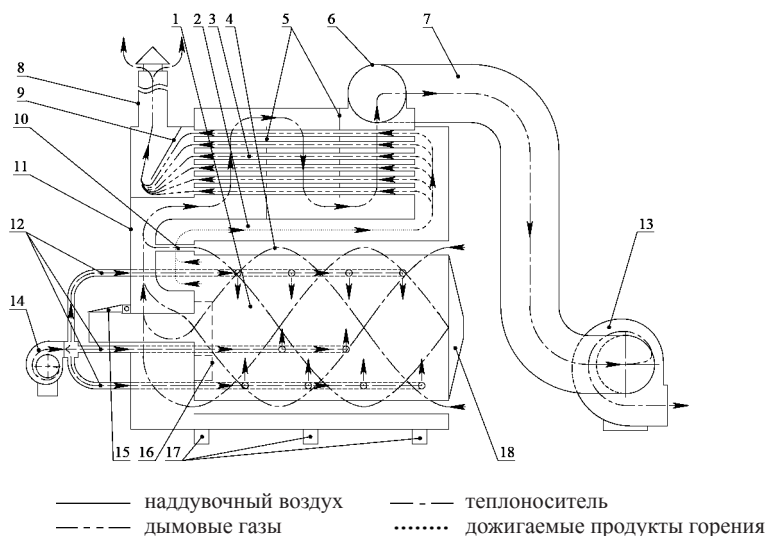
низации сельского хозяйства» разработали и ОАО «Мозырьсельмаш» изготовило топочный агрегат АТС-1,0 (рисунок 1). Особенностью конструкции этого агрегата стал повышенный объем камеры сгорания, увеличенная поверхность теплоотдачи топки и теплообменника. На агрегате был установлен более мощный вентилятор. Конструктивно-технологическая схема воздухо-



Рисунок 1. – Общий вид воздушнонагревателя АТС-1,0

нагревателя АТС-1,0 представлена на рисунке 2. Приемочные испытания воздухонагревателя АТС-1,0 производства ОАО «Мозырьсельмаш» проводились на испытательном полигоне этого завода в период с 10 по 30 октября 2008 года. Воздухонагреватель АТС-1,0 состоял из следующих основных узлов: камеры сгорания, камеры дожигания, теплообменника, многоходового калорифера, перегородок, короба, воздуховода, дымовой трубы, отражателя, перепускного коллектора, кожуха топки, распределительных воздухопроводов, вентилятора подачи теплоносителя, вентилятора подачи наддувочного воздуха, взрывного клапана, упорной решетки, опор, загрузочной двери.

Воздухонагреватель АТС-1,0 работал следующим образом. Рулоны соломы закладывались в камеру сгорания и поджигались. Дверца топки закрывалась и включался вентилятор подачи наддувочного воздуха и вентилятор подачи теплоносителя. После прогрева воздухонагревателя и достижения заданной температуры теплоносителя номинальный режим работы поддерживался управлением вентилятором подачи наддувочного воздуха. Технические параметры воздухонагревателя АТС-1,0 представлены в таблице 3. При проведении приемочных испытаний получены теплотехнические показатели работы воздухонагревателя, представленные в табли-



- 1 – камера сгорания; 2 – камера дожигания; 3 – теплообменник; 4 – калорифер;
 5 – перегородки; 6 – короб; 7 – воздуховод; 8 – дымовая труба; 9 – отражатель;
 10 – перепускной коллектор; 11 – кожух топки; 12 – распределительные воздухопроводы;
 13 – вентилятор подачи теплоносителя; 14 – вентилятор подачи наддувочного воздуха;
 15 – взрывной клапан; 16 – упорная решетка; 17 – опоры; 18 – загрузочная дверь

Рисунок 2. – Конструктивно-технологическая схема воздухонагревателя АТС-1,0

це 4. Основные теплотехнические показатели воздухонагревателя АТС-1,0 по результатам испытаний оказались на уровне серийных зарубежных аналогов такой мощности: удельный расход условного топлива – $0,15 \text{ кг/кВт}$, удельный расход электроэнергии – $0,024 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кВт}$.

Удельная масса данного воздухонагревателя составила $10,46 \text{ кг}\cdot\text{ч/кВт}$, что существенно превышает показатели, например, воздухонагревателей на дровах – $4...7 \text{ кг}\cdot\text{ч/кВт}$. Температура теплоносителя на выходе существенно колебалась и находилась в пределах $103...107^\circ\text{C}$, что в основном определялось качеством используемых рулонов соломы и их влажностью.

Таблица 3. – Основные технические параметры воздухонагревателя АТС-1,0

Наименование показателя	Значение
Марка воздухонагревателя	АТС-1,0
Вид топлива	солома
Тепловая мощность, кВт	1000
Интервал регулирования температуры теплоносителя, $^\circ\text{C}$	40...120
Расход топлива, кг/ч	320
Мощность установленного электрооборудования, кВт	23,5
Производительность вентилятора теплоносителя, $\text{м}^3/\text{ч}$	32000
Объем топочной камеры, м^3	6,7
КПД воздухонагревателя	0,78
Габаритные размеры: длина, ширина, высота, мм	6050x5670x7780
Масса, кг	9500

Таблица 4. – Теплотехнические показатели работы воздухонагревателя АТС-1,0

Наименование показателя	Значение
Расход топлива, кг/ч	320
Потребляемая электрическая мощность, кВт	21,7
Достигнутая тепловая мощность, кВт	908
Температура теплоносителя на выходе, $^\circ\text{C}$	105,3
Степень нагрева наружного воздуха, $^\circ\text{C}$	95,3
Подача нагретого воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$	27400
Температура уходящих дымовых газов, $^\circ\text{C}$	280
Потери теплоты, %:	
от химической неполноты сгорания	4,3
от механической неполноты сгорания	12,2
в окружающую среду с уходящими газами	1,4
Удельный расход топлива, кг/кВт	0,352
Удельный расход условного топлива, кг у. т./кВт	0,15
Удельный расход электроэнергии, $\text{кВт}\cdot\text{ч/кВт}$	0,024
Удельная масса, $\text{кг}\cdot\text{ч/кВт}$	10,46
КПД агрегата	0,75

Суммарные потери теплоты составили 17,9 %, что на 13,2 % меньше, чем у воздухонагревателя на дровах. Следует отметить также, что температура уходящих дымовых газов не превышала 280 °С, что на 16,4 % ниже, чем при использовании дров. Это подтверждает эффективную работу созданного для воздухонагревателя теплообменника. Удельный расход условного топлива при использовании соломы был на 11,8 % ниже, чем у дров. Поэтому КПД агрегата достигал величины 0,75.

Выводы

Результаты проведенных исследований подтвердили, что использовать солому в качестве топлива для сушки зерна технически возможно и экономически целесообразно. Применение в воздухонагревателе в качестве топлива соломы по сравнению с дровами позволило повысить КПД до 0,75, снизить суммарные потери теплоты на 13,2 %, температуру дымовых газов – на 16,4 % и удельный расход условного топлива – на 11,8 %.

18.06.2015

Литература

1. Чеботарев, В.П. Использование местных видов топлива в сельскохозяйственном производстве Республики Беларусь / В.П. Чеботарев, И.В. Барановский, С.Г. Кривонос, О.С. Дубровский, А.В. Искрицкий // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 21–22 окт. 2009 г. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»: в 2 т. – Минск, 2009. – Т. 2. – С. 33–37.
2. Чеботарев, В.П. Сравнительный анализ местных видов топлива / В.П. Чеботарев, И.В. Барановский, А.С. Тимошек, А.В. Новиков, Д.В. Мельник, О.С. Дубровский // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 17–19 окт. 2007 г.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2007. – Т. 2. – С. 214–218.
3. Ловкис, В.Б. О критериях энергетической эффективности сельскохозяйственных технологий / В.Б. Ловкис, В.А. Колос // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2008. – Вып. 42. – С. 13–19.
4. Колос, В.А. Анализ энергетической эффективности технологии производства картофеля в Северо-Западном регионе России / В.А. Колос, В.Б. Ловкис // Картофелеводство: сб. науч. тр. – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству», 2009. – Т. 16. – С. 292–297.
5. Чеботарев, В.П. Анализ современных конструктивно-технологических схем воздухонагревателей, работающих на соломе / В.П. Чеботарев, И.В. Барановский, А.С. Тимошек, А.В. Новиков, Д.В. Мельник, О.С. Дубровский // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2007. – Вып. 41. – С. 272–281.
6. Дашков, В.Н. Обоснование и расчет параметров топки к зерносушилке на местных видах топлива / В.Н. Дашков, С.М. Карташевич, А.С. Тимошек, С.А. Кукса, В.П. Чеботарев // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2 т. Т. 1. / РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси». – Минск, 2003. – Вып. 37. – С. 119–124.

УДК 631.365

**В.П. Чеботарев, Н.Д. Лепешкин,
И.В. Барановский, В.В.Чумаков**

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

В.Б. Ловкис, А.В. Новиков,

Т.А. Непарко

*(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

КЛАССИФИКАЦИЯ И ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ СОВРЕМЕННЫХ ЗЕРНОСУШИЛОК

Введение

Сушка зерна необходима для удаления части содержащейся в нем влаги, чтобы при хранении максимально подавить рост количества микроорганизмов, ферментативные реакции и окислительные процессы. Процесс сушки при этом должен быть организован так, чтобы гарантированно обеспечивалась успешная консервация зерна, с одной стороны, а с другой – он не должен оказывать негативного воздействия на питательные вещества, определяющие ценность зерна, а также на его технологические качества. В зерне влага содержится в свободной или связанной форме. Вследствие большой силы связи между влагой и твердым веществом, содержащуюся в зерне влагу нельзя полностью удалить с помощью механического способа разделения, например с помощью центрифугирования или прессования. Свободную или физически связанную влагу можно удалить из зерна только путем сушки. В процессе сушки влага под воздействием подаваемой тепловой энергии или под воздействием уменьшающегося парциального давления паров воздуха, необходимого для сушки, сначала испаряется или выпаривается, а затем отводится от поверхности зерна с помощью сушильного агента.

Основная часть

Разработано и используется на практике множество способов сушки зерна и сушильных установок различных типов [1–3], общий для всех принцип действия которых заключается в том, что через неподвижный или постоянно перемещающийся слой зерна проходит поток агента сушки. Тепловая энергия, необходимая для испарения или выпаривания влаги, непрерывно переносится преимущественно конвективным путем от сушильного агента на материал, подлежащий сушке. Другие способы передачи тепла, например теплопроводность или излучение, при сушке зерна используются крайне редко. Способы сушки зерна и разработанные для этого сушильные установки можно классифицировать по следующим основным технологическим [4] признакам: принципу действия, конструктивному исполнению, параметрам сушильного агента, способам подачи сушильного агента и зерна.

На рисунке 1 представлена классификация зерносушильных установок, содержащая принцип действия установок, температуру воздуха, необходимо для сушки, форму емкостей (элеваторов) сушильных установок, а также способ подачи воздуха-зерна и другие классификационные признаки.

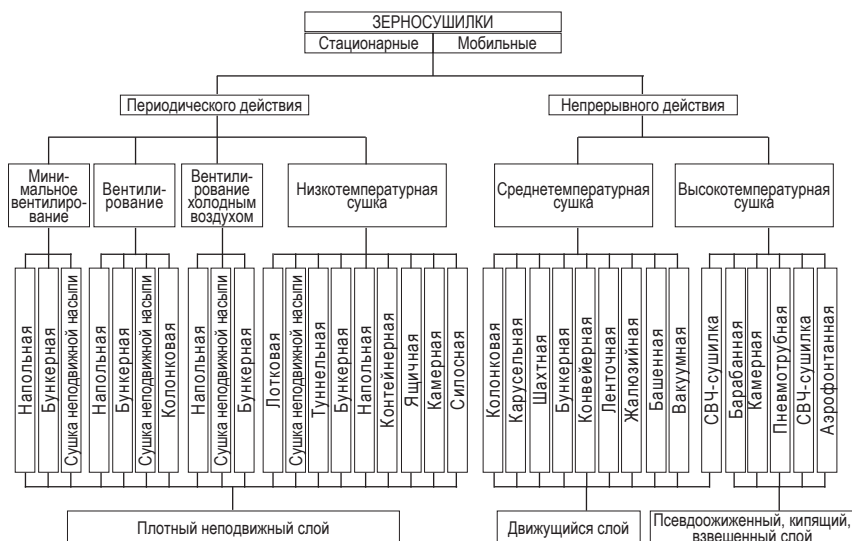


Рисунок 1. – Классификация зерносушильных установок

Основным в классификации зерносушилок является способ подачи зерна в сушильную установку: периодической загрузкой или непрерывным потоком. В сушильных установках, работающих дискретно или периодически, в так называемых сушильных установках периодического действия, емкость сушильной установки заполняется влажным зерном. После сушки партии зерна до состояния пригодности для хранения и его охлаждения до температуры окружающей среды зерно выгружается из емкости сушильной установки, а затем она снова заполняется влажным зерном. Значительно более сложным по сравнению с установкой периодического действия является технологический процесс сушки зерна в сушильной установке непрерывного действия.

Для компенсации технологических недостатков сушильных установок периодического действия и установок непрерывного действия были разработаны комбинированные способы сушки, при которых за непрерывным процессом сразу же следует периодический процесс сушки. После предварительной сушки теплым воздухом в сушильной установке теплое зерно помещается в зернохранилище с возможностью его вентиляции. Сушка зерна до состояния его пригодности для хранения реализуется путем вентиляции насыпанного вороха зерна незначительно подогретым окружающим воздухом.

Следующий важный отличительный признак – движение зерна, подлежащего сушке. В сушильных установках с неподвижным зерном в ходе процесса сушки и охлаждения оно лежит неподвижно, в то время как в сушильных установках непрерывного действия зерно непрерывно перемещается по емкости установки. Движение зерна в вертикальных емкостях сушильной установки происходит под действием силы тяжести. В горизонтальных или расположенных под наклоном емкостях сушильной установки непрерывное поступательное движение зерна вызывается механическими транспортирующими механизмами, например ленточными транспортерами, механизмами для перелопачивания.

Если зерно сушится в неподвижном состоянии, то это неизбежно приводит к его пересушиванию в месте поступления агента сушки и одновременно к относительно высоким термическим нагрузкам на зерно в этой зоне. За счет установки устройств для ворошения или перемешивания зерна его слой может быть разворошен или пересыпан, в результате чего процесс сушки становится более равномерным; одновременно удастся исключить воздействие относительно высоких термических нагрузок на часть зерна.

Температура агента сушки представляет собой следующий отличительный признак для классификации зерносушильных установок, так как с увеличением температуры сушки увеличивается ее скорость и растет способность воздуха поглощать пары воды. По величине температуры агента сушки следует различать низко-, средне- и высокотемпературную сушку. Что касается низкотемпературного агента, то под ним следует понимать окружающий воздух или незначительно подогретый окружающий воздух, причем температура предварительного нагрева составляет 3–5 °С. Это так называемая низкотемпературная сушка. Среднетемпературный агент сушки нагревают в воздушно-нагревателе до температуры 40–200 °С. Сушильные установки непрерывного действия главным образом работают на таком агенте сушки, при этом его температура должна подбираться в зависимости от вида и назначения зерна, типа сушильной установки. Агент сушки, нагретый до более высоких температур, называется высокотемпературным, его используют исключительно в барабан-ных сушилках для сушки фуражного зерна при температурах 200–350 °С.

Отличительным признаком для консервации зерна является расход (потребление) агента сушки. В зависимости от цели следует различать следующие способы: минимальное вентилирование, охлаждение наружным воздухом, охлаждение с помощью холодильной машины, низкотемпературную сушку вентилированием, сушку средне- и высокотемпературным агентом сушки.

Минимальное вентилирование применяют для сохранения качества зерна продувкой воздуха с подачей 5–7 м³/м³ зерна в час, чтобы отвести тепло, которое способствует росту количества микроорганизмов и возникновению дыхательных реакций. При сушке зерна теплым воздухом с последующим охлаждением окружающим воздухом может случиться так, что зерно

перед хранением будет плохо охлаждено. Чтобы уменьшить рост количества микроорганизмов, возможность возникновения дыхательных реакций и препятствовать размножению насекомых, зерно в хранилище подвергают вентилированию окружающим воздухом с подачей $15\text{--}20 \text{ м}^3/\text{м}^3$ зерна в час и охлаждают его до температуры $10\text{--}15^\circ\text{C}$.

Охлаждение подлежащего хранению зерна с помощью холодильной машины до температуры $8\text{--}10^\circ\text{C}$ используется преимущественно для устранения потерь из-за затхлости и размножения насекомых в сухом зерне. Доведя до охлажденного состояния при расходе холодного воздуха $10\text{--}15 \text{ м}^3/\text{м}^3$ зерна в час, можно подвергать промежуточному хранению влажное зерно, чтобы компенсировать недостаточную производительность имеющихся сушильных установок.

В отличие от способов вентилирования, которые чаще всего используются для охлаждения уже высушенного зерна, сушка вентилированием представляет собой способ, в ходе которого зерно подвергается как сушке, так и одновременно охлаждается до температуры окружающего воздуха. При сушке вентилированием зерно находится в вертикальной или плоской емкости сушильной установки, вентилируется с помощью окружающего воздуха или с помощью незначительно подогретого окружающего воздуха, расход воздуха составляет $15\text{--}90 \text{ м}^3/\text{м}^3$ зерна в час. При сушке средне- и высокотемпературным агентом зерно сначала сушится до состояния его пригодности для хранения с помощью зерносушилки, а затем в емкости сушильной установки оно охлаждается до температуры окружающего воздуха. В зависимости от конструктивного исполнения сушильные установки, в которых использован для сушки такой сушильный агент, работают в диапазоне температур $40\text{--}600^\circ\text{C}$, расход воздуха составляет $600\text{--}3000 \text{ м}^3/\text{м}^3$ зерна в час.

Следующий параметр – давление агента сушки. Речь идет почти исключительно о сушильных установках нормального давления, которые работают на принципе напора или разрежения. Для преодоления сопротивления слоя зерна при прохождении через него потока сушильного агента, в зависимости от высоты слоя зерна и величины скорости воздуха, необходимо пониженное или избыточное давление в диапазоне $500\text{--}2000 \text{ Па}$. Режим работы под разрежением, по сравнению с напорным режимом, позволяет обеспечить значительно более равномерное распределение агента сушки в слое зерна, а также исключить выпуск воздуха, содержащего пыль, в окружающую среду.

Особое конструктивное исполнение имеют вакуумные сушильные установки, которые не получили большого распространения для сушки зерна из-за высоких инвестиционных затрат и незначительной производительности. За счет снижения общего давления до $20\text{--}75 \text{ мбар}$ температура точки кипения воды опускается на $30\text{--}40^\circ\text{C}$, в результате чего удаление влаги из зерна идет в сходящем режиме.

Для нагревания агента сушки используются воздухонагреватели, работающие на жидком, газообразном или твердом топливе. Нагревание агента суш-

ки может осуществляться как непосредственно, так и через теплообменник. При непосредственном нагревании агента сушки дымовые газы, образующиеся от сгорания жидкого, газообразного или твердого топлива, смешиваются с воздухом, необходимым для сушки. При этом возникает опасность того, что на зерно осядут вредные вещества из дымовых газов, например сажа, производные мазута или полициклические ароматические углеводороды. Кроме того, увеличивается степень влажности воздуха, необходимого для сушки, на то количество влаги, которое высвободилось при сгорании.

При косвенном нагревании агента сушки происходит нагревание дымовыми газами окружающего воздуха в теплообменнике. При этом ни воздух, необходимый для сушки, ни зерно, подлежащее сушке, не соприкасаются с остатками от сгорания топлива, в результате чего на зерно не могут осесть вредные вещества. Существенным недостатком сушки с использованием теплообменника является рост инвестиционных затрат и увеличение теплотребления вследствие высоких потерь тепла в теплообменнике. При этом рост теплотребления примерно на 15–20 % выше по сравнению с теплотреблением при сушке прямым нагревом.

В сушильных установках, в зависимости от их конструктивного исполнения, зерно движется внутри емкости сушильной камеры вертикально, горизонтально или под наклоном сверху вниз под воздействием силы тяжести или под воздействием механических транспортирующих механизмов. Зерно движется в виде плотного потока, при этом им заполняется вся емкость сушильной установки. В сушильных установках, где сушка происходит в псевдоожиженном (кипящем) слое, скорость воздуха в зоне сушки достигает такого значения, что слой зерна начинает двигаться как псевдожидкость. За счет псевдоожижения разрушаются контакты зерен между собой и зерно плавает в воздухе. В барабанных сушилках слой зерна тоже разрушается под воздействием смешивающих и транспортирующих механизмов, и зерно, как и в сушильных установках, где сушка происходит в псевдоожиженном (кипящем) слое, проходит по емкости сушильной установки в виде тонкого слоя. При этом каждое отдельное зерно из слоя со всех сторон обдувается агентом сушки, за счет чего, с одной стороны, улучшается теплопередача, а с другой стороны, сушка зерна происходит более равномерно по сравнению с сушкой зерна в плотном потоке. Недостатком этого способа являются высокие инвестиционные затраты и недостаточная насыщенность отработанных газов. Поэтому следует использовать для рентабельной работы способ сушки с возвратом тепла.

Следующим отличительным признаком сушильных установок является сочетание направлений перемещения агента сушки и зерна. В зависимости от направления потока агента сушки и потока зерна, подлежащего сушке, следует различать сушильные установки с поперечным потоком, противоточные сушильные установки и прямоточные сушильные установки. Распространенным вариантом конструктивного исполнения являются так называемые шахт-

ные сушильные установки с коробами, в которых в вертикальной шахте в ряд расположены воздухопроводы, один над другим, в шахматном порядке. При этом способе агент сушки из подводящего воздухопровода проходит через слой зерна, который находится между воздухопроводами, причем агент сушки может проходить в виде поперечного, противоточного или и прямоточного потока.

С целью компенсации значительных технологических недостатков сушильных установок периодического действия были разработаны установки, где зерно постоянно перемещается. Например, к вертикальной емкости подсоединена нория, и зерно, подлежащее сушке, может отбираться в нижней части емкости, перемещаться наверх и снова засыпаться в емкость сушильной установки. За счет подмешивания сухого зерна в процессе сушки, с одной стороны, достигается более высокая равномерность сушки, с другой стороны, появляется возможность работы с более высокими температурами агента сушки. В этом случае технологический процесс сушки зерна значительно усложняется по сравнению с сушкой неподвижного слоя зерна.

Движение зерна в вертикальных емкостях сушильной установки происходит в основном под воздействием силы тяжести. В отдельных случаях, в горизонтальных или расположенных под наклоном емкостях сушильной установки, непрерывное поступательное движение зерна вызывается механическими транспортирующими механизмами, например ленточными сетчатыми транспортерами, механизмами для перелопачивания или подвижными днищами.

При этом если зерновой ворох сушится в состоянии покоя, то есть положение зерен в течение всего процесса сушки не изменяется друг относительно друга, то это неизбежно приводит к пересушиванию зерна в месте поступления агента сушки и одновременно к относительно высоким термическим нагрузкам на зерно в этой зоне [5, 6]. За счет установки устройств, обеспечивающих движение, ворошение или перемешивание зернового вороха, процесс сушки становится более равномерным; одновременно удастся исключить воздействие относительно высоких термических нагрузок на часть зерна [7, 8].

Емкость сушильной установки является ее главной составной частью. По конструктивному исполнению они разделяются на горизонтальные, наклонные и вертикальные. Следующим отличительным признаком является поперечное сечение емкостей сушильных установок. Плоские и наклонные емкости имеют преимущественно прямоугольное или квадратное поперечное сечение. Вертикальные емкости могут также иметь восьмиугольное, круглое или кольцеобразное поперечное сечение.

В сушильных установках непрерывного действия, независимо от вида зерна, содержания влаги и погодных условий, зерно в одном проходе должно быть высушено до годного для хранения состояния и одновременно охлаждено до температуры окружающего воздуха [9]. Для реализации требуемой непрерывной работы сушильные установки непрерывного действия долж-

ны состоять из следующих структурных элементов: накопительного бункера сырого зерна; зоны сушки; зоны охлаждения; устройства выгрузки и подачи; вентиляторов подачи агента сушки и воздуха для охлаждения; воздухонагревателя; пылеуловителя и устройства управления и регулирования.

В настоящее время в сельскохозяйственном производстве республики преимущественно используются шахтные, колонковые, а также барабанные зерносушилки [10]. В последнее время за рубежом в типоразмерном ряде зерносушилок конвективного типа малой и средней производительности (до 9 *мл. т/ч*) все большее распространение получают передвижные бункерные сушилки периодического действия с принудительной циркуляцией высушиваемого материала (фирмы-изготовители: «Педротти» (Италия), «Моридж» и «Опика» (США), «Вертек» (Канада) и др.) [6, 11]. Зерно с помощью вертикального шнека может подвергаться циркуляции, которая способствует более равномерной его сушке. Высушенное зерно выгружается из сушилки шнеком. После разгрузки в нее подается новая порция влажного зерна. Основные достоинства передвижных бункерных зерносушилок – простота конструкции, малая удельная металлоемкость, максимальная заводская готовность к работе, не требующая сложных монтажных работ. Недостатки: более высокие по сравнению с сушилками непрерывного действия (колонковыми и шахтными) удельный расход топлива, уровень неравномерности сушки и величина повреждаемости зерна. Последний недостаток исключает применение таких сушилок для подготовки семян. Повышенная запыленность и шум во время работы требуют их установки под открытыми навесами или на открытых площадках.

Кроме разработанной классификации, была проведена оценка удельных теплотехнических показателей применяемых отечественных и зарубежных зерносушилок: удельного расхода условного топлива, тепла на сушку, агента сушки и электроэнергии. Дополнительно была определена удельная металлоемкость процесса сушки. Анализ основных теплотехнических показателей зерносушилок, массово применявшихся в хозяйствах республики, показал, что в парке преобладали энергоемкие и металлоемкие зерносушилки. Удельный расход условного топлива у них составлял 12,2–14,5 *кг/мл. т*, удельный расход тепла на сушку – 80–100 *кВт/мл. т*, удельный расход агента сушки – 4500–5750 *м³/мл. т*, удельный расход электроэнергии – 4,45–7,5 *кВт/мл. т*, удельная металлоемкость – 1330–2120 *кг/мл. т* (таблица 1).

Отечественные зерносушилки по показателям значительно уступают основным современным зарубежным аналогам, у которых удельный расход условного топлива составлял 8,2–9,5 *кг/мл. т*, удельный расход тепла на сушку – 70–75 *кВт/мл. т*, удельный расход агента сушки – 3125–4900 *м³/мл. т*, удельный расход электроэнергии – 3,28–3,9 *кВт/мл. т*, удельная металлоемкость – 312,5–666,7 *кг/мл. т* (таблица 2). Кроме того, применение современных материалов при изготовлении зерносушилок позволяет снизить удельную металлоемкость процесса сушки на 1000–1400 *кг/мл. т*.

При этом изготовление зерносушилки из дюралюминиевого сплава (фирма «Риела» (Германия)) увеличивает срок ее службы в 1,3–1,5 раза. Большое значение также имеет модульное построение конструкции зерносушилки.

Таблица 1. – Номинальные параметры и технический уровень зерносушилок, применявшихся при послеуборочной обработке зерна в сельскохозяйственных предприятиях республики в 1990–2005 гг.

Марка зерносушилки	Номинальная производительность, т/ч	Расход условного топлива, кг/т	Удельный расход тепла на сушку, кВт/т	Удельный расход агента сушки, м³/т	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	Удельная металлоемкость сушки, кг/т
СЗПБ-2	2	12,5	100	5750	7,5	2100
СЗСБ-4	4	14,5	80	4500	7,2	1885
ЗСПЖ-8	8	13,8	78,8	4625	4,45	1325
СЗСБ-8	8	12,5	78,8	4625	7,5	1810
СЗШ-8	8	13,5	78,8	4625	5,1	1455
К4-УСА	10	12,2	79	4675	4,85	1330
СЗШ-16	16	13,4	79,4	4844	4,88	1420
М-819	20	12,2	79	5000	4,5	2010
М-839	40	12,5	79,3	5000	4,9	2120

Таблица 2. – Номинальные параметры и технический уровень современных зарубежных шахтных зерносушилок

Марка зерносушилки, фирма-производитель, страна	Номинальная производительность, т/ч	Расход условного топлива, кг/т	Удельный расход тепла на сушку, кВт/т	Удельный расход агента сушки, м³/т	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	Удельная металлоемкость сушки, кг/т
XL110CE8000 Bonfanti (Италия)	55	9,0	72,8	3500	3,28	345,5
HR6-27-3 Tornum (Швеция)	35	9,1	71,4	3143	3,45	428,6
RCW-600 Meru (Финляндия)	20	9,5	72,5	3250	3,6	600
SKN 7A/48 DS Law-denis (Великобритания)	40	8,8	72,5	3250	3,5	500
KCD 3.20.4 Kongs-kilde (Дания)	40	8,5	70,0	3125	3,4	340
GDT300/28/2 Riela (Германия)	40	8,7	75	3000	3,35	312,5
DryJet 60 Schmidt-Seger (Германия)	25	8,2	70	3550	3,7	600
V8-12/2 Goldsaat (Германия)	45	8,5	73	3520	3,9	666,7
74M Antti (Финляндия)	35	9,2	74,3	3430	3,8	657,1

Выводы

Таким образом, способы сушки зерна и сушильные установки, разработанные для их осуществления, можно классифицировать по следующим основным технологическим признакам: принципу действия, конструктивному исполнению, параметрам сушильного агента, способам подачи сушильного агента и зерна.

Сравнительный анализ теплотехнических параметров отечественных и зарубежных зерносушилок показал, что расход тепла на каждую высушенную плановую тонну зерна в республике при использовании зерносушилок типа ЗСПЖ-8, К4-УСА, СЗШ-16, М-819 выше на 4–5 кВт, расход электроэнергии – на 0,5–1,0 кВт, теплоносителя – на 800–1500 м³.

18.06.2015

Литература

1. Muhlbauer, W. Handbuch der Getreidetrocknung / W. Muhlbauer. – Glentze: Agrimedia, 2009. – 523 s.
2. Brusewitz, G.H. Density of rewetted high moisture grains / G.H. Brusewitz // Transactions of the ASAE. – 18 (1975). – № 5. – Pp. 935–938.
3. Shedd, C.K. Resistance of grain and seeds to air flow / C.K. Shedd // Agricultural Engineering. – 1953. – № 9 (34). – Pp. 616–621.
4. Мальтри, В. Сушильные установки сельскохозяйственного назначения / В. Мальтри, Э. Петке, Б. Шнайдер; сокр. пер. с нем.: В.М. Комиссаров, Ю.Л. Фрегер; под. ред. В.Г. Евдокимова. – М.: Машиностроение, 1979. – 525 с.
5. Высоцкий, В.А. Обоснование выбора аэродинамической схемы шахтной зерносушилки / В.А. Высоцкий, В.П. Чеботарев // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси». – Минск, 2006. – Вып. 40. – С. 172–177.
6. Dashkov, V. Energy-saving technological process of grain and seed low temperature drying progressive eco-friendly technological processes in agricultural engineering / V. Dashkov, V. Chebotarev // The International Conference, Lithuanian Institute of Agricultural Engineering Raundondvaris, 19–20 September 2002 yr. – Lithuania, 2002. – Pp. 21–24.
7. Кршеминский, В.С. Сушка семян трав / В.С. Кршеминский, Н.Я. Попов. – М.: Колос, 1984. – 103 с.
8. Анискин, В.И. Консервация влажного зерна / В.И. Анискин. – М.: Колос, 1968. – 286 с.
9. Скороваров, М.А. Режимы сушки зерна / М.А. Скороваров. – М.: Изд-во технической и экономической литературы по вопросам хлебопродуктов, 1959. – 66 с.
10. Ловкис, В.Б. О критериях энергетической эффективности сельскохозяйственных технологий / В.Б. Ловкис, В.А. Колос // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2008. – Вып. 42. – С. 13–19.
11. Колос, В.А. Анализ энергетической эффективности технологии производства картофеля в Северо-Западном регионе России / В.А. Колос, В.Б. Ловкис // Картофелеводство: сб. науч. тр. – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству», 2009. – Т. 16. – С. 292–297.

УДК 631.31

Н.Д. Лепешкин,

Н.С. Козлов,

В.П. Чеботарев

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СПИРАЛЬНО- НОЖЕВИДНОГО КАТКА НА КАЧЕСТВО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ

Введение

В настоящее время существуют различные конструкции почвообрабатывающих машин для послеуборочного измельчения растительных остатков. По принципу действия они подразделяются на машины с рабочими органами пассивного и активного действия. Исходя из анализа почвообрабатывающих агрегатов, совмещающих операцию обработки почвы и измельчения растительных остатков [1], можно сделать вывод о том, что перспективным направлением является усовершенствование почвообрабатывающих агрегатов с пассивными рабочими органами, так как они имеют простую конструкцию, большую производительность, небольшую металлоемкость.

Анализ известных конструкций рабочих органов пассивного действия показывает [1], что наиболее предпочтительными для качественного послеуборочного измельчения растительных остатков являются пассивные рабочие органы в виде спирально-ножевидного катка.

Результаты исследований

Для того чтобы определить оптимальные конструктивные параметры спирально-ножевидного катка, оказывающие наибольшее влияние на качество измельчения растительных остатков высокостебельных культур, в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» изготовлена экспериментальная установка (рисунок 1) и проведены эксперимен-



а)



б)

а) общий вид; б) после прохода по полю

Рисунок 1. – Экспериментальный спирально-ножевидный каток

тальные исследования. Исследования проводились на полях УП «Агрокомбинат Ждановичи» на обработке стерни кукурузы, убранной на силос.

Техническая характеристика экспериментального спирально-ножевидного катка представлена в таблице 1.

Для определения показателя качества измельчения растительных остатков после прохода трактора с экспериментальной установкой, согласно методике проведения опытов [2], на каждом учетном участке в трехкратной повторности накладывалась рамка размером 1×1 м равномерно по ширине захвата установки. В пределах рамки собирались с поверхности обработанного слоя растительные остатки. Собранные растительные остатки, согласно ТКП 080–2007 [2], измерялись и распределялись по длине резки на две фракции, имеющих длину измельченных остатков менее и более 0,15 м, каждая фракция взвешивалась. Долю фракций (качество резания) определяли в процентном соотношении массы i -ой фракции к общей массе пробы по формуле:

$$K_{рез} = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \%,$$

где m_i – масса i -ой фракции в пробе, кг;
 m – общая масса пробы, кг.

Для изучения влияния основных факторов – диаметра катка (D_k) и углов наклона ножа относительно продольной оси (α) и относительно радиуса катка (β), на качество измельчения растительных остатков проводилось их кодирование (таблица 2) для перевода натуральных факторов в безразмерные величины и составлялась матрица планирования эксперимента.

В кодированном виде верхний уровень обозначают +1, нижний –1, а базовый 0. Кодирование факторов проводится по формуле:

$$X_i = \frac{x_i - x_{0i}}{\Delta x_i},$$

где x_i – натуральное значение фактора;
 x_{0i} – натуральное значение фактора на базовом уровне;
 Δx_i – натуральное значение интервала варьирования фактора.

Таблица 1. – Технические параметры спирально-ножевидного катка

Наименование параметров	Значение
Ширина захвата, м	1
Рабочая скорость, м/с	1,4–5,2
Масса установки, кг	340
Количество ножей, шт.	10
Интервал регулирования угла наклона ножа относительно продольной оси катка, град.	0–35
Интервал регулирования угла наклона ножа относительно радиуса катка, град.	0–25
Интервал регулирования диаметра катка, м	0,40–0,58

Таблица 2. – Уровни и интервалы варьирования факторов

Кодовое обозначение факторов	Угол наклона ножа относительно продольной оси катка, (α)	Угол наклона ножа относительно радиуса катка, (β)	Диаметр катка, (D_k)
	x_1	x_2	x_3
Размерность	<i>град.</i>	<i>град.</i>	<i>м</i>
Верхний уровень	30	15	0,55
Базовый уровень	20	10	0,5
Нижний уровень	10	5	0,45
Интервал варьирования	10	5	0,05
Звездные точки: $-\alpha^* = -1,215$	7,85	3,925	0,4393
$+\alpha^* = +1,215$	32,15	16,075	0,5608

После проведения опытов проверялась однородность полученных результатов измерений. Поскольку применялось одинаковое число повторностей опытов, по критерию Кохрена проведена проверка однородности дисперсий, согласно которой расчетное значение должно быть меньше табличного [3]:

$$G_{расч} = 0,320 \leq G_{табл} = G_{0,05; 15; 2} = 0,335.$$

Условие соблюдается, опыты воспроизводимы.

После вычисления значимости полученных коэффициентов регрессии с помощью критерия Стьюдента и исключения незначимых уравнение ортогонального центрального композиционного плана второго порядка (ОЦКП) для трех независимых переменных будет иметь окончательный вид:

$$y = 55,25 - 1,29x_1 - 3,65x_2 - 1,64x_3 - 2,34x_1^2 + 0,91x_2^2 - 13,19x_3^2 + 0,55x_1x_2 - 3,02x_1x_3 + 2,37x_2x_3. \quad (1)$$

Затем по критерию Фишера F определялась адекватность уравнения регрессии (1). Уравнение адекватно, так как расчетное значение меньше табличного:

$$F_{расч} = 2,24 < F_{табл} = F_{0,05; 7; 30} = 2,40.$$

Дальнейшая обработка экспериментальных данных проводилась в графическом редакторе «Statistica». С его помощью было выполнено построение поверхности отклика и двумерное сечение поверхности отклика (рисунки 2–4).

Анализ полученного уравнения регрессии (1) и поверхностей отклика (рисунки 2–4) позволил выявить, что из варьируемых факторов наибольшее влияние на качество измельчения растительных остатков оказывает диаметр катка, затем – угол наклона ножа относительно радиуса катка и в меньшей мере – угол наклона ножа относительно продольной оси катка.

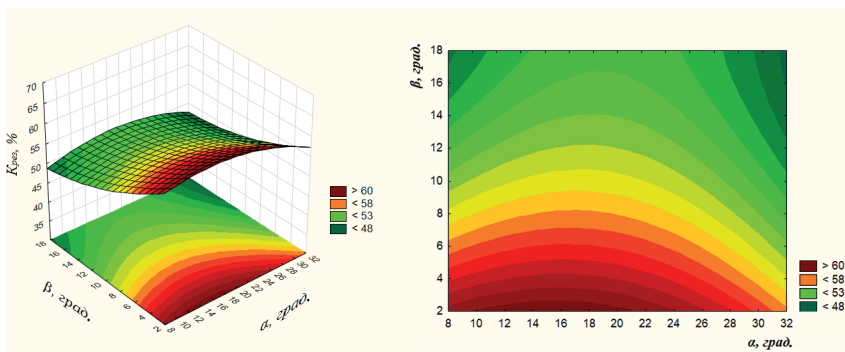


Рисунок 2. – Поверхность отклика и ее двумерное сечение $K_{рез} = f(\beta; \alpha)$

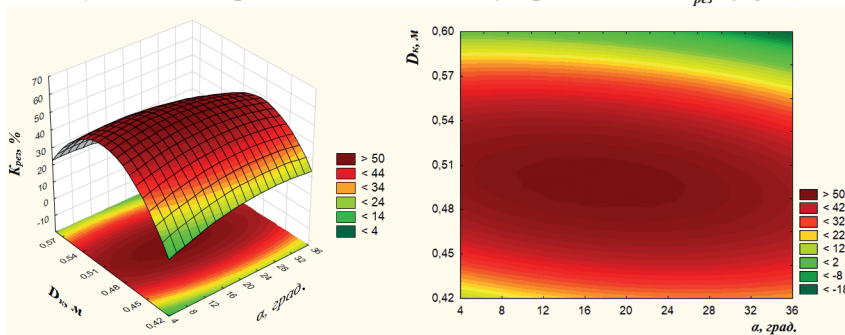


Рисунок 3. – Поверхность отклика и ее двумерное сечение $K_{рез} = f(D_k; \alpha)$

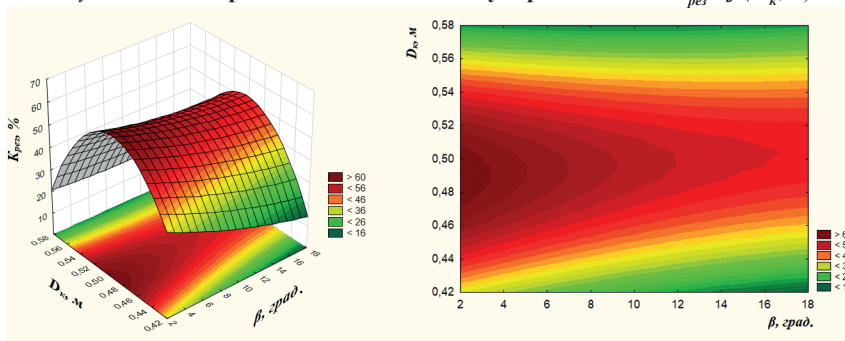


Рисунок 4. – Поверхность отклика и ее двумерное сечение $K_{рез} = f(D_k; \beta)$

Заключение

Установка, разработанная в виде спирально-ножевидного катка, позволила провести исследования качества измельчения растительных остатков стерни кукурузы, убранной на силос.

На основании полученных экспериментальных данных установлены оптимальные значения параметров и режимов работы: $D_k = 0,506 \text{ м}$; $\alpha = 18,66^\circ$; $\beta = 19,43^\circ$, позволяющие получать качество резания в пределах, допустимых агрегаторебованиями.

05.11.2015

Литература

1. Козлов, Н.С. Анализ почвообрабатывающих машин для послеуборочного измельчения высокостебельных культур / Н.С. Козлов // 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. 160–65.
2. Машины и орудия для поверхностной и мелкой обработки почвы. Порядок определения функциональных показателей: ТКП 080–2007. – Введ. 21.01.2008. – Минск: Госстандарт: Бел. гос. ин-т станд-ции и сертификации, 2008. – 39 с.
3. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов: учеб. пособие / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. – Ленинград: Колос, 1972. – 200 с.

УДК 631.331.022

Ю.Л. Салапура,

М.Н. Салапура

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

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПИТАТЕЛЯ ЭЖЕКТОРНОГО ТИПА ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ЗЕРНОВОЙ СЕЯЛКИ

Введение

В технологическом процессе возделывания зерновых культур посев является одной из основных операций, наряду с обработкой почвы и уборкой урожая, от своевременности и качества проведения которой зависит будущей урожай возделываемых культур.

Сев должен проводиться в сжатые и оптимальные для данной культуры агросроки. Этого можно добиться, используя высокопроизводительную широкозахватную технику, совмещающую операции обработки почвы и посева и обеспечивающую минимальные энерго- и трудозатраты. Данным требованиям удовлетворяют и находят в последние годы все большее применение для посева зерновых культур сеялки и почвообрабатывающе-посевные агрегаты шириной захвата 6 м и более с пневматическими высевальными системами, в которых в качестве транспортирующей среды выступает воздушный поток.

Основной трудностью при проектировании пневматических высевальных систем является обеспечение ввода заданного объема посевного материала в транспортирующий поток при избыточном давлении. Для беспрепятственного ввода посевного материала в воздушный поток в негерметичных систе-

мах высева на практике применяются питатели шлюзового, эжекторного или комбинированного типов. Применяемые в настоящее время отечественные и зарубежные посевные машины с пневматическими системами высева имеют для ввода посевного материала питатели эжекторного типа. Основной трудностью в данных устройствах является обеспечение ввода требуемого количества посевного материала с различными физико-механическими свойствами, равномерности и устойчивости транспортирования его в пневмотранспортной системе сеялки. Решение данных задач позволит избежать пульсации в системе и, следовательно, повысить равномерность и устойчивость транспортирования и распределения посевного материала по сошникам и вдоль рядка.

В связи с этим разработка теоретических основ, связанных с повышением производительности (пропускной способности) питателей эжекторного типа, является актуальной научной задачей.

Основная часть

В качестве устройства, подающего посевной материал в транспортную сеть, находящуюся под избыточным давлением, выбран питатель эжекторного типа, состоящий из соосно расположенных конфузора и диффузора.

Расчет питателя такого типа сводится к определению основных геометрических параметров проточной части, обеспечивающих при заданных начальных параметрах воздушного потока транспортирование требуемого объема посевного материала со скоростью, необходимой для равномерно распределения по сошникам.

Принцип действия питателя эжекторного типа основан на преобразовании статического давления в динамическое, позволяющее создавать в месте ввода материала в воздушный поток статическое давление, равное атмосферному или несколько ниже его, и на преобразовании динамического давления в статическое – для транспортирования материала [1, с. 79–83].

Принципиальная схема питателя эжекторного типа представлена на рисунке 1.

Пропускная способность (производительность) питателя эжекторного типа зависит от расхода и скорости воздушного потока в его приемной камере.

По заданной производительности питателя по материалу Q_M , соответствующей максимальной норме высева, и допустимой концентрации смеси μ , позволяющей транспортирование с необходимой скоростью, требуемый расход воздуха Q_B определяется по формуле [2, с. 16]:

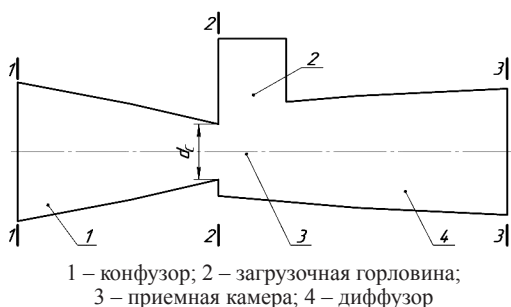


Рисунок 1. – Схема питателя эжекторного типа

$$Q_B = \frac{Q_M}{\mu \cdot \rho_B}, \quad (1)$$

где Q_B – расход воздуха, кг/с ;

Q_M – подача материала, кг/с ;

μ – концентрация смеси, кг/кг ;

ρ_B – плотность воздуха, кг/м^3 .

С учетом диаметра выходного сечения конфузора d_c необходимый расход воздуха определяется из выражения:

$$Q_B = \frac{\pi \cdot d_c^2 \cdot w_{B2}}{4}, \quad (2)$$

где d_c – диаметр выходного сечения конфузора, м ;

w_{B2} – скорость воздушного потока в выходном сечении конфузора, м/с .

Известно [3, с. 50–52], что расход воздуха в конфузоре зависит от разности давлений на его входе и выходе. На основании теории газодинамических процессов в сужающихся каналах расход воздуха через конфузор можно определить из выражения [4, с. 476–496]:

$$Q_B = \frac{F_2}{V_{m2}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot P_1 \cdot V_{m1} \cdot \left[1 - \chi^{\left(\frac{k-1}{k} \right)} \right]}, \quad (3)$$

где F_2 – площадь выходного сечения конфузора, м^2 ;

V_{m1} и V_{m2} – удельный объем газа на входе и выходе канала, $\text{м}^3/\text{кг}$;

k – показатель адиабаты (для воздуха $k = 1,4$);

$\chi = \frac{P_2}{P_1}$ – коэффициент перепада давлений на входе и выходе из канала;

P_2 – давление на выходе из канала, Па ;

P_1 – давление на входе в канал, Па .

Приравняв выражения (1) и (3), определяем пропускную способность питателя по выражению [5]:

$$Q_B = \mu \cdot \rho_B \cdot F_2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot P_1 \cdot V_{m1} \cdot \left[\chi^{\frac{2}{k}} - \chi^{\left(\frac{k+1}{k} \right)} \right]}. \quad (4)$$

Тогда максимальная концентрация смеси составит

$$\mu = \frac{Q_M}{\rho_B \cdot F_2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot P_1 \cdot V_{m1} \cdot \left[\chi^{\frac{2}{k}} - \chi^{\left(\frac{k+1}{k} \right)} \right]}}. \quad (5)$$

Необходимая скорость воздушного потока в выходном сечении конфузора связана с концентрацией выражением:

$$\frac{Q_M}{\mu \cdot \rho_B} = F_2 \cdot w_{B2}, \quad (6)$$

из которого

$$\mu = \frac{Q_M}{F_2 \cdot w_{B2} \cdot \rho_B}. \quad (7)$$

Приравняв (5) и (7) после преобразования, находим выражение для определения скорости воздушного потока на выходе из конфузора:

$$w_{B2} = \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot P_1 \cdot V_{m1} \cdot \left[\chi^{\frac{2}{k}} - \chi^{\left(\frac{k+1}{k}\right)} \right]}. \quad (8)$$

Выражения (4) и (8) служат основой для расчета питателей эжекторного типа.

Данные зависимости позволяют установить параметры транспортирующего воздушного потока, необходимые для беспрепятственного ввода в зону с избыточным давлением и устойчивого транспортирования посевного материала с требуемой концентрацией.

Заключение

Развитие средств механизации посева в настоящее время показывает, что наиболее перспективными являются широкозахватные сеялки и посевные агрегаты с пневматической негерметичной системой высева посевного материала и питателями эжекторного типа.

В результате исследований получены теоретические зависимости, устанавливающие взаимосвязь производительности питателя эжекторного типа и параметров воздушного потока, что позволит обеспечить устойчивое перемещение посевного материала с заданной концентрацией смеси в пневматических высевающих системах. Данные зависимости могут быть применимы и при расчетах систем пневматического транспортирования зерновых материалов.

05.10.2015

Литература

1. Дорфман, М.Х. Пневматический транспорт зерна и продуктов его переработки / М.Х. Дорфман. – М.: Хлебоиздат, 1960. – 232 с.
2. Лукашевич, Н.М. Проектирование и расчет пневмотранспортных устройств и установок для грузов сельскохозяйственного производства / Н.М. Лукашевич. – Горки, 1981. – 84 с.
3. Тимошенко, В.И. Газовая динамика высокотемпературных технологических процессов / В.И. Тимошенко. – Днепропетровск: Институт технической механики НАНУ НКАУ, 2003. – 460 с.
4. Александров, Н.Е. Основы теории тепловых процессов и машин: в 2 ч. / Н.Е. Александров [и др.]; под ред. Н.И. Прокопенко. – 3-е изд., исправл. – М.: БИНОМ, 2009. – Ч. 1. – 560 с.

УДК 631.324.544

В.В. Смильский,

А.В. Сидорчук

*(ННЦ «Институт механизации и
электрификации сельского хозяйства»,
п.г.т. Глеваха, Киевская обл., Украина)*

О КОЭФФИЦИЕНТЕ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИХ ОРУДИЙ

Введение

Проблема повышения эффективности функционирования земледельческих орудий – одна из важнейших в аграрном производстве. Изобилие земледельческой техники, предлагаемой мировым рынком, и отсутствие количественного показателя ее совершенства создают проблему выбора наилучших образцов. Разработчики с энтузиазмом сообщают потребителю о создании нового высокопроизводительного орудия, и он воспринимает это как действительное достижение потому, что не имеет объективного показателя для оценки технического уровня новинки. По-видимому, такой показатель и не может существовать, поскольку эффективность обработки почвы зависит от соответствия ее технологических свойств и параметров рабочих органов земледельческих орудий. В различных почвенных условиях одно и то же орудие будет иметь различную эффективность работы. Например, применяемые в настоящее время системы и средства механизации обработки почв в хозяйствах Республики Беларусь не в полной мере являются рациональными, так как не соответствуют зональным почвенно-климатическим условиям [1]. В этой связи дальнейшее наращивание производства сельскохозяйственной продукции в рыночных условиях возможно путем внедрения научно обоснованных технологий и повышения эффективности использования техники.

Основная часть

Под эффективностью понимается степень соответствия фактического результата желаемому или ожидаемому, то есть это степень достижения цели. Различают целевую и технологическую эффективность [2]. Под целевой эффективностью понимается степень соответствия функционирования исследуемой машины ее целевому назначению, а под технологической (ресурсной) – степень интенсивности ее использования с точки зрения соотношения между произведенной продукцией (наработкой) и объемами затраченных ресурсов. Технологическая эффективность сельскохозяйственной техники крайне низка вследствие сезонности ее использования, а целевая пока не имеет объективного оценочного показателя. Традиционно степень совершенства машин и механизмов оценивают коэффициентом полезного действия (КПД), который характеризует эффективность превращения подведенной энергии в другой вид или передачи ее на расстояние (механические передачи, редукторы, двигатели внутреннего сгорания, электрические

двигатели и генераторы). Основоположник земледельческой механики академик В.П. Горячкин предложил определять КПД плуга как отношение полезного сопротивления к общему сопротивлению по формуле [3]:

$$\eta_{пл} = \frac{(k + \varepsilon V^2) \cdot a \cdot b}{G \cdot f + (k + \varepsilon V^2) \cdot a \cdot b}, \quad (1)$$

где k – удельное сопротивление, $\kappa\text{Па}$;
 ε – ускорение перемещения пласта, м/с^2 ;
 a и b – соответственно глубина и ширина пахоты, м ;
 V – скорость движения агрегата, м/с ;
 G – вес плуга, $\kappa\text{Н}$;
 f – коэффициент сопротивления перемещению плуга.

Полезными сопротивлениями он считал суммарное действие сил трения на рабочих поверхностях и сопротивление пласта деформации, крошению, подрезанию и отбрасыванию его в борозду. Из формулы (1) следует, что чем дальше отбрасывается пласт (чем больший член εV^2) и чем большее удельное сопротивление почвы резанию k , тем выше оказывается КПД плуга, что противоречит его физической сущности. Выходит, что чем меньше острота лемехов плуга, тем лучше его КПД. В работах [4, 5] обращается внимание на то, что формула (1) определяет механический КПД плуга как механизма, но не КПД орудия, предназначенного для желаемого изменения состояния обрабатываемой почвы. Формулу (1) предложено улучшить путем расчленения КПД плуга на технологический $\eta_{тех}$, характеризующий энергетическое совершенство рабочих органов, и механический $\eta_{мех}$, характеризующий совершенство конструкции плуга. Тогда общий КПД плуга

$$\eta_{пл} = \eta_{тех} \cdot \eta_{мех}. \quad (2)$$

Полезными считаются лишь те затраты энергии, которые вытекают непосредственно из задач деформации пласта:

$$\eta_{тех} = \frac{\chi}{(k + \varepsilon V^2)}, \quad (3)$$

где χ – энергия единицы объема пласта, необходимая для изменения свойств почвы в соответствии с агротехническими требованиями.

Поскольку данных для теоретического определения удельной энергоемкости крошения нет, авторы предлагают условно приравнять χ к минимальному значению коэффициента k в формуле (1). Такая замена позволит сравнивать энергоемкость рабочего органа не с теоретической, а с минимальной фактической энергоемкостью.

По нашему мнению, такое усовершенствование понятия КПД ненормально улучшает его информативную ценность. Феномен земледельческих

орудий заключается в том, что они не превращают энергию в другой вид и никуда ее не передают. Главным смыслом их функционирования является разрушение почвенного тела, а не превращение или передача энергии. Например, назначением плуга является переворачивание пласта, разрушение его монолитности и заделка всего, что лежит на поверхности почвы. Позволим себе заметить, что в формуле (1) полезных сопротивлений нет вообще, а потому классический КПД не может быть оценочным критерием совершенства сельскохозяйственных орудий. Полезным можно назвать сопротивление почвы сдвигу ведущим колесом трактора: там оно создает тяговую силу.

Известные ученые-почвоведы В.Р. Вильямс, К.К. Гедройц, П.В. Вершинин, Л.А. Костычев, В.В. Медведев, ученые-инженеры В.П. Горячкин, В.А. Желиговский видели цель механической обработки в крошении почвы [6...9]. Академик В.П. Горячкин писал, что «для современной агротехники главной задачей нужно считать характер крошения пласта различной толщины при различных условиях при посредстве клиньев всевозможной формы...» [3]. Сопутствующие процессы – оборот пласта, заделка растительных остатков и удобрений, рассматривались как ограничения, определяющие тип рабочего органа. Процесс обработки почвы является сложной комбинацией нескольких более простых процессов, которую невозможно выразить традиционной методикой вычисления КПД, а потому официальный термин «КПД сельскохозяйственного орудия» отсутствует и в его технической характеристике не приводится. Поэтому для оценки эффективности вновь создаваемых сельхозорудий применялись различные удельные показатели – производительность, энергетические затраты, материалоемкость, сопротивление, но не качество работы. Если какое-либо орудие совершенствуется, то должен существовать и его теоретический предел – идеальный рабочий орган. Теория сельскохозяйственной механики, при всех ее бесспорных достижениях, не предложила объективных показателей для оценки реального уровня эффективности сельскохозяйственных орудий как средства для обработки почв и не выявила предела их совершенствования. В результате нет весомых доказательств того, что принятые технологии возделывания почвы оптимальны с точки зрения обеспечения жизнедеятельности растений.

Результаты исследований

Объективность количественной оценки качества работы орудий зависит от того, какими параметрами эта работа оценивается. Качество структуры пахотной почвы сейчас оценивают отношением агрономически ценных фракций (0,25–10 мм) ко всей массе почвы, именуя это коэффициентом структурности [9, 10]. Предполагается, что агрегаты внутри диапазонов фракций равноценны. Анализ результатов агрегатного состава различных почв показывает, что одинаковые значения коэффициента могут соответствовать неравноценным агрегатным составам почвы, поэтому нужно учитывать характер распределения фракций.

Суть нашего исследования заключается в разработке количественного показателя агрегатного состава почвы, по значению которого можно будет сравнивать ее состояние до и после обработки различными типами рабочих органов. Продемонстрируем предлагаемый метод на основе результатов анализа агрегатного состава чернозема среднесуглинистого влажностью 13,3–16,4 % и плотностью 215–225 кПа. Стерню ячменя вспахивали различными рабочими органами плугов в агрегате с трактором Т-75 на трех передачах трансмиссии [11]. Для сравнения определено процентное содержание почвенных фракций в естественно сложенной почве (контроль). Результаты анализа крошения почвы представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Агрегатный состав чернозема среднесуглинистого после обработки различными плугами и результаты его фрактальной оценки

Орудие для обработки почвы	Передача трактора	Относительное содержание G фракций почвы размером, мм						Коэффициенты (4) и (5)		
		≤0,25	0,25–20	20–30	30–50	50–100	≥100	G	D	$\eta_{\text{цел}}$
контроль	–	0,019	0,242	0,035	0,047	0,092	0,565	0,81	1,07	–
Плуг П-5-35М, лемешный	I	0,067	0,496	0,043	0,063	0,089	0,222	0,54	1,21	0,131
	II	0,081	0,510	0,046	0,065	0,071	0,227	0,43	1,21	0,131
	III	0,079	0,603	0,061	0,076	0,072	0,109	0,41	1,31	0,224
Плуг ПОД-5-35, роторный с лопатками	I	0,084	0,523	0,104	0,112	0,134	0,043	0,41	1,37	0,280
	II	0,085	0,489	0,107	0,111	0,116	0,092	0,46	1,30	0,215
	III	0,065	0,480	0,113	0,110	0,120	0,112	0,49	1,28	0,196
Плуг ПОД-5-35, роторный с зубьями	I	0,078	0,639	0,053	0,086	0,102	0,042	0,36	1,39	0,299
	II	0,091	0,625	0,055	0,075	0,058	0,096	0,40	1,33	0,243
	III	0,115	0,602	0,049	0,046	0,083	0,105	0,42	1,31	0,224

Мы предлагаем оценивать агрегатный состав почв фрактальным методом. Фрактальным называется множество элементов, которые в некотором отношении подобны целому, а их количество N пропорционально относительному размеру δ в степени D , которая является показателем раздробленности данного множества. Элементами почвенного массива являются агрегаты различных размеров и формы, которые объединены в 6 размерных фракций. Чтобы не считать количество N элементов в каждой фракции, заменим их число относительным весовым содержанием G . Разделив размер d каждой фракции на наибольший размер агрегатов d_{max} , получим относительный размер фракции $\delta = d/d_{\text{max}}$. В этом случае фрактальная размерность D множества агрегатов определяется так:

$$D = \ln G(\delta) / \ln \delta, \quad (4)$$

где D – фрактальная размерность агрегатов (мера раздробленности);

G – весовое содержание элементов (агрегатов), кг;

δ – относительный размер фракции;

d – текущий размер фракции, мм;
 d_{max} – наибольший размер фракции, мм.

Более подробно методика определения показателя фрактальности описана в [12]. Кроме показателя D измельчения, для оценки эффективности работы орудий можно использовать относительный показатель – коэффициент целевой эффективности $\eta_{цел}$, значения которого определяются по формуле:

$$\eta_{цел} = \frac{D_{op} - D_k}{D_k}, \quad (5)$$

где $\eta_{цел}$ – показатель целевой эффективности орудия;
 D_{op} – показатель измельчения почвы орудием;
 D_k – показатель измельчения почвы на контроле.

Результаты определения показателя D и $\eta_{цел}$ для каждого варианта условий обработки занесены в таблицу 1. Анализ значений D и $\eta_{цел}$ позволяет заключить, что серийный плуг П-5-35М имеет очень низкую эффективность работы на вспашке. Рабочие органы с активными элементами имеют примерно равную эффективность, которая уменьшается с повышением скорости движения, что скажется на производительности пахотного агрегата.

В [13] описаны результаты исследований эффективности обработки черноземной тяжелосуглинистой почвы различными типами почвообрабатывающих орудий: отвальным плугом, лушильником, фрезой и дисковой бороной (таблица 2). Автор не приводит сведений о начальной структуре почв, поэтому условно примем показатель измельчения почвы на контроле $D_k = 1,0$. Сравнение показателей D и $\eta_{цел}$ для различных типов орудий показывает, что все они имеют очень низкую эффективность измельчения почвы. Наилучшее качество вспашки получено после плуга ПН-4-35, а наименее эффективно лушение на глубину 20 см.

Таблица 2. – Агрегатный состав чернозема тяжелосуглинистого после обработки различными орудиями и результаты его фрактальной оценки

Орудие для обработки почвы	Относительное содержание G фракций почвы размером, мм						Коэффициенты (4) и (5)		
	$\geq 0,5$	0,5–1,0	1,0–3,0	3,0–5,0	5,0–7,0	7,0–10	G	D	$\eta_{цел}$
Плуг ПН-4-35 на 20 см	0,103	0,054	0,197	0,071	0,070	0,510	0,77	1,17	0,17
Фрезер УПБ на 20 см	0,055	0,041	0,150	0,101	0,070	0,570	0,81	1,13	0,13
Лушение на 20 см	0,058	0,028	0,091	0,058	0,050	0,710	0,87	1,08	0,09
Фрезер УПБ на 10 см	0,069	0,048	0,151	0,075	0,059	0,590	0,81	1,13	0,13

Заключение

Классический КПД не отражает качества работы земледельческих орудий, а поэтому не может служить объективной оценкой их целевой эффективности. Предложенный фрактальный показатель измельчения почвы является объективным критерием качества работы земледельческих орудий.

Использование активных роторов на вспашке чернозема среднесуглинистого позволяет существенно повысить качество крошения почвы, а увеличение скорости движения трактора дает отрицательный результат.

На вспашке тяжелосуглинистой почвы наилучшее крошение почвенного пласта получено после лемешного плуга. Использование фрезерных орудий не всегда оправдано. Для получения нужного качества обработки почвы нужно согласовывать тип рабочего органа с ее физическим состоянием.

17.02.2015

Литература

1. Точицкий, А.А. Почвовлагосберегающие технологии и средства механизации обработки легких почв в Республике Беларусь / А.А. Точицкий, Н.Д. Лепешкин, П.П. Костюков, Н.С. Козлов // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2012. – Вып. 46. – С. 3–10.
2. Асаул, А.Н. Модернизация экономики на основе технологических инноваций / А.Н. Асаул, Б.М. Карпов, В.Б. Перевязкин. – СПб: АНО ИПЭВ, 2008. – 606 с.
3. Горячкин, В.П. Собрание сочинений / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1968. – Т. 2. – 240 с.
4. Мацепуро, М.Е. О коэффициенте полезного действия сельскохозяйственных машин и орудий / М.Е. Мацепуро, В.В. Кацыгин // Вопросы земледельческой механики. – Минск: АСХН БССР, 1960. – Т. 5. – С. 5–85.
5. Кацыгин, В.В. К вопросу изучения технологического коэффициента полезного действия плугов // Вопросы земледельческой механики. – Минск: Ураджай, 1964. – Т. XIII. – С. 2–15.
6. Вильямс, В.Р. Собрание сочинений / В.Р. Вильямс. – М.: Гос. изд-во сельскохозяйственной лит., 1949. – Том III: Земледелие. – 468 с.
7. Гедройц, К.К. К вопросу о почвенной структуре и сельскохозяйственном ее значении / К.К. Гедройц // Известия Гос. ин-та опытной агрономии. – 1920. – № 3. – Т. 4. – С. 117–127.
8. Вершинин, П.В. Почвенная структура и условия ее формирования / П.В. Вершинин. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1958. – 186 с.
9. Медведев, В.В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана) / В.В. Медведев. – Харьков: Изд-во «13 типография», 2008. – 406 с.
10. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
11. Панов, И.М. Крошение почвы плугом с комбинированными плужными корпусами / И.М. Панов, В.А. Шмонин // Тракторы и сельхозмашины. – 1970. – № 2. – С. 18–20.
12. Смильский, В.В. Фрактальная параметризация гранулометрического состава почв Беларуси / В.В. Смильский, А.В. Сидорчук // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т. – Минск, 2010. – Т. 1. – С. 44–49.
13. Инкин, Л.А. Эффективность фрезерной и других приемов обработки черноземной почвы под озимую пшеницу после непаровых предшественников / Л.А. Инкин // Теоретические вопросы обработки почв. – Л., 1978. – Вып. 4. – С. 42–54.

УДК (631.333:631.8):681.1

**Л.Я. Степук, А.А. Жешко,
Н.Д. Гапанович, И.В. Горностаев**

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

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ КОМПЛЕКТ ПРИБОРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Введение

В процессе эксплуатации опрыскивателей происходит неравномерный износ и повреждение распылителей, изменение положения их относительно секций штанг, износ насосов, регуляторов расхода, манометров, запорной аппаратуры. Все это приводит к изменению производительности вылива рабочего раствора, неравномерному его распределению и потерям.

Выполнить диагностику всех узлов опрыскивателя, их настройку и регулировку можно только инструментальным путем.

Однако в настоящее время в хозяйствах республики практически нет никакого приборного обеспечения химзащитных работ, кроме мерной кружки. Поэтому опрыскиватели настраиваются на заданную дозу вылива на глаз. Что недопустимо, так как пестициды, применяемые в Республике Беларусь, – это большая группа токсичных химических веществ, которые высокоэффективны, но вместе с тем являются потенциально опасными как для человека, так и для окружающей природной среды.

Ввиду отсутствия приборного обеспечения мы имеем существенные негативные издержки в растениеводстве как экономического, так и экологического плана. В этой связи актуальной научно-практической задачей является разработка комплекта приборов для определения качества функционирования всех узлов опрыскивателей.

Основная часть

Одним из определяющих показателей качества работы полевых опрыскивателей является неравномерность распределения рабочей жидкости по ширине захвата штанги. Допустимое отклонение от среднего значения между распылителями по ширине захвата должно находиться в пределах $\pm 5\%$ [1].

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработало комплект приборов для тестирования, регулировки и настройки полевых опрыскивателей.

Комплект приборов (рисунок 1) состоит из ящика 1, модуля электронного 2, масленки 3, насадки 4, штатива 5, трубки-пропорционатора 6, струбины лабораторной 7, угломера 8, расходомера 9, воронки 10, тройника 11, зажима лабораторного 12, манометра 13 и дна 14.

В соответствии с рисунком 2 прибор для определения неравномерности распределения рабочей жидкости по ширине захвата опрыскивателя и

выбраковки распылителей в полевых условиях состоит из электронного модуля 1, воронки 2, корпуса 3, соответственно верхнего и нижнего фоторезисторов 4 и 7, трубки 5 и поплавка 6.

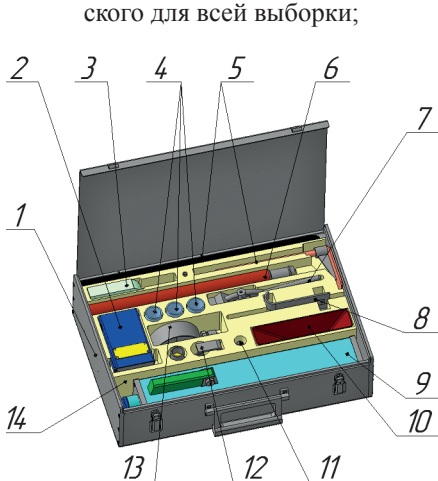
Принцип работы прибора основан на измерении временного интервала перемещения поплавка 6 в фиксированном объеме V рабочей жидкости, собираемой последовательно от каждого распылителя опрыскивателя.

Электронный модуль 1 измерения расхода рабочей жидкости через распылители опрыскивателей обрабатывает сигналы, поступающие от двух фоторезисторов 4 и 7, расположенных в корпусе 3 прибора (рисунок 1). В момент поступления сигнала от нижнего фоторезистора 7 запускается таймер электронного модуля 1. При этом отсчет времени отображается на экране электронного модуля с точностью до сотых долей секунды.

По завершении измерений электронный модуль проводит автоматическую статистическую обработку сформированной выборки.

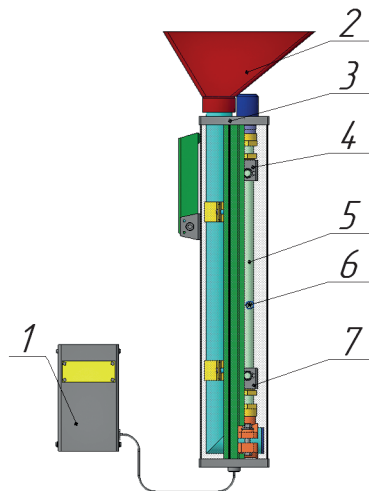
Статистическая обработка включает в себя следующую последовательность вычислений [1, 2]:

- среднего арифметического измеренных времен;
- отклонения отдельного значения времени от среднего арифметического для всей выборки;



- 1 – ящик; 2 – модуль электронный;
3 – масленка; 4 – насадки; 5 – штатив;
6 – трубка-пропорционатор; 7 – струбцина лабораторная; 8 – угломер; 9 – расходомер;
10 – воронка; 11 – тройник; 12 – зажим лабораторный; 13 – манометр; 14 – дно

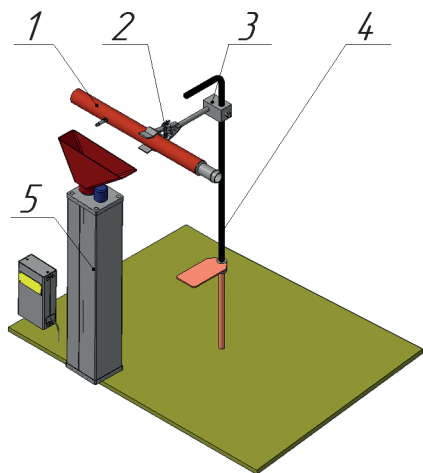
Рисунок 1. – Комплект приборов для тестирования, регулировки и настройки полевых опрыскивателей



- 1 – модуль электронный; 2 – воронка;
3 – корпус; 4, 7 – соответственно верхний и нижний фоторезисторы;
5 – трубка; 6 – поплавок

Рисунок 2. – Прибор для определения неравномерности распределения рабочей жидкости по ширине захвата опрыскивателя и выбраковки распылителей в полевых условиях

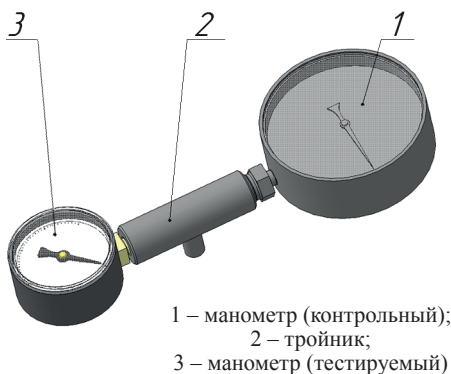
- среднеквадратичного отклонения;
 - коэффициента вариации
- и принятие решений по выбраковке распылителей.



1 – трубка-пропорционатор; 2 – струбина лабораторная; 3 – зажим лабораторный; 4 – штатив; 5 – прибор для определения неравномерности распределения рабочей жидкости по ширине захвата опрыскивателя и выбраковки распылителей в полевых условиях

Рисунок 3. – Прибор для контроля производительности насоса опрыскивателя

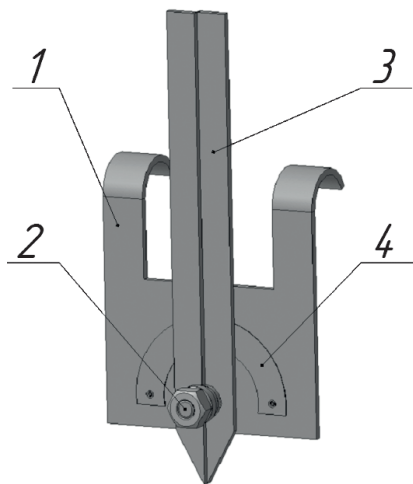
Прибор для контроля производительности насоса опрыскивателя (рисунок 3) состоит из трубки-пропорционатора 1, струбины лабораторной 2, зажима лабораторного 3, штатива 4, прибора для определения неравномерности распределения рабочей жидкости по ширине захвата опрыскивателя и выбраковки распылителей в полевых условиях 5 и предназначен для отбора доли объема рабочей жидкости, подаваемой насосом опрыскивателя, последующего определения фактического расхода, который при умножении на коэффициент пропорциональности позволяет вычислить фактическую производительность насоса полевого опрыскивателя.



1 – манометр (контрольный);
2 – тройник;
3 – манометр (тестируемый)

Рисунок 4. – Прибор для контроля точности работы манометра опрыскивателя

Прибор для контроля точности работы манометра опрыскивателя (рисунок 4) состоит из тройника 2, к которому присоединяется манометр (контрольный) 1 и манометр 3, установленный на опрыскивателе. Посредством параллельного подключения к рабочему контуру опрыскивателя производится проверка точности работы манометра опрыскивателя.



1 – плита; 2 – ось; 3 – щека;
4 – транспортер

Рисунок 5. – Угломер

Прибор для определения угла факела распыла состоит из угломера (рисунок 5) и насадков 4 (рисунок 1) и предназначен для определения фактического угла факела распыла распылителей опрыскивателя в полевых условиях.

Вывод

С помощью комплекта приборов стало возможным проверять в полевых условиях исправность регулятора давления с демпферным устройством опрыскивателя, исправность манометра, производительность насоса, величину полуу-

глов факела распыла и его симметричность относительно выходного отверстия распылителя, фактический расход рабочей жидкости через каждый распылитель и, главное, в автоматическом режиме проводить в полевых условиях статистическую обработку данных, накопленных в ходе испытаний, определяя тем самым неравномерность расхода рабочей жидкости по ширине захвата опрыскивателя.

По данным испытаний, на диагностику опрыскивателя с применением подсобных рабочих и простейших приспособлений затрачивается 4,5 ч, а на тестирование с применением усовершенствованного комплекта приборов – менее 1 ч.

08.05.2015

Литература

1. Степук, Л.Я. Машины для применения средств химизации в земледелии, расчет, регулировки: учеб. пособие / Л.Я. Степук, В.Н. Дашков, В.Р. Петровец. – Минск: Дикта, 2006. – 448 с.: ил.
2. Степук, Л.Я. Механизация процессов химизации и экология / Л.Я. Степук, И.С. Нагорский, В.П. Дмитрачков. – Минск: Ураджай, 1993. – 272 с.: ил.

УДК (631.333:631.8):681.1

Л.Я. Степук, А.А. Жешко

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

О.Ч. Ролич

*(УО «БГУИР»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Введение

На 01.01.2015 г. в республике насчитывается около 5000 опрыскивателей (без учета их технического состояния) при полной потребности 8500 единиц. Более половины имеющихся опрыскивателей находится за пределами амортизационного срока эксплуатации. В условиях нехватки и изношенности аппаратуры чрезвычайно важной является ее точная настройка и правильная эксплуатация. В связи с чем актуальна разработка необходимых приборов, с помощью которых можно оценивать фактическое техническое состояние опрыскивателей и осуществлять их точную настройку на заданную дозу [1]. Это – неперемнное условие повышения экономической и экологической эффективности применения химических средств защиты растений.

В настоящее время в хозяйствах республики, помимо мерной кружки, практически нет никакого приборного обеспечения химзащитных работ. Опрыскиватели настраиваются на заданную дозу практически «на глаз», что недопустимо, так как пестициды, применяемые в Республике Беларусь, – это большая группа токсичных химических веществ, являющихся потенциально опасными как для человека, так и для окружающей природной среды.

В аграрно развитых странах опрыскиватели в обязательном порядке тестируются не менее 2 раз в сезон с использованием стационарных дорогостоящих компьютеризированных стендов. При этом на каждую машину выдается сертификат соответствия, разрешающий ее эксплуатацию.

Отечественные хозяйства не располагают подобными приборами для выполнения диагностики, регулировки всех узлов опрыскивателя и настройки его на заданную дозу, что приводит к существенным экологическим и экономическим издержкам в растениеводстве. В этой связи актуальной научно-практической задачей является разработка прибора для определения качества работы опрыскивателей.

Основная часть

Одним из определяющих показателей качества работы полевых опрыскивателей является неравномерность распределения рабочей жидкости по ширине захвата штанги. Допустимое значение отклонения по ширине захвата должно находиться в пределах $\pm 5\%$ [1].

В настоящее время РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разрабатывает и проводит испытания прибора для определения неравномерности распределения расхода рабочей жидкости по ширине захвата опрыскивателя и выбраковки распылителей в полевых условиях.

Целью настоящей работы является изложение ключевых этапов разработки и реализации алгоритма оценки качества работы опрыскивателей в полевых условиях.

Прибор (рисунок 1) состоит из электронного модуля 1, воронки 2, корпуса 3, соответственно верхнего и нижнего фоторезисторов 4 и 7, трубки 5 и поплавка 6.

Принцип работы прибора основан на измерении временного интервала перемещения поплавка 6 в фиксированном объеме V рабочей жидкостью, собираемой последовательно от каждого распылителя опрыскивателя.

Электронный модуль 1 измерения расхода рабочей жидкости через распылители полевых опрыскивателей обрабатывает сигналы, поступающие от двух фоторезисторов 4 и 7, расположенных в корпусе 3 прибора.

В момент поступления сигнала от нижнего фоторезистора 7 запускается таймер электронного модуля 1. При этом отсчет времени отображается на

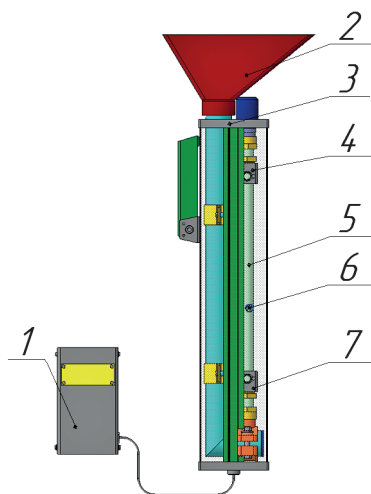
экране электронного модуля с точностью до сотых долей секунды.

Отсчет времени завершается с поступлением сигнала от верхнего фоторезистора 4, и на экране электронного модуля отображается фактический расход, вычисляемый по формуле:

$$Q_i = \frac{V \cdot 10^{-3}}{t_i}, \text{ л/с}, \quad (1)$$

где $V = 150 \text{ мл} = \text{const}$ – объем трубки, расположенный между верхним и нижним фоторезисторами; t_i – время i -го измерения, с.

По завершении i -го измерения у оператора существует возможность либо ввести текущее значение в память электронного модуля, при этом значение добавляется в формируемую при измерениях выборку, либо удалить текущее значение расхода из памяти в случае некачественного измерения, в соответствии с разработанным алгоритмом (рисунок 2).



1 – модуль электронный; 2 – воронка; 3 – корпус; 4, 7 – соответственно верхний и нижний фоторезисторы; 5 – трубка; 6 – поплавок

Рисунок 1. – Прибор для определения неравномерности распределения рабочей жидкости по ширине захвата опрыскивателя и выбраковки распылителей в полевых условиях

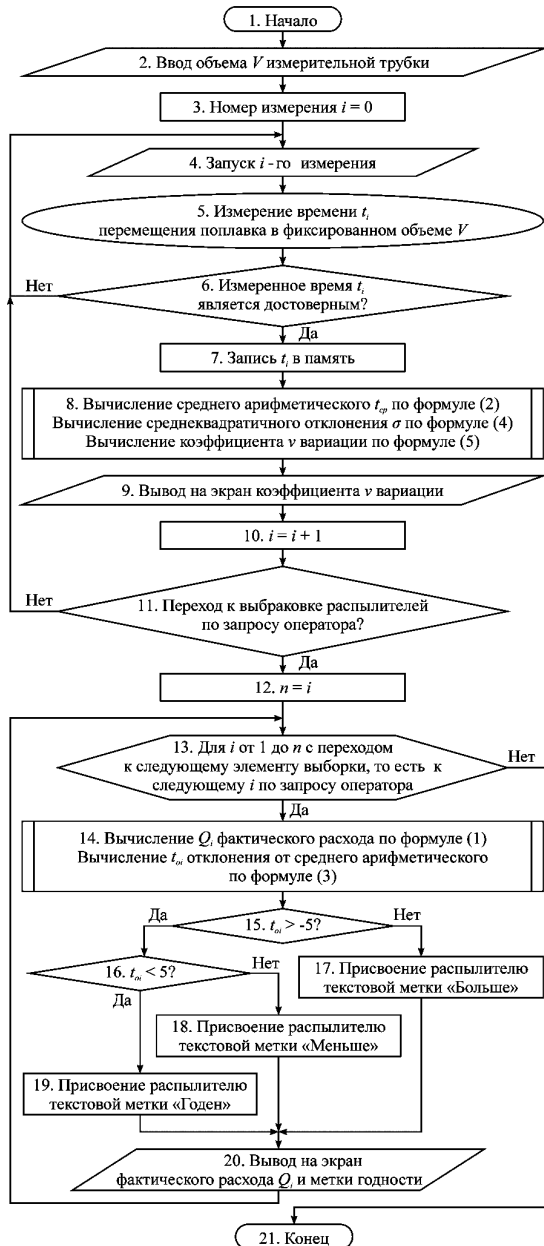


Рисунок 2. – Блок-схема алгоритма оценки качества работы опрыскивателей в полевых условиях

Таким образом, в электронном модуле 1 формируется выборка измерений времен заполнения объема V трубки 5, состоящая из n элементов, где n равно количеству распылителей, установленных на опрыскивателе.

По завершении измерений электронный модуль проводит автоматическую статистическую обработку сформированной выборки.

Статистическая обработка включает в себя следующую последовательность вычислений [1, 2]:

- среднего арифметического измеренных времен;
 - отклонения отдельного значения времени от среднего арифметического для всей выборки;
 - среднеквадратичного отклонения;
 - коэффициента вариации
- и принятие решений по выбраковке распылителей.

Среднее арифметическое измеренных времен определяется по формуле:

$$t_{cp} = \sum_{i=1}^n t_i / n, \quad (2)$$

где t_i – значение времени i -го измерения, с;

n – объем выборки (количество введенных значений).

Отклонение от среднего арифметического для каждого i -го значения ($i = 1, \dots, n$) измеряется в процентах (%) и вычисляется по формуле:

$$t_{oi} = \frac{100t_i}{t_{cp}} - 100. \quad (3)$$

Каждому i -му элементу списка выборки присваивается текстовая метка «Больше», «Меньше» или «Годен» по методике, лежащей в основе алгоритма принятия решения по выбраковке распылителя [1].

Если отклонение t_{oi} выходит за диапазон ± 5 %, то распылитель выбраковывается в группу больше «+» или меньше «-». Если же отклонение соответствует условию

$$-5 \leq t_{oi} \leq 5,$$

то распылитель считается годным для дальнейшего использования на опрыскивателе.

Среднеквадратичное отклонение σ и коэффициент вариации v , играющие основную роль в оценке состояния опрыскивателя, вычисляются соответственно по формулам [2]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2}; \quad (4)$$

$$v = \frac{\sigma}{t_{cp}}. \quad (5)$$

Вычисленный по формуле (5) коэффициент вариации v выборки выводится на экран электронного модуля для оценки неравномерности распределения рабочей жидкости по ширине захвата опрыскивателя.

Электронный модуль, реализованный на базе современного недорогого 32-разрядного микроконтроллера семейства ARM Cortex-M0, имеет интуитивно понятный пользовательский интерфейс и работает в двух основных режимах: формирования выборки времен заполнения объема V рабочей жидкостью и выбраковки распылителей.

В блок-схеме алгоритма функционирования электронного модуля (рисунок 2) режим измерений представлен блоками 1–11, а режим выбраковки – блоками 12–21.

Режим измерений носит циклический характер, в котором очередной отсчет времени перемещения поплавка (блок 5 рисунка 2) запускается командой оператора по мере его готовности.

После подтверждения оператором достоверности измеренного времени по формулам (2), (4), (5) вычисляются текущие значения среднего арифметического, среднеквадратичного отклонения и коэффициента вариации (блок 8 на рисунке 2). Результирующее значение коэффициента вариации как индикатора оценки неравномерности распределения рабочей жидкости по ширине захвата опрыскивателя отображается на экране электронного модуля; данное действие отражено в блоке 9 алгоритма на рисунке 2.

Переход из цикла измерений в режим выбраковки распылителей осуществляется командой оператора, как правило, по завершении испытания всех распылителей опрыскивателя. В данном режиме состояние отдельного распылителя отображается на экране в виде элемента списка с вычисленным расходом рабочей жидкости и текстовой меткой годности (блоки 15–20 алгоритма на рисунке 2). Просмотр состояния очередного распылителя производится оператором путем кругового листания элементов списка сформированных измерений в одном из выбранных им направлений: вперед, назад.

Предложенный алгоритм реализован в приборе (рисунок 1) для определения неравномерности распределения рабочей жидкости между распылителями по ширине захвата опрыскивателя и выбраковки их в полевых условиях.

Все расчеты в контексте недорогой современной целочисленной архитектуры ARM Cortex-M0 произведены с применением методов быстрых целочисленных вычислений для расширенной разрядной сетки микроконтроллера, а именно с применением стандартных алгоритмов быстрого умножения и деления чисел с фиксированной точкой на множестве чисел с разрядностью, в несколько раз большей разрядности регистров общего назначения микроконтроллера. Квадратный корень, фигурирующий в вычислении среднеквадратичного отклонения в формуле (4), извлекался методом Ньютона.

Разработанный прибор снабжен периферийным портом для возможности сохранения полученных измерений на внешнем носителе, в частности на компьютере.

Заключение

Предложенный алгоритм и его реализация в приборе для определения неравномерности распределения рабочей жидкости по ширине захвата опрыскивателя и выбраковки распылителей в полевых условиях позволяет в полевых условиях осуществлять проверку качества работы опрыскивателей, что в конечном счете обеспечит качество обработки вегетирующих сельскохозяйственных культур.

08.06.2015.

Литература

1. Степук, Л.Я. Механизация процессов химизации и экология / Л.Я. Степук, И.С. Нагорский, В.П. Дмитрачков. – Минск: Ураджай, 1993. – 272 с.: ил.
2. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.

УДК 631.3.06.001.8

**В.И. Кравчук, Л.П. Шустик,
Т.В. Гайдай, Д.В. Читаев**

*(ГНУ УкрНИИПИТ
им. Л. Погорелого,
п.г.т. Дослідницьке, Украина)*

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТАРЕЛЬЧАТОГО РАССЕЙВАТЕЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПОСЕВА МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ КУЛЬТУР

Введение

Одним из показателей, способствующих плодородию почвы, является содержание гумуса. Если не вносить органические удобрения, теряется большое количество гумуса (в паровых полях ежегодно в среднем 1,5–2,0 т/га). Для обеспечения бездефицитного баланса гумуса необходимо ежегодно вносить 7 т/га органики [1]. Поскольку в настоящее время органические удобрения вносятся в ограниченном количестве, альтернативой им являются дорогие минеральные удобрения. Как существенно менее затратный вариант используются пожнивны́е посевы сидеральных культур.

Традиционно семена мелкозернистых культур высевают зернотравяными и овощными сеялками строчным способом по различным схемам сева с предварительной обработкой почвы. Для этого требуются 2 отдельных орудия – почвообрабатывающее и посевное. Посев сидератов таким способом является неэффективным с точки зрения экономических преимуществ и энергосбережения, а также в случае применения двух агрегатов происходит переуплотнение почвы [2, 3, 4].

Более приемлемый вариант – применение комбинированных агрегатов модульного типа [5].

В Украине отдельные производители в последнее время наладили собственное производство почвообрабатывающе-посевных агрегатов, в которых на отечественный почвообрабатывающий модуль устанавливается зарубежный посевной модуль. Открытым остается вопрос производства автономного отечественного посевного модуля, адаптированного для работы в различных условиях Украины, с высокими показателями качества распределения семян по площади поля.

Объекты и методы исследований

Для подготовки почвы, как правило, используется почвообрабатывающий дисковый модуль с упругой системой крепления каждого отдельного рабочего органа, который обеспечивает качественный фракционный состав почвы и посевное ложе для высеванных семян сидерата. Нами исследуется посевной модуль автономного электроприводного типа с пневмотранспортной системой подачи семян в тарельчатых высевальных устройствах раструбного типа. Автономность обеспечивает возможность быстрой и упрощенной стыковки посевного модуля с любым другим почвообрабатывающим модулем.

На первом этапе нами были проведены аналитические исследования параметров и режимов работы автономного посевного модуля, в результате которых определен необходимый воздушный поток для посева мелкосемянных культур (горчицы, рапса). Этот параметр находится в пределах $2,2\text{--}2,8\text{ м/с}$.

Исследования были сосредоточены на оптимизации параметров и режимов работы рассеивателей тарельчатого типа, на обосновании компоновочной схемы, а также установки рассеивателя по ширине почвообрабатывающего модуля.

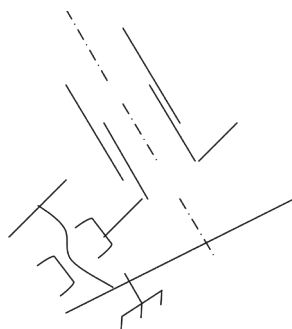
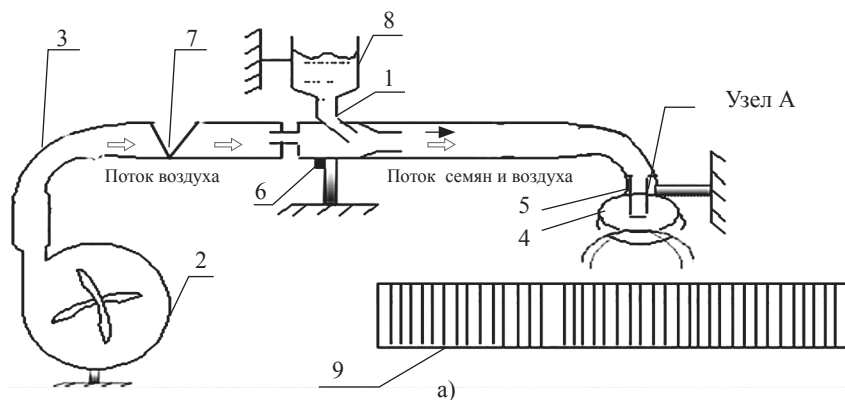
Для решения этой задачи в УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого испытан макетный образец рассеивателя тарельчатого типа (рисунок 1) с возможностью установить переменные и ограничительные параметры (рисунок 2), а также определить уровни квантования переменных параметров и выбрать функцию отклика (масса распределения семян по ячейкам лотка) [6].

Результаты исследований

В результате расчетов установлено, что для обеспечения нормы высева рапса 30 кг/га почвообрабатывающе-посевным агрегатом шириной захвата 4 м трубчатый дозатор должен обеспечить подачу 3 з/с семян.

Эмпирическим путем установлено, что для обеспечения такой пропускной способности при заданных параметрах воздушного потока диаметр калиброванного трубчатого дозатора составляет $0,7\text{ см}$.

Предполагается, что тарельчатый дозатор устанавливается на фиксированной высоте h над поверхностью почвы, которая составляет 50 см , а проекция кромок рассеивателя и прикапывающего элемента (катка) почвообрабатывающего агрегата на почву будет размещена на расстоянии L , она является постоянной величиной и использована как ограничительный фактор (рисунок 2).



1 – дозатор (калиброванная трубка); 2 – воздуходуватель; 3 – пневмомагистрали; 4 – тарельчатый рассеиватель с регулируемым раструбом; 5 – регулятор угла раскрытия раструба (α); 6 – регулятор установки наклона раструба (β); 7 – регулятор потока воздуха; 8 – емкость для семян; 9 – лоток

а) экспериментальная установка; б) узел А – тарельчатый рассеиватель

Рисунок 1. – Общий вид экспериментальной установки для посева сидеральных культур

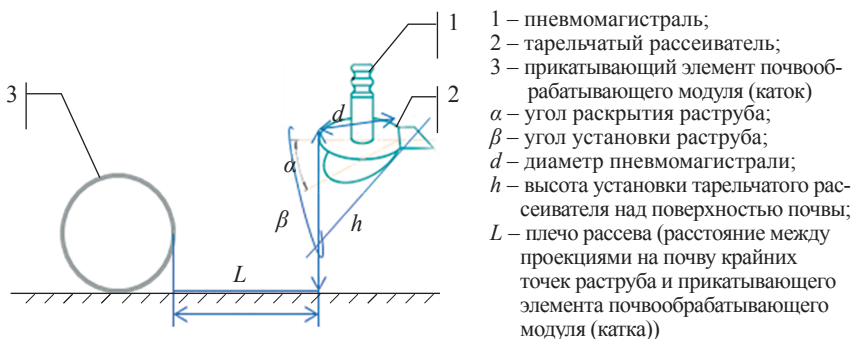


Рисунок 2. – Схема установки и регулировок тарельчатого рассеивателя

Опыты проводились на специальной экспериментальной установке.

Постоянными параметрами являются: диаметр тарельчатого раструба (d), высота установки (h), проекция на почву расстояния между рассеивателем и кромкой катка (L). Согласно агротехническим требованиям и нормативной документации к посевным агрегатам, должны быть соблюдены условия: стабильность подачи семян $v = 20 \%$, изменение нормы высева от 10 до 30 кг/га, диапазон скоростей воздушного потока $V = 2,2-2,5$ м/с и возможность высева широкого спектра культур [7, 8]. Переменными параметрами в макетном образце определены угол раскрытия раструба (α) и угол поворота раструба (β).

Функцией отклика было распределение семян в двух плоскостях – продольной и поперечной. Оно фиксировалось навесками семян, которые попадали в ячейки лабораторного лотка с шагом установки ячеек 5 см [9].

В результате эксперимента были получены статистические массивы данных распределения семян тарельчатым рассеивателем по ячейкам лотка в зависимости от изменения углов раскрытия раструба α и поворота β .

По методу имитационного моделирования определяли приемлемое расстояние (шаг установки T) между соседними тарельчатыми рассеивателями (или перекрытия эпюр рассева m), при котором выполнялось условие равномерности распределения семян по поверхности почвы. В результате моделирования продольного и поперечного распределения семян на основании нормального закона распределения были получены данные для построения гистограмм распределения семян по поверхности почвы.

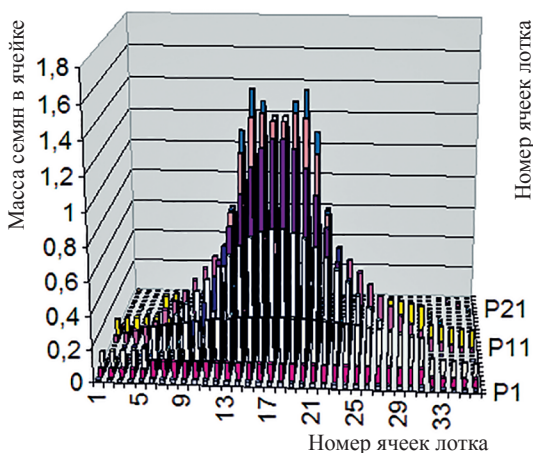


Рисунок 3. – Гистограмма распределения семян по поверхности почвы, получена в результате математического моделирования для углов $\alpha = 20^\circ$, $\beta = 10^\circ$

Характер и форма эпюры свидетельствуют о том, что наилучшее распределение семян в ячейках лотка определяется установленными углами $\alpha = 20^\circ$, $\beta = 10^\circ$ (рисунок 3).

Данный метод имитационного моделирования предусматривает выбор таких углов α и β , при которых полученные и идентичные соседствующие эпюры распределения семян обеспечивают достижение допустимого или менее допустимого ко-

эффициента вариации ($v = 20\%$) в перекрываемых зонах соседних эпюр при наименьшем количестве шагов смещения. Поэтому принимаем наиболее приемлемые – $\alpha = 20^\circ$, $\beta = 10^\circ$, чему соответствует расстояние между ячейками 60 см (12 шагов $\times$ 5 см расстояния ячеек лотка) [10].

Заклучение

Таким образом, можно сделать вывод, что для качественного посева семян на почвообрабатывающем модуле шириной 4 м должно монтироваться 7 рассеивающих раструбов при соблюдении указанных ограничивающих факторов – высоты (h) установки тарельчатого рассеивателя над поверхностью почвы и L – расстояния между проекциями на почву крайних точек раструба и прикатывающего элемента почвообрабатывающего модуля (катка).

13.08.2015

Литература

1. Гірчниця на сидерат – гідна альтернатива добривам // Журнал Агроексперт. – 2011. – № 11. – С. 27–29.
2. Данилюк, Т.В. Обоснование технологии обработки почвы и посева / Т.В. Данилюк // Техничко-технологические аспекты развития и испытания новой техники и технологий для сельского хозяйства Украины: сб. науч. работ УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого. – Дослідницьке, 2011. – Вып. 15 (29). – С. 486–488.
3. Иванюта, М.В. Перспективы развития современных комбинированных агрегатов / М.В. Иванюта, В.А. Дубровин, А.И. Мороз // Научный вестник НАУ. – К.: НАУ, 2005. – № 80. – Ч. 1. – С. 33–38.
4. Минимум обработки – максимум прибыли // Агробизнес сегодня. – 2007. – № 4.
5. Билоткач, Н.П. Комбинированные почвообрабатывающе-посевные машины / Н.П. Билоткач, В.Я. Ковалев, А.И. Мороз // Научный вестник НАУ. – К.: НАУ, 2004. – № 73. – Ч. 1. – С. 260–265.
6. Почвообрабатывающе-посевной агрегат: пат. № 08640 на полезную модель, Украина / В.И. Кравчук, Ю.В. Пономар, Н.Ю. Пономар, Л.П. Шустик, В.В. Погорелый, Т.В. Гайдай; заявитель и владелец Ю.В. Пономар, М.Ю. Пономар, Л.П. Шустик, В.И. Кравчук, В.В. Погорелый, Т.В. Гайдай. – № U201208640; заявл. 12.07.2012; опубл. 11.02.2013 // Промислова власність. – Бюл. № 3.
7. Машины для внесения твердых удобрений багаторядні. Захист навколишнього середовища: Частина 1. Вимоги (EN 13740–1:2003, IDT): ДСТУ EN 13740–1:2004. – Чинний від 01.04.2006. – [Б.м.]: [б.в.], 2006. – 8 с.
8. Агротехнические требования на машину для внесения минеральных удобрений и посева семян сидератов, навесную (модернизация НРУ-0,5). – Сборник агротехнических требований на тракторы и сельскохозяйственные машины. – М.: ЦНИИТЭИ, 1985. – Т. 35. – С. 43–45.
9. Шустик, Л.П. Поиск альтернативных энергосберегающих технологий и исследования образца для посева мелкозернистых культур / Л.П. Шустик, Т.В. Гайдай // Техничко-технологические аспекты развития и испытания новой техники и технологий для сельского хозяйства Украины: сб. науч. работ УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого. – Дослідницьке, 2012. – Вып. 16 (30). – С. 116–119.
10. Машины для обробітку ґрунту та сівби: посібник / За ред. В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника. – Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. – 2009. – 288 с.

УДК 631.333: 631.862

**Э.В. Дыба, П.П. Бегун,
В.В. Микульский**

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

ОБОСНОВАНИЕ ШИРИНЫ ЗАХВАТА МАШИНЫ ДЛЯ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Введение

Одним из основных параметров машин для внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений (ЖОУ) является рабочая ширина захвата, от правильности выбора значения которой в значительной степени зависит технико-экономическая эффективность процесса. В настоящее время методики определения оптимального значения ширины захвата машин для внутрипочвенного внесения ЖОУ не существует. Нами сделана попытка ликвидировать этот пробел.

Основная часть

Решить задачу по определению оптимальной ширины захвата машины можно, зная класс трактора с известными энергетическими и другими характеристиками и размеры емкости сельскохозяйственной машины, используя в качестве критерия производительность [1, с. 201–206]. Расчет ширины захвата произведем на примере машинно-тракторного агрегата в составе «Беларус 3022» + МПВУ-16.

Сменную производительность определим, используя известную формулу [2, с. 102; 3, с. 76; 4, с. 220]:

$$W_{см} = 0,36 \cdot N_e \cdot \eta_m \cdot T \cdot \tau / K, \quad (1)$$

где N_e – эффективная мощность двигателя, кВт;

η_m – тяговый КПД трактора;

T – продолжительность смены, ч;

τ – коэффициент использования времени смены;

K – удельное сопротивление агрегата, кН/м.

Удельное сопротивление машины

$$K = R_a / B_p,$$

где R_a – сила сопротивления движению агрегата, кН;

B_p – рабочая ширина захвата машины, м.

Сила сопротивления движению агрегата [2, с. 71; 5, с. 38]

$$R_a = R_m + R_{вом},$$

где R_m – сила сопротивления рабочей машины, кН;

$R_{вом}$ – сопротивление рабочей машины, связанное с потерей тягового усилия за счет передачи части мощности двигателя на привод механизмов машины, кН.

Сопротивление движению рабочей машины [3]

$$R_m = G_m \left((1 - \lambda_\partial) f_1 + \frac{i}{100} \right) + G_m \left(\lambda_\partial f_2 + \frac{i}{100} \right) + k_{ad} B_p,$$

где G_m – вес машины, κH ;

λ_∂ – коэффициент догрузки ведущих колес, в долях;

f_1 – коэффициент сопротивления перекачиванию трактора;

i – уклон поля, %;

f_2 – коэффициент сопротивления перекачиванию машины;

k_{ad} – удельное сопротивление дискового адаптера, $\kappa H/м$;

B_p – ширина захвата агрегата.

Полный вес машины (κH) складывается из веса груза (удобрения) и сухого веса машины, тогда

$$G_m = G_z + G_{cm}.$$

Сухой вес машины можно представить в виде суммы веса цистерны с шасси и веса дискового адаптера:

$$G_{cm} = G_\psi + G_{ad}.$$

Кроме того, необходимо учесть, что масса адаптера зависит от ширины захвата машины, то есть

$$G_{ad} = m_{lm} \cdot g \cdot B_p,$$

где m_{lm} – масса 1-го погонного метра ширины захвата дискового адаптера, $т/м$;

g – ускорение свободного падения, $м/с^2$.

Сопротивление рабочей машины, связанное с потерей тягового усилия за счет передачи части мощности двигателя на привод ВОМ, определим по выражению [4, с. 39]:

$$R_{вом} = \frac{10 N_{вом} i_m \eta_{m2}}{r_\kappa n_\eta \eta_{вом}},$$

где $N_{вом}$ – мощность, затрачиваемая на привод ВОМ, κBm ;

i_m – общее передаточное число трансмиссии трактора на соответствующей передаче;

η_{m2} – КПД трансмиссии;

r_κ – радиус качения ведущего колеса, $м$;

n_η – номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя, $мин^{-1}$;

$\eta_{вом}$ – КПД ВОМ трактора.

Теоретическая скорость ($м/с$) движения машины равна:

$$\vartheta_m = 0,377 \frac{r_\kappa n_\eta}{i_m}.$$

Выразив теоретическую скорость движения агрегата через рабочую, получим:

$$\vartheta_m = \vartheta_p / (1 - \delta_\epsilon),$$

где ϑ_p – рабочая скорость движения агрегата, $км/ч$;

δ_ϵ – буксование движителей с включенным ВОМ, в долях.

Тяговый КПД

$$\eta_m = N_{кр} / N_e,$$

где $N_{кр}$ – мощность на крюке, $кВт$.

Из баланса мощности трактора можно записать:

$$N_{кр} = N_e - (N_{\delta} + N_f \pm N_a + N_{евом} + N_{mp}), \quad (2)$$

где N_{δ} – потери мощности на буксование, $кВт$,

$$N_{\delta} = N_e \eta_{мз} (1 - \delta_{\sigma}); \quad (3)$$

N_f – потери мощности на перекачивание трактора, $кВт$,

$$N_f = M_{mp} g f_1 \vartheta_p \cos \alpha / 3,6; \quad (4)$$

N_a – потери мощности на преодоление подъема, $кВт$,

$$N_a = M_{mp} g \vartheta_p \sin \alpha; \quad (5)$$

$N_{евом}$ – потери мощности на привод ВОМ, $кВт$,

$$N_{евом} = N_{вом} / \eta_{вом}; \quad (6)$$

N_{mp} – потери мощности в трансмиссии трактора, $кВт$,

$$N_{mp} = N_e \eta_{мз}, \quad (7)$$

где α – угол подъема или спуска, $град.$;

M_{mp} – масса трактора, $т$.

Подставим формулы (3)–(7) в выражение (2), после преобразований получим:

$$N_{кр} = N_e \eta_{мз} (1 - \delta_{\sigma}) - \frac{N_{вом}}{\eta_{вом}} - \frac{M_{mp} g f_1 \vartheta_p}{3,6}.$$

Коэффициент использования времени смены

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^m \tau_c - (m-1)}{\sum_{i=1}^n 1/\tau_c - (n-1)} = \frac{\tau_c}{\frac{1}{\tau_{\sigma\sigma}} + \frac{1}{\tau_{мо}} - 1},$$

где τ_c – суммарный коэффициент, учитывающий потери времени смены;

$\tau_{\sigma\sigma}$ – коэффициент использования времени движения;

$\tau_{мо}$ – коэффициент, учитывающий потери времени на технологическое обслуживание агрегата.

Суммарный коэффициент внецикловых потерь времени смены принимаем постоянным, $\tau_c = const$, и определяем по формуле:

$$\tau_c = \tau_n + \tau_{пер} + \tau_{\phi} - 2,$$

где τ_n – коэффициент, учитывающий подготовительно-заключительное время;

$\tau_{пер}$ – коэффициент времени, учитывающий внутрисменные переезды с участка на участок;

τ_{ϕ} – коэффициент времени, учитывающий простои по физиологическим причинам;

$$\tau_n = (T - T_n) / T;$$

$$\tau_{пер} = (T - T_{пер}) / T;$$

$$\tau_{\phi} = (T - T_{\phi}) / T,$$

где T_n – подготовительно-заключительное время, затрачиваемое на сдачу-приемку агрегата, комплектование, переезды к месту работы и обратно, выбирается по справочной литературе, ч;

$T_{пер}$ – время на внутрисменные переезды с участка на участок, ч;

$T_{ф}$ – время на физиологические нужды, ч.

Коэффициент использования времени движения определим по формуле:

$$\tau_{дв} = \frac{T}{T_p + T_x + T_z + T_{бз}} = \frac{t_p}{t_p + t_x + t_z + t_{бз}},$$

где T_p , T_x , T_z и $T_{бз}$ – время смены, затрачиваемое на работу, холостое движение, на переезды с грузом и без груза, ч;

t_p , t_x , t_z и $t_{бз}$ – время цикла, затрачиваемое на работу, холостое движение, на переезды с грузом и без груза, ч.

Рассмотрим более подробно время цикла, затрачиваемое:

– на работу:

$$t_p = L_{техн} / \vartheta_p ;$$

– на холостое движение:

$$t_x = l_{хц} / \vartheta_x ;$$

– на переезды с грузом:

$$t_z = S / \vartheta_z ;$$

– на переезды без груза:

$$t_{бз} = S / \vartheta_{бз} ,$$

где $L_{техн}$ – технологическое расстояние, м;

$l_{хц}$ – средняя удельная длина холостого хода на одну полную выгрузку, м;

ϑ_x – скорость движения агрегата на холостом ходу, км/ч;

S – расстояние транспортирования удобрений, км;

ϑ_z и $\vartheta_{бз}$ – скорость движения агрегата с грузом и без груза на транспортных работах, км/ч.

Технологическое расстояние определяется по формуле:

$$L_{техн} = \frac{10^4 m_z}{B_p H} ,$$

где m_z – масса груза (грузоподъемность), т;

H – доза внесения удобрений, т/га.

Агрегат для внесения удобрений будет двигаться способом перекрытия, вид разворота – беспетлевой с прямолинейным участком.

Средняя удельная длина холостого хода на одну полную выгрузку

$$l_{хц} = \frac{L_{техн} \cdot l_x}{L_p} ,$$

где l_x – средняя удельная длина холостого хода, м;

L_p – рабочая длина гона, м.

Рабочая длина гона

$$L_p = L - 2 \cdot E,$$

где L – длина гона, м;

E – ширина поворотной полосы, м.

Для беспетлевого разворота с прямолинейным участком ширина поворотной полосы равна:

$$E = 1,1 R_0 + 0,5 d_k + e,$$

где R_0 – минимальный радиус поворота агрегата, м;

d_k – кинематическая ширина агрегата, равная расстоянию между крайними точками по ширине, м;

e – длина выезда агрегата, м.

Радиус поворота агрегата зависит от состава агрегата и скорости поворота:

$$R_0 = 1,5 K_{R0} \cdot B_p,$$

где K_{R0} – коэффициент увеличения радиуса при скорости на холостом ходу.

Длина выезда для тягово-приводных агрегатов [2, с. 93]

$$e = (0,25 \dots 0,75) l_k,$$

где l_k – кинематическая длина агрегата, м;

$$l_k = l_m + l_{\text{м}},$$

где l_m – кинематическая длина трактора, м;

$l_{\text{м}}$ – кинематическая длина машины, м.

Длина холостого хода l_x [2, с. 93]

$$l_x = (1,4 - 2) R_0 + x + 2e,$$

где x – длина прямолинейного участка, м.

Коэффициент использования времени на технологическое обслуживание определим по формуле:

$$\tau_{\text{то}} = \tau_p / (\tau_p + \tau_{\text{то}}),$$

где $\tau_{\text{то}}$ – время, затрачиваемое на погрузку, с.

$$\tau_{\text{то}} = m_z / W_{\text{погр}},$$

где $W_{\text{погр}}$ – производительность загрузчика, м/ч.

Для рабочей скорости (м/с) движения агрегата можно записать:

$$g_p = \frac{10W_c}{B_p H},$$

где W_c – часовая подача подающих рабочих органов (насоса, транспортера и т. д.), м/ч.

Отсюда

$$W_c = Q_n \rho_n,$$

где Q_n – подача вакуум-компрессора, м³/ч;

ρ_n – плотность ЖОУ, м/м³.

Подставляем в выражение (1) значение η_m , $N_{кр}$, τ . После подстановки и математических преобразований получим:

$$W_{cm} = \frac{0,36B_p T \left[N_e \eta_{mc} (1 - \delta_\delta) - \frac{N_{вом}}{\eta_{вом}} - \frac{M_{mp} g f_1 \vartheta_p Q_n \rho_n}{3,6B_p H} \right]}{\left[(m_y g + m_z g + m_{1M} \cdot g \cdot B_p) ((1 - \lambda_\delta) f_1 + \lambda_\delta f_2) + K_{ad} B + 0,377 \frac{N_{вом} \eta_{mc} (1 - \delta_\delta)}{B_p H \eta_{вом} Q_n \rho_n} \right]} \times \left[\frac{T - T_n + T_\phi - T_{пер}}{T} \right] \times \left[1 + \frac{10 Q_n \rho_n (3B_p + x + 2e)}{B_p H \vartheta_x (L - 4,65B_p + 2e)} + \frac{A Q_n \rho_n}{m_z} \right], \quad (8)$$

где $A = S / \vartheta_z + S / \vartheta_{\delta z} + m_z / W_{погр}$.

Подставляем в уравнение (8) известные параметры и решим его графическим способом для различных расстояний перевозки и доз внесения навоза. Графики зависимости сменной производительности агрегата от его ширины захвата для расстояний перевозки 2, 5, 10 км представим на рисунке 1, а для доз внесения 20, 40, 60 м/га – на рисунке 2.

Как видно из графиков, представленных на рисунках 1 и 2, при увеличении ширины захвата от 2 до 6 м производительность резко возрастает, что обусловлено уменьшением времени разгрузки цистерны. Дальнейшие изменения, начиная с 6 м до 10 м, менее заметны. Полученное значение ширины захвата машины 10 м, при котором обеспечивается максимальная сменная производительность, нерационально для выполнения работ (неудобства при транспортировке, необходимость отбивать широкие поворотные полосы, большая металлоемкость). Поэтому надо применять такое значение ширины захвата, при котором увеличение сменной производительности незначительно, если при этом нет других ограничений (возможность складывания секций адаптера и т. д.).

Наряду с производительностью агрегата, как правило, в качестве критерия оптимизации принимают прямые затраты денежных средств на единицу обработанной площади (прямые удельные издержки). В последних учиты-

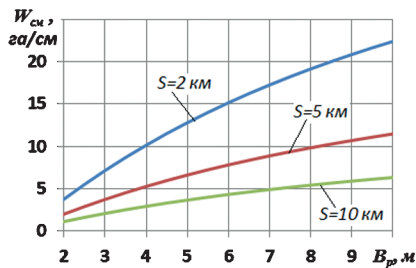


Рисунок 1. – Зависимость сменной производительности от ширины захвата машины для диапазона расстояний перевозки 2–10 км (доза внесения 40 м/га)

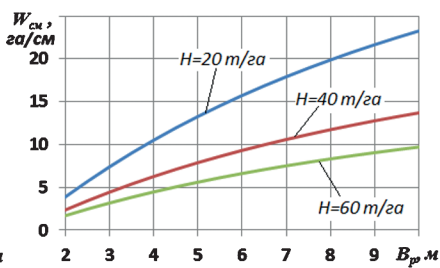


Рисунок 2. – Зависимость сменной производительности от ширины захвата машины для диапазона доз внесения 20–60 м/га (расстояние перевозки 4 км)

ваются как производительность агрегата, так и расход топлива и затраты на оплату труда механизаторов. В общем виде прямые издержки могут быть выражены формулой:

$$C = \frac{1}{100W_{cm}} \left[\frac{B_m(a_m + r_m)}{T_m} + \frac{B_M(a_M + r_M)}{T_M} + 100(3_m + 3\Pi_M) \right],$$

где B_m и B_M – балансовая стоимость соответственно трактора и сельхозмашины, *долл. США*;

a_m и a_M – амортизационные отчисления на трактор и машину, %;

r_m и r_M – отчисления на ремонт, %;

T_m и T_M – годовая загрузка трактора и сельхозмашины, ч;

3_m – затраты на топливо за час работы, *долл. США*;

$3\Pi_M$ – часовая оплата труда механизаторов, *долл. США*.

Затраты денежных средств на топливо

$$3_m = \frac{g_e N_e}{10^3} C_{3m},$$

где g_e – удельный расход топлива, *л/кВт·ч*;

C_{3m} – стоимость 1 кг топлива, *долл. США*.

В результате расчета были получены зависимости прямых удельных издержек от ширины захвата при различных расстояниях перевозки и дозах удобрений, которые приведены на рисунках 3 и 4.

Анализируя графики, представленные на рисунках 3 и 4, можно сделать вывод, что при прямоточной технологии внесения ЖОУ с увеличением ширины захвата от 2 до 6 м наблюдается резкое снижение прямых удельных издержек, что связано с резким ростом сменной производительности в этом диапазоне. При дальнейшем увеличении ширины захвата снижение прямых удельных издержек малозаметно.

Для определения рациональной ширины захвата машины полученные зависимости сменной производительности и прямых удельных издержек

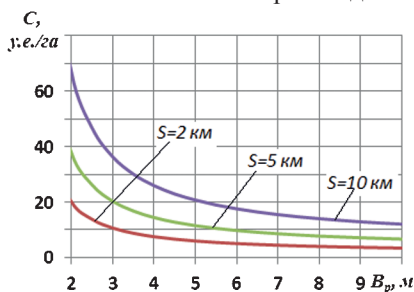


Рисунок 3. – Зависимость прямых удельных издержек от ширины захвата машины для диапазона расстояний перевозки 2–10 км (доза внесения 40 м/га)

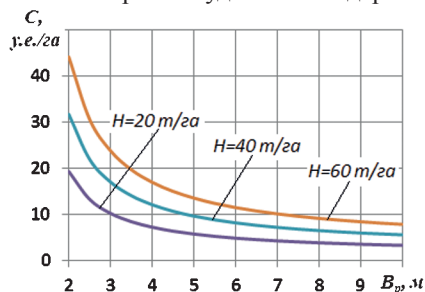


Рисунок 4. – Зависимость прямых удельных издержек от ширины захвата машины для диапазона доз внесения 20–60 м/га (расстояние перевозки 4 км)

от ширины захвата совместим на одной диаграмме. Для этого приведем их к удельным величинам, например к процентам. Совмещенные графики зависимостей сменной производительности и прямых удельных издержек от ширины захвата при различных расстояниях перевозки и различных дозах внесения ЖОУ приведены на рисунках 5 и 6.

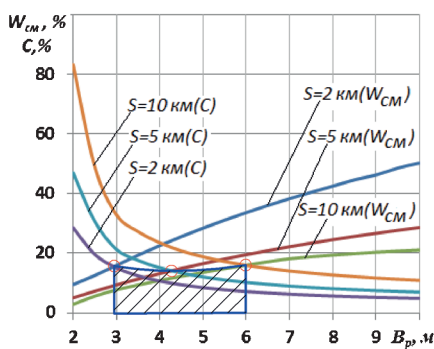


Рисунок 5. – Совмещенные графики зависимостей сменной производительности и прямых удельных издержек от ширины захвата машины для диапазона расстояний перевозки 2–10 км (доза внесения 40 м/га)

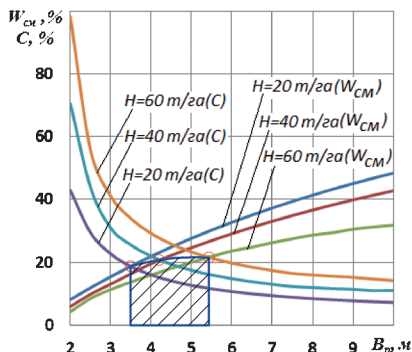


Рисунок 6. – Совмещенные графики зависимостей сменной производительности и прямых удельных издержек от ширины захвата машины для диапазона доз внесения 20–60 м/га (расстояние перевозки 4 км)

Анализ графиков, представленных на рисунках 5 и 6, показывает, что при расстоянии перевозки от 2 до 10 км значение ширины захвата машины находится в пределах от 2,9 до 6 м. При дозе внесения жидкого навоза от 20 до 60 м/га оптимальное значение ширины захвата машины находится в пределах от 3,5 до 5,5 м.

Заключение

На основании приведенных расчетов можно сделать вывод, что рациональная ширина захвата машины для внутрипочвенного внесения ЖОУ должна находиться в пределах от 2,9 до 6 м. Это позволит снизить прямые удельные издержки на выполнение операции по внесению ЖОУ, что в конечном итоге положительно отразится на себестоимости продукции.

01.07.2015

Литература

1. Завалишин, Ф.С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве / Ф.С. Завалишин. – М.: Колос, 1973. – 391 с.
2. Эксплуатация машинно-тракторного парка: учеб. пособ. для с.-х. вузов / А.П. Ляхов [и др.]; под ред. Ю.В. Будько. – Минск: Ураджай, 1991. – 336 с.
3. Сергеев, В.С. Определение тяговых показателей тракторов: методические указания / В.С. Сергеев, А.А. Миренков. – Горки, 2003. – 52 с.
4. Сапьяник, Г.Н. Оценка энергетических, технологических и экономических показателей работы машинно-тракторных агрегатов: методические указания / Г.Н. Сапьяник, Е.П. Ладик, Г.Л. Солодухин. – Горки, 1983. – 130 с.

5. Веденяпин, Г.В. Эксплуатация машинно-тракторного парка: учеб. пособ. для с.-х. вузов / Г.В. Веденяпин, Ю.К. Киртбая, М.П. Сергеев. – М.: Сельхозиздат, 1963. – 431 с.
6. Смирцевский, Б.С. Эксплуатация машинно-тракторного парка / Б.С. Смирцевский. – М.: Сельхозиздат, 1958. – 660 с.

УДК 631.356:635.132(476)

И.А. Барановский

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

ОБОСНОВАНИЕ ФОРМЫ ПОДКАПЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ КОРНЕКЛУБНЕУБОРОЧНЫХ МАШИН

Введение

Подкапывающие рабочие органы корнеклубнеуборочных машин выполняют одну из первых операций технологического процесса уборки корнеклубнеплодов, в том числе моркови, поэтому степень их совершенства в значительной мере определяет технологическую схему и качество работы машины в целом.

В основу работы подкапывающих рабочих органов корнеклубнеуборочных машин положен клин. При движении лезвие разъединяет сцепленные между собой частицы почвы и срезанный пласт под действием реакции недеформированной почвы движется вверх по рабочей поверхности клина. Прекращение движения пласта почвы по поверхности клина отрицательно сказывается на работоспособности машины, нарушается надежность технологического процесса, увеличивается процент потерянных и поврежденных корнеплодов. Поэтому при проектировании формы подкапывающих рабочих органов важно определить параметры, при которых обеспечивается устойчивое разрушение и перемещение почвы по их поверхности.

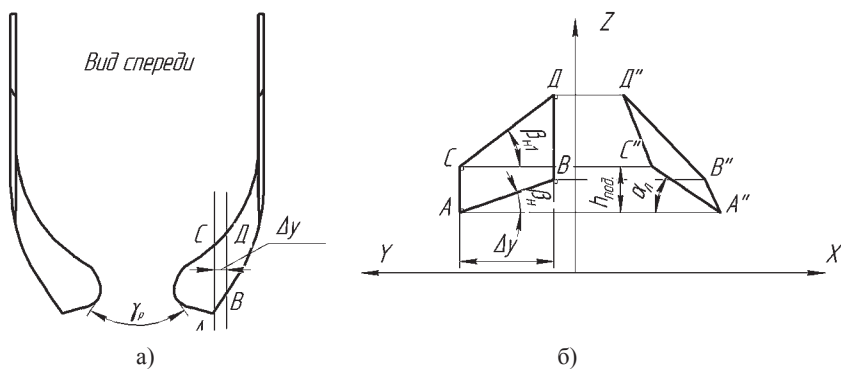
Основная часть

Одними из основных рабочих органов корнеклубнеуборочных машин являются подкапывающие органы в виде лап.

Если рассечь проектируемую нами лапу рядом вертикальных плоскостей, параллельных направлению движения, отстоящих одна от другой на равных бесконечно малых расстояниях Δu , то каждая отсеченная часть лапы будет представлять собой элементарный клин (рисунок 1).

Рабочая поверхность этого элементарного клина определяется его сторонами: лезвием AB , линией AC – границей двух смежных элементарных клиньев с одной стороны и линией BD – с другой.

Лезвие элементарного клина AB является частью всего лезвия лапы. Деформация почвы определяется углом наклона к горизонту элементарного клина с элементарным лезвием AB .



а) подкапывающий рабочий орган;
б) проекция элементарного клина подкапывающего рабочего органа

Рисунок 1. – Элементарный клин подкапывающей лапы

Положение линии AB определяется величиной расстояния по лезвию между секущими плоскостями и углом наклона β_n ее к горизонтальной плоскости. Линия CD , соответственно, определяется величиной расстояния по заднему обрезу лапы между секущими плоскостями и углом β_{n1} . Ширина слоя, поднимаемого элементарным клином, равна расстоянию между секущими плоскостями.

Длина лезвия элементарного клина, согласно рисунку 1, равна отрезку AB :

$$l_k = \Delta y / \cos \beta_n.$$

При весьма малом значении Δy слой почвы перемещается по линии AC . Высота подъема слоя почвы элементарным клином определяется:

$$h_{nod.} = A'' C'' \cdot \sin \alpha_n,$$

где α_n – угол наклона.

Разность углов β_n и β_{n1} определяет сдвиг частиц почвы элементарным клином шириной Δy в направлении, перпендикулярном движению лапы. Этот сдвиг частиц почвы не вызывает сдвига в вертикальном направлении, способствующем подъему корнеплодов из почвы. Разность углов β_n и β_{n1} обосновывается необходимостью плавного перехода рабочей поверхности из одного элементарного клина к другому.

Перемещение элементарного клина в почве можно представить в виде суммарного перемещения в двух направлениях: в направлении перемещения и перпендикулярном AC (рисунок 2).

Движение, перпендикулярное AC , определяет подъем элементарного слоя почвы, следовательно, вызывает давление почвы на плоскость. При движении почвы в направлении AC появляется сила трения в результате действия силы от давления элементарного слоя почвы на поверхность элементарного клина.

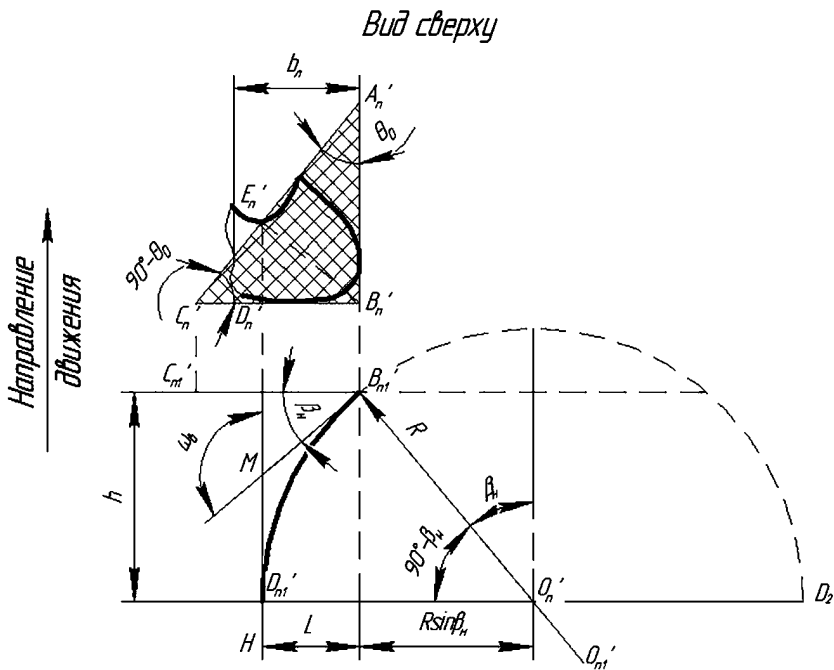
чины поднятия слоя почвы $h_{под}$.

$$AC = \frac{h_{nod.}}{\sin \alpha_n}.$$

При движении лапы ее поверхность, составленная из элементарных клиньев, вызывает перемещение частиц почвы с одновременным подъемом корня. Эти перемещения вызывают сдвиги почвы в зоне связи корнеплода с почвой, а направление скорости частиц почвы, сообщаемое им продвижением элемента рабочей поверхности лапы, определяет характер деформации почвы.

Для построения вертикальной проекции подкапывающей лапы необходимо остановиться на выборе направляющей кривой, величины параметров которой, ее вид и положение в значительной степени определяют крошащую способность [3].

Представим схему лапы в плане (рисунок 3).



**Рисунок 3. – Схема к обоснованию кривизны подкапывающей лапы
(вид сверху)**

В качестве направляющей кривой может быть взята окружность или парабола, причем предпочтительнее пользоваться параболой, так как последней можно придать любую вогнутость за счёт изменения угла ω_0 между касательными к крайним точкам ветвей параболы, а это, в свою очередь, позволяет приспособить поверхность лапы к различным условиям работы, обеспечивающим плавный подъем пласта почвы по лапе, приподнимание и лучшее крошение.

Однако при построении параболы для предварительного определения ее основных габаритных размеров в качестве исходной направляющей кривой все же практически удобнее воспользоваться окружностью определенного радиуса R , на размерах которой строится затем основная направляющая кривая – парабола.

Через конец лезвия копача – точку B_n – проводим вертикальную плоскость перпендикулярно лезвию копача и глубине подкапывания. Эта плоскость рассечет поднимаемый пласт по линии $B_n C_n$, выделив некоторую часть пласта $A_n B_n C_n$ в форме прямоугольного треугольника. Эта часть пласта должна полностью расположиться на полувинтовой поверхности, а прямая $B_n C_n$ при этом изогнется по кривой, соответствующей по форме поверхности лапы, то есть навернется без остатка на кривую поверхности лапы в сечении $B_n C_n$. Следовательно, точка C_n , поднимаясь вверх при наvertывании, займет новое положение D_n .

Если теперь плоскость H совместить с горизонтальной плоскостью, то на совмещенной плоскости H получим истинное изображение направляющей кривой.

Порядок построения направляющей кривой будет следующим. Из точки B_{nI} проводим прямую B_{nI} под углом β_n к линии $B_{nI} C_{nI}$ (β_n – угол установки лапы 56° к дну грядки). Далее из той же точки B_{nI} к прямой B_{nI} восстанавливаем перпендикуляр $B_{nI} O_{nI}$ и подбираем центр исходной направляющей окружности так, чтобы проведенная дуга окружности касалась прямой $D_n D_{nI}$. Кривая $B_{nI} D_{nI}$ и будет являться исходной направляющей кривой поверхности лапы.

Величина радиуса R и другие параметры направляющей кривой легко определяются из чертежа.

Как уже отмечалось при построении,

$$\cup B_1 D_1 = BC.$$

Из рисунка 3 имеем

$$BC = \frac{BE}{\sin(90^\circ - \theta_0)} = \frac{b}{\cos \theta_0}$$

и

$$\cup B_1 D_1 = R \left(\frac{\pi}{2} - \beta_n \right).$$

Следовательно,

$$R \left(\frac{\pi}{2} - \beta_n \right) = \frac{b}{\cos \theta_0},$$

откуда минимальный предел радиуса

$$R = \frac{b}{\left(\frac{\pi}{2} - \beta_n \right) \cos \theta}.$$

Касательные к точкам кривой B_{nl} и D_{nl} пересекаются в точке M . Угол ω_e между касательными будет равен:

$$\omega_B = 90^\circ + \beta_n.$$

Расстояние L (рисунок 3) направляющей кривой определяется в зависимости от радиуса исходной окружности и угла постановки направляющей к дну борозды:

$$L = R(1 - \sin \beta_n).$$

Высота направляющей кривой

$$h = R \cos \beta_n.$$

Размер вылета L направляющей кривой имеет большое значение для крошения пласта. С уменьшением вылета повышается крошащая способность лапы, а с увеличением вылета – уменьшается.

Заключение

Полученные выражения позволяют определить рациональные формы подкапывающих лап корнеплодоборочной машины, которые исключают явления сгруживания почвы и заваливания корнеплодов, а также обеспечивают полное разрушение связи корнеплодов с почвой и передачу их на очистительные рабочие органы машины.

06.05.2015

Литература

1. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / В.И. Александров [и др.]; под ред. А.В. Красниченко. – М.: Машиностроение, 1961. – Т. 2. – 864 с.
2. Савич, П.В. Исследование копающих рабочих органов свеклоуборочных машин / П.В. Савич. – Киев, 1959. – 18 с.
3. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин / Н.П. Крутиков [и др.]. – М.: МАШГИЗ, 1951. – 574 с.

УДК 631.347.8.004

**А.Н. Басаревский,
С.П. Кострома**

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

В.Б. Ловкис

*(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГИДРОПОДКОРМКИ ОГД-50 К ДОЖДЕВАЛЬНЫМ УСТАНОВКАМ

Введение

Увеличение валовых сборов сельскохозяйственной продукции – важнейшая задача, стоящая перед агропромышленным комплексом. Ее решению должна способствовать интенсификация всего сельскохозяйственного производства, одним из составляющих элементов которой является удобрительное орошение. Использование данной технологии позволяет увеличить количество и повысить качество растениеводческой продукции, а также снизить ее себестоимость [1].

Анализ природно-климатических и почвенных условий показывает, что развитие аграрного производства в Беларуси оказалось практически невозможным без мелиоративных работ по улучшению сельскохозяйственных угодий. Часто повторяющиеся засухи, а также неравномерность выпадения осадков по территории не позволяют получать гарантированные урожаи сельскохозяйственных культур без орошения. Недостаток влаги сводит к минимуму влияние на урожай всех остальных факторов (удобрений, защиту растений, качество семян, обеспеченность техникой и т. д.) [2].

Необходимость и высокую эффективность удобрительного дождевания доказывает и положительный производственный опыт применения этого мероприятия на соседних территориях (в Польше, Германии, Прибалтике).

Следует отметить, что качество и эффективность применяемых в настоящее время удобрений значительно повысились. Разработаны комплексные полностью растворимые минеральные удобрения, экологически безопасные биопрепараты [3]. Известно также об эффективности использования с поливной водой легкорастворимых солей микроэлементов (Cu, Zn, Mo, Mn и др.) [4]. Все это создает предпосылки для разработки нового оборудования к дождевальным установкам, позволяющего с высокой точностью осуществлять стабильную дозированную подачу удобрений одновременно с поливной водой. В связи с этим была поставлена задача: разработать оборудование для гидроподкормки к дождевальным установкам, которое обеспечит повышение продуктивности сельскохозяйственных культур.

Основная часть

На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработано оборудование для гидроподкормки ОГД-50 к дождевальным установкам, предназначенное для дозированного ввода микроудобрений в поток поливной воды в напорном трубопроводе. Конструкция оборудования, как показано на рисунке 1, состоит из следующих основных узлов: прицепа грузового 1, на котором установлены емкости для маточного раствора 2, дозирующего устройства 3, системы трубопроводов 4, вентиля 5, манометров 6, расходомера 7.

Работа оборудования происходит следующим образом: вода под напором (от 30 до 100 м) подается в дозирующее устройство, которое под действием указанного напора всасывает микроудобрения в заданном объеме из емкости для маточного раствора и вводит их в поливную воду в водопроводящей системе дождевальной установки. Получаемая смесь подается в выходной (напорный) трубопровод и далее в дождевальный аппарат. Таким образом происходит орошение с внесением микроудобрений.

Техническая характеристика оборудования для гидроподкормки ОГД-50 к дождевальным установкам приведена в таблице 1.

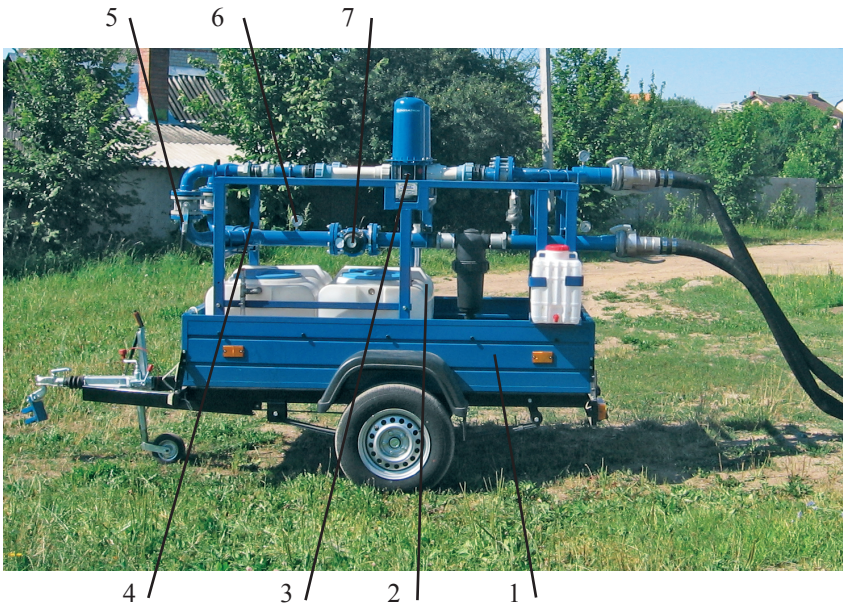


Рисунок 1. – Общий вид оборудования для гидроподкормки ОГД-50 к дождевальным установкам

Таблица 1. – Техническая характеристика оборудования для гидроподкормки ОГД-50 к дождевальным установкам

Наименование показателей	Значение
1. Тип оборудования	Полуприцепной
2. Количество емкостей, шт.	2
3. Объем емкости для рабочего раствора, л, не менее	250
4. Концентрация удобрений в поливной воде, %	0,2...2,0
5. Давление в водопроводящей системе, МПа	0,3...1,0
6. Расход поливной воды, не более, м ³ /ч	50,0
7. Потери давления на выходе, не более, МПа	0,2
8. Габаритные размеры:	
– длина	4000
– ширина	1800
– высота	2500
9. Масса, не более	850
10. Эксплуатационно-технологические коэффициенты, не менее:	
– коэффициент использования сменного времени	0,55
– коэффициент использования эксплуатационного времени	0,55
– коэффициент надежности технологического процесса	0,98
11. Срок службы, лет, не менее	6
12. Ресурс до списания, ч, не менее	2400

Государственные приемочные испытания оборудования для гидроподкормки ОГД-50 к дождевальным установкам проводились в УНП «Опытные поля» Тушково-1 Могилевской области (рисунки 2, 3). Ус-



Рисунок 2. – Общий вид оборудования для гидроподкормки ОГД-50 с дождевальной установкой Rainstar T 61 при проведении испытаний

ловия проведения испытаний: температура воздуха – 20,0 °С; относительная влажность воздуха – 45 %; температура воды – 13 °С. В ходе испытаний выполнялось внесение микроудобрений при поливе многолетних трав.

Функциональные показатели качества выполнения технологического процесса оборудованием ОГД-50 по результатам приемочных испытаний в ГУ «Белорусская МИС» приведены в таблице 2 [5, 6].

За период испытаний оборудования для гидроподкормки ОГД-50 к дождевальным установкам общая наработка составила 114 часов, от-

Таблица 2. – Функциональные показатели качества выполнения технологического процесса оборудованием для гидроподкормки ОГД-50

Наименование показателей	Значения	
	По техническому заданию (ТЗ)	По результатам испытаний
Производительность дозирующего устройства, $\text{м}^3/\text{ч}$	0,04–0,08	0,04–0,08
Процентное соотношение объема расхода рабочего раствора к объему расхода поливной воды, %	0,2–2,0	0,2–2,0
Неравномерность подачи рабочего раствора в напорный трубопровод, %	–	0,7–2,9
Фактический расход рабочего раствора на 1000 дм^3 поливной воды, дм^3	–	2,06–19,80
Отклонение фактического расхода рабочего раствора от заданного, %	–	1,3–3,0



а)



б)

а) дальнеструйный дождевальный аппарат; б) оборудование для гидроподкормки ОГД-50 к дождевальным установкам

Рисунок 3. – Внесение микроудобрений при поливе многолетних трав

казов не зафиксировано. При оценке надежности получены следующие показатели: ежесменное оперативное время технического обслуживания – 0,16 ч; удельная суммарная оперативная трудоемкость технических обслуживаний – 0,02 чел.-ч/ч (по ТЗ – не более 0,03); коэффициент готовности – 1,0 (по ТЗ – не менее 0,98). Приведенные данные показывают высокую степень надежности выполнения технологического процесса дозированного ввода микроудобрений в поток поливной воды.

Заключение

1. В результате теоретических и экспериментальных исследований разработано оборудование для гидроподкормки ОГД-50 к дождевальным установкам, позволяющее с высокой точностью осуществлять дозированный ввод микроудобрений в поток поливной воды в напорном трубопроводе (водопроводящей системе).

2. Приемочными испытаниями определены фактические значения показателей оборудования для гидроподкормки ОГД-50 к дождевальным установкам и установлено, что опытный образец соответствует техническому заданию по функциональным показателям, показателям надежности и безопасности.

3. На основании результатов приемочных испытаний ГУ «Белорусская МИС» рекомендовано поставить на производство оборудование для гидроподкормки ОГД-50 к дождевальным установкам.

12.08.2015

Литература

1. Система машин на 2008–2015 годы для комплексной механизации мелиоративных работ / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2008. – 42 с.
2. Лихацевич, А.П. Дождевание сельскохозяйственных культур: основы режима при неустойчивой естественной влагообеспеченности / А.П. Лихацевич. – Минск: Белорусская наука, 2005. – 278 с.
3. Экосил [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ecosil.by/p4105599-mikrودobrenie-mikrosil-bor.html>. – Дата доступа: 21.07.2015.
4. Рекомендации по использованию микроудобрений в земледелии Белоруссии, Литвы, Латвии, Эстонии / Гос. агропром. комитеты БССР и др. – Минск: [б. и.], 1987. – 28 с.
5. Протокол № 137 Б 1/1-2014 ИЦ приемочных испытаний оборудования для гидроподкормки ОГД-50 / ГУ «Белорусская МИС». – Привольный, 2014. – 31 с.
6. Севернев, М.М. Временная методика энергетического анализа в сельском хозяйстве / М.М. Севернев, В.Н. Дашков, В.А. Колос. – Минск: ЦНИИМЭСХ, 1991. – 126 с.

Введение

Равномерность глубины хода в почве рабочих органов машин и орудий является одним из наиболее весомых качественных показателей их работы. Большое значение этот показатель имеет для почвообрабатывающих рабочих органов, установленных на упругих стойках, которые под воздействием сил сопротивления выталкиваются на поверхность. При этом равномерность глубины хода рабочего органа зависит от состояния почвы, конструктивных параметров стойки, типа рабочего органа, глубины хода и других факторов.

Применение упругих стоек имеет ряд преимуществ, поскольку упругие подвески сложнее в конструкции, более металлоемки и применяются для рабочих органов, испытывающих повышенные нагрузки при работе (стрельчатые лапы широкого захвата, плоскорезы и тому подобные органы).

Основная часть

Взаимодействие рабочих органов с почвой в процессе внедрения рабочего органа в пласт почвы сопровождается ее деформацией и сдвигом (сколом). Вследствие непостоянства площадей поверхности сдвига (скола) и наличия микротрещин, пустот и неоднородностей (концентраторов напряжений) внутри обрабатываемого пласта почвы, возникают знакопеременные перемещения (колебания) рабочего органа с небольшой амплитудой. При воздействии знакопеременных нагрузок в почве возникают волны, дифрагирующие в областях локальных нарушений сплошности, вызывая повышение напряжений, приводящих к разрушению пласта по линиям наименьших связей. Наложение волны колебательного процесса рабочего органа на имеющееся напряженно-деформируемое состояние пласта почвы способствует накоплению разрывов межагрегатных связей в пределах напряженных микрообъемов, вследствие чего пласт переходит в разрыхленное состояние [1].

В изысканиях теоретического характера по обоснованию параметров упругих стоек авторами разработана модель [2], которая допускает значительные упрощения физической сущности процесса, при этом выделяются наиболее существенные факторы, влияющие на процесс: момент сил реактивного сопротивления перемещению диска в почве; момент сил веса и сил упругости стойки (рисунок 1а). В модели принято пренебречь диссипативными силами, поскольку компенсация потерь энергии на преодоление диссипативных сил

происходит от неколебательного источника (почвы) и регулируется автоматической самой автоколебательной системой (упругой стойкой).

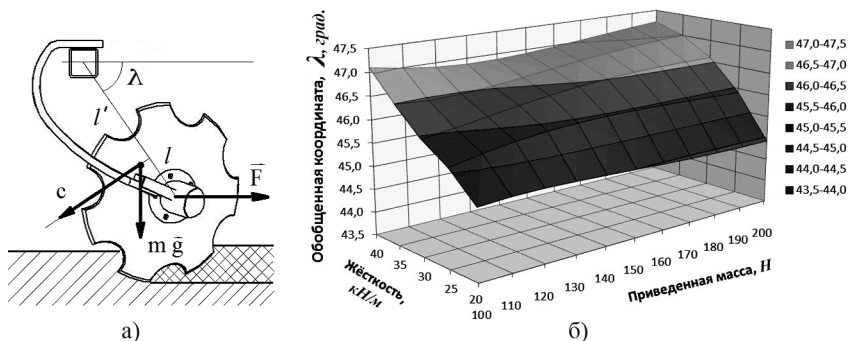
Исследованиями модели обнаружено изменение чувствительности системы к внешнему воздействию с почвой при увеличении приведенной массы. Упругие смещения стойки жесткостью 20 кН/м в диапазоне значений приведенной массы $100\text{--}150 \text{ Н}$ возрастают на $2,2 \%$, после чего почти не меняются ($\pm 0,3 \%$) до 300 Н (рисунок 1б).

В соответствии со схемой (рисунок 1а) отклонение стойки вызывает уменьшение обобщенной координаты λ , град.

Теоретическая модель [2] служит для оценки реакции упругой стойки на воздействие внешних сил и не является моделью самой конструкции, а описывает ее динамическое поведение. По причине неголономности и нестационарности связей рабочего органа (сферического диска) с почвой [3] в теоретической части работы не представляется возможным вычислить изменения динамических характеристик в связи с изменением физических условий. Определение влияния скорости обработки почвы на поведение стойки выполнялось экспериментальным путем.

При условии рационального выбора соотношения скоростей перемещения рабочего органа и его колебательной скорости можно достичь более существенного снижения тягового сопротивления дискового орудия в сравнении с нерегулируемым воздействием. Поскольку свойства обрабатываемой почвы не поддаются управлению, принято управлять параметрами колебаний, которые определяются конструкцией рабочего органа.

Натурные эксперименты были проведены с использованием серийного агрегата ДЛ-2,5 с конструкционными параметрами стоек: жесткость



λ – обобщенная координата; l – приведенная длина стойки; l' – расстояние до центра масс по приведенной длине; F – реакция сопротивления почвы на перемещение в ней рабочего органа; c – сила упругости стойки; $m \cdot g$ – сила веса

Рисунок 1. – Расчетная теоретическая схема (а) и поверхность отклика упругой стойки на взаимодействие с почвой при $F = 1200 \text{ Н}$ (б)

– 20 кН/м; поперечное сечение – 90×14 мм; приведенная длина – 450 мм; приведенная масса – 197 Н (рисунок 2).



Рисунок 2. – Внешний вид агрегата с упругими стойками во время проведения экспериментов

Выполнялось моделирование изменения приведенной массы путем добавления сосредоточенной массы на рабочем органе, масса догрузки – 30 Н.

Эксперименты проводились в агротехнические сроки второго лущения стерни и уничтожения всходов падалицы. Наблюдаемые во время эксперимента условия: почва – чернозем; средняя по горизонтам влажность – 17 %, твердость – 0,6 МПа.

Наблюдения за процессом взаимодействия упругой стойки с почвой выполнялись с помощью тензорезисторов, размещенных на поверхности стойки, ближе к креплению. Тарировка датчиков осуществлялась по усилию и отклонению по ранее разработанной методике [4]. Запись реализаций выполнялась с помощью аналого-цифрового преобразователя-усилителя в виде дискретного ряда цифровых значений с частотой квантования 0,004 с и сохранялась на ПК.

Обработка цифровых массивов записей выполнялась статистическими методами, особенности функционирования рабочего органа

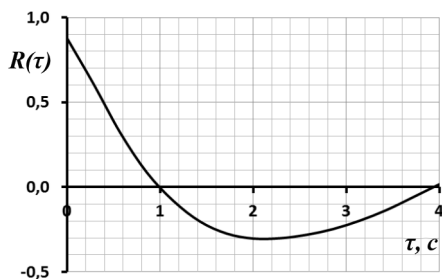


Рисунок 3. – Корреляционная функция реализации процесса отклонений упругой стойки

выявлены по характеру протекания автокорреляционной функции реализации процесса изменения отклонений упругой стойки. График корреляционной функции характеризуется слабой гармонической составляющей, свидетельствующей о колебательном движении рабочего органа в почве (рисунок 3).

Согласно плану экспериментальных исследований, для определения влияния скорости агрегата v и приведенной массы m на величину усилия, преодолеваемого рабочим органом F , и его отклонение λ был проведен двухфакторный эксперимент определения зависимостей:

$$F = f(v; m); \lambda = f(v; m),$$

где F – величина усилия, преодолеваемого рабочим органом, H ;

v – поступательная скорость агрегата, $м/с$;

m – приведенная масса, H ;

λ – отклонение упругой стойки, $мм$.

В результате обработки экспериментальных данных получены адекватные уравнения регрессии (рисунок 4).

Анализ уравнений показывает, что с увеличением скорости сила сопротивления на рабочем органе возрастает, тем самым вызывая увеличение отклонения упругой стойки от положения динамического равновесия. Без догрузки возрастание сопротивления по скорости составило 17 %, а с догрузкой – 11 %, что доказывает влияние фактора приведенной массы на процесс взаимодействия с почвой рабочего органа на упругой стойке. Это происходит по причине приращения среднеквадратического отклонения силы сопротивления (рисунок 5), соответствует изменению виброактивности

упругой стойки в область рациональных соотношений с поступательной скоростью орудия и снижает сопротивление почвы разрушению.

Рациональные режимы движения дискового орудия следует выбирать исходя из значения среднеквадратического отклонения, при скорости свыше 14,5 $км/ч$ равномерность обработки почвы выходит за допустимые агротехнические пределы. Достижение более высоких скоростей потребует усложнения теоретических расчетов, рассмотрения динамики агрегата в целом и большей трудоемкости исследовательских работ.

Проверка гипотезы о соответствии теоретических

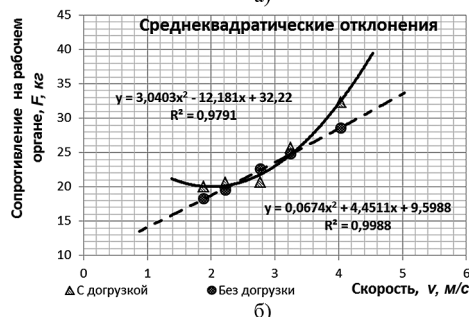
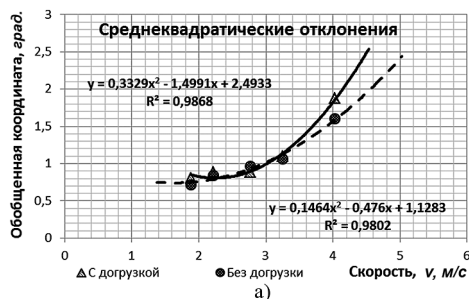


Рисунок 4. – Зависимости средних значений силы сопротивления на рабочем органе (а) и обобщенной координаты (б) от скорости орудия

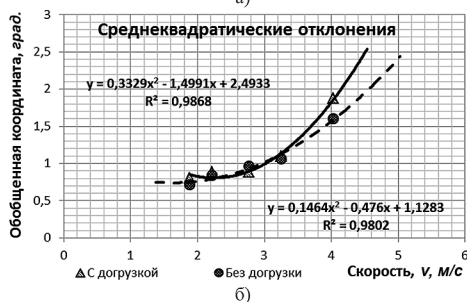
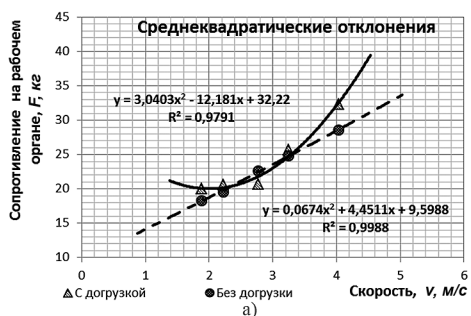


Рисунок 5. – Зависимости среднеквадратических отклонений силы сопротивления на рабочем органе (а) и обобщенной координаты (б) от скорости орудия

стойки с догрузкой (измененной приведенной массой), выраженной в повышении виброактивности рабочего органа, снижающей сопротивление почвы разрушению.

В результате проведения лабораторно-полевых исследований установлены:

- зависимости изменения среднего значения сил сопротивления на рабочем органе и показателя отклонений (обобщенной координаты) от поступательной скорости дискового агрегата;

- зависимости изменения среднеквадратического отклонения сил сопротивления на рабочем органе и показателя отклонений (обобщенной координаты) от поступательной скорости дискового агрегата.

В рамках проведенных исследований и наблюдаемых условий подтверждена эффективность применения упругих стоек для полусферических вырезных дисков. Обоснованы параметры упругих стоек: жесткость – 20 кН/м, приведенная масса – около 210 Н, рациональный режим движения – 4 м/с.

зависимостей экспериментальным определяет уровень адекватности 99 %, что подтверждает перспективу подхода к расчету подобных систем не с позиции обоснования конструкционных параметров и определения эмпирических коэффициентов, а с позиции исследования поведения системы в конкретных физических условиях.

Заключение

В результате проведения экспериментальных исследований подтверждена достоверность теоретических исследований реакции упругих стоек дисковых рабочих органов на взаимодействие с почвой.

Полученные зависимости свидетельствуют об изменении отклика упругой

13.08.2015

Литература

1. Пархоменко, Г.Г. Исследование процесса трансформации почвообрабатывающих рабочих органов / Г.Г. Пархоменко // Механізація та електрифікація сільськогосподарства: міжвідомчий тематичний науковий збірник: XIV Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми землеробської механіки» присвячена пам'яті академіка П.М. Василенка / НААНУ ННЦ «ІМЕСГ». – 2013. – Випуск 98, т. 1. – С. 142–150.
2. Гапоненко, О.І. Теоретичне обґрунтування параметрів пружних стійок для сферичних дисків / О.І. Гапоненко // Механізація та електрифікація сільськогосподарства: міжвідомчий тематичний науковий збірник ННЦ «ІМЕСГ». – 2013. – Випуск 97, т. 1. – С. 187–194.
3. Кушнарєв, А.С. Использование априорной информации для построения полиномиальных моделей взаимодействия сферических дисков дискаторов с почвой / А.С. Кушнарєв, В.И. Кравчук, С.А. Кушнарєв // Техніка і технології АПК. – 2009. – № 2 (жовтень 2009). – С. 20–25.
4. Гапоненко, О.І. Методика встановлення залежності динамічних навантажень від характеристик пружних стійок робочих органів / О.І. Гапоненко // Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва: зб. наук. пр. Харківського НТУСГ ім. П. Василенка. – 2013. – Випуск 139. – С. 327–331.

УДК 631.362.35:635.21

**А.С. Воробей, Д.И. Комлач,
А.Н. Антоненко**

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

**РАБОЧИЙ ОРГАН
КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ
МЕЖДУРЯДНОЙ
ОБРАБОТКИ РАСТЕНИЙ
КАРТОФЕЛЯ И
ТОПИНАМБУРА**

Введение

Картофель является уникальным продуктом здорового питания – находится на 3-м месте по важности и является самым значимым растительным источником пищевой энергии среди незлаковых растений, источником восполнения недостатка минеральных веществ и антиоксидантов. Он содержит незаменимые пищевые и физиологически активные вещества: витамины, макро- и микроэлементы, аминокислоты, полиненасыщенные кислоты, углеводы, а также органические кислоты, биофлавоноиды, фитонциды. Объемы производства картофеля в мире составляют более 340 млн тонн и постоянно растут. Средняя урожайность картофеля в России – 13–15 т/га, в Беларуси 18–21 т/га. Это значительно ниже средневропейского уровня (28–34 т/га) [1].

Наземный стебель картофеля – однолетний, травянистый, сочный, разветвленный, хорошо облиственный. Высота ботвы картофеля в зависимости от сорта составляет 50–100 см. В поперечном разрезе стебель имеет угловатую трех-четырёхгранную форму, иногда округлую [2].



Рисунок 1. – Внешний вид надземной и подземной частей топинамбура

Топинамбур (земляная груша) – многолетнее клубненосное растение (рисунок 1). Он является источником инулина (16–18 %), используемого для лечения сахарного диабета. Выращивается для кормовых, пищевых целей и получения биоэтанола.

Надземная часть напоминает подсолнечник. Стебель топинамбура – однолетний, высотой от 1,5–2 до 3 м. На подземных стеблях (столонах) образуются клубни грушевидной, веретеновидной или неправильной формы.

На поверхности клубней располагаются глазки, которые образуют небольшие наружные бугорки, а не углубления, как у картофеля [3].

Урожайность зеленой массы топинамбура колеблется от 200 до 1000–1500 ц/га, клубней – от 200–250 до 500 ц/га [4]. Топинамбур дает урожай в любой, даже неблагоприятный по климатическим условиям, год, неприхотлив, способен произрастать на одном поле до 40 лет. Клубни хорошо зимуют в земле, поэтому предусмотрены два срока уборки – осенью и весной.

Повсеместное внедрение топинамбура в крупномасштабную переработку сдерживает отсутствие спроса и технологии возделывания.

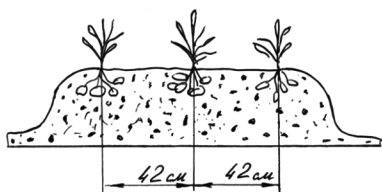
В Систему перспективных машин и оборудования для реализации инновационных технологий производства основных видов продукции растениеводства на 2011–2015 годы не включены машины для грядовой обработки картофеля и топинамбура, также нет конкретных рекомендаций по возделыванию и первичной переработке топинамбура.

Основная часть

Внедрение новой технологии возделывания картофеля и топинамбура на грядах актуально как в Российской Федерации, так и в Республике Беларусь. Она включает два способа: первый – одна гряда три ряда с шириной междурядья 42 см, второй – одна гряда два ряда с шириной междурядья 75 см (рисунок 2).

Эта технология очень эффективна и применяется на всех типах почв, независимо от почвенно-климатического региона. Позволяет сохранить водно-воздушный режим гряды и повысить урожайность картофеля и топинамбура на 35–40 % [5].

Процесс возделывания картофеля и топинамбура на грядах включает в себя следующие операции: посадку клубней, уход за посадками, уборку кар-



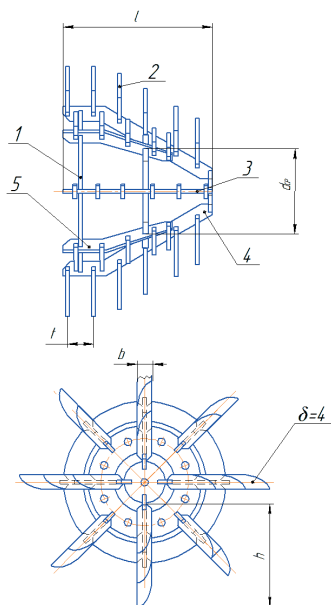
а)



б)

а) трехрядковая с междурядьем 42 см; б) двухрядковая с междурядьем 75 см

Рисунок 2. – Схемы посадки картофеля и топинамбура на грядах [5]



1 – рама; 2 – ложечкообразный зуб; 3 – основание конического ротора; 4 – спираль основная; 5 – спираль вспомогательная

Рисунок 3. – Общий вид рабочего органа культиватора КГ-1

топеля и топинамбура и предреализационную обработку клубней. Наиболее трудоемким и энергозатратным является уход за посадками картофеля и топинамбура. В Республике Беларусь в настоящее время машин, выполняющих эту операцию, нет.

В РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан уникальный культиватор грядковый КГ-1 с новым типом рабочего органа – спиралевидным коническим ротором с ложечкообразными зубьями, который позволяет в процессе работы не повреждать стебли растений и сохранять правильный профиль гряды.

Проанализировав конструкцию рабочего органа культиватора (рисунок 3), произведем прочностный расчет рабочего конического ротора с ложечкообразными зубьями.

Суммарную нагрузку на один ротор одной секции культиватора грядкового определим по формуле [6]:

$$F = g \cdot l, \quad (1)$$

где g – удельное сопротивление рабочих органов ротора,

$$g = 1000\text{--}1100 \text{ Н/м [7];}$$

l – ширина ротора, $l = 300 \text{ мм}$.

Подставив численные значения в формулу (1), получим:

$$F = 1100 \cdot 0,3 = 330 \text{ Н.}$$

Нагрузку, приходящуюся на один ложечкообразный зуб конического ротора, рассчитаем по формуле:

$$F_i = \frac{F}{z}, \quad (2)$$

где z – число ложечкообразных зубьев конического ротора, взаимодействующих с почвой, $z = 6 \text{ шт}$.

$$F_i = \frac{330}{6} = 55 \text{ Н.}$$

Напряжение изгиба, возникающее у основания ложечкообразного зуба конического ротора, определяется по зависимости:

$$\sigma_u = \frac{M_u}{W_z} = \frac{F_i \cdot h \cdot 6}{\delta \cdot b^2} \text{ МПа}, \quad (3)$$

где h – высота ложечкообразного зуба, $h = 85 \text{ мм}$;

δ – толщина ложечкообразного зуба, $\delta = 4 \text{ мм}$;

b – ширина ложечкообразного зуба, $b = 25 \text{ мм}$.

Тогда напряжение изгиба в опасном сечении ложечкообразного зуба

$$\sigma_u = \frac{55 \cdot 85 \cdot 6}{4 \cdot 25^2} = 11,22 \text{ МПа.}$$

Ложечкообразный зуб конического ротора изготовлен из стали 65Г. Допускаемое напряжение изгиба для стали этой марки рассчитаем по формуле:

$$[\sigma_u] = \frac{\sigma_t}{n}, \quad (4)$$

где $\sigma_t = 460 \text{ МПа}$ – предел текучести стали 65Г [8];

n – коэффициент запаса. Принимаем $n = 2$ [8].

$$[\sigma_u] = \frac{460}{2} = 230 \text{ МПа.}$$

Ложечкообразные зубья к коническому ротору привариваются ручной сваркой электродом Э42 с катетом шва $k = 4 \text{ мм}$ [6].

Напряжения среза, возникающие в сварном шве, определим по формуле:

$$\tau_{cp} = \frac{F_i}{z \cdot 0,7k \cdot l}, \quad (5)$$

где z – число швов, $z = 2$;
 k – катет шва, $k = 4$ мм;
 l – длина шва, $l = 10$ мм.

Условие прочности сварного шва будет обеспечено, если

$$\tau_{cp} = \frac{44}{2 \cdot 0,7 \cdot 4 \cdot 10} = \frac{44}{56} = 0,79 \text{ МПа} \leq [\tau_{cp}]',$$

где $[\tau_{cp}]' = 0,6[\tau_p]$ – допускаемые напряжения для сварного шва.

$$[\tau_{cp}]' = 0,6 \cdot 230 = 138 \text{ МПа}.$$

Допускаемые напряжения на растяжения для свариваемого материала $[\sigma_p] = [\sigma_u]$.

Шаг ложечкообразного зуба конического ротора выбираем, исходя из агротехнических требований для междурядной обработки почвы [8]:

$$t = 50 \text{ мм}$$

Прочностные расчеты показывают, что в разработанной конструкции обеспечивается работоспособность зубьев при действии на них изгибающих моментов и сил, воздействующих на сварные швы.

Заключение

Схема расположения ложечкообразных зубьев на конических роторах по спирали с направлением навивки спирали от периферии к основанию ротора обеспечивает полное рыхление почвы и уничтожение сорняков. Установка конических роторов в горизонтальной плоскости относительно продольной оси борозды позволяет формировать гряду необходимого профиля и высоты в соответствии с почвенными условиями, обеспечивая верхнюю часть гряды рыхлой почвой путем перемещения почвы ложечкообразными зубьями конических роторов со дна борозды на гряду. Изготовление ложечкообразных зубьев с вершиной зуба по эпициклоиде в передней части вершины зуба по направлению вращения ротора предотвращает выброс почвы вершиной зуба ротора и снижает энергоемкость процесса.

19.05.2015

Литература

1. О комплексной программе Союзного государства «Инновационное развитие производства картофеля и топинамбура» на 2013–2016 годы: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 18 июля 2012 г. № 16: офиц. изд. – Минск, 2013.
2. Технологические основы растениеводства: учеб. пособие / И.П. Козловская [и др.]; под ред. д-ра с.-х. наук И.П. Козловской. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 503 с.

3. Седляр, Ф.Ф. Растениеводство. Практикум: учеб. пособие / Ф.Ф. Седляр, М.П. Андрусевич. – Гродно: ГТАУ, 2010. – 350 с.
4. Особенности культуры и перспективы возделывания топинамбура в Республике Беларусь / В.В. Голдыбан, Д.И. Комлач // Научно-технический процесс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 22–23 октября 2014 г. – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2014. – С. 62–67.
5. Варламов, Г.П. Технологии и комплексы машин для возделывания и первичной обработки топинамбура / Г.П. Варламов, А.М. Долгошеев, А.Н. Черепяхин. – М.: Издательский дом «ИНФРА-М», 2000. – 138 с.
6. Кузьмин, А.В. Расчеты деталей машин: справ. пособие / А.В. Кузьмин, И.М. Чернин, Б.С. Козинцов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Минск: Выш. шк., 1986. – 400 с.: ил.
7. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин: в 4 т. / Под ред. М.И. Клецкина. – М.: Машиностроение, 1967. – Т. 2 – 830 с.
8. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. / В.И. Анурьев. – 6-е изд. – М.: Машиностроение, 1982. – Т. 1. – 728 с.

УДК 631.3.072.25:633.521

**С.Ф. Лойко, А.Н. Перепечаев,
С.В. Старосотников**

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

**РЕЗУЛЬТАТЫ
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ
АПРОБАЦИИ И
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ
ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
АГРЕГАТА АПЛ-4**

Введение

Эффективное ведение сельскохозяйственного производства базируется на использовании высокопроизводительных сельскохозяйственных машин и агрегатов, обеспечивающих выполнение операций в соответствии с агротехническими требованиями.

Широкое применение в современном производстве продукции растениеводства получили комбинированные машины, обеспечивающие выполнение за один технологический проход нескольких операций. Наибольший удельный вес комбинированных машин и агрегатов приходится на выполнение операций по обработке почвы и посеву. При создании таких машин и агрегатов должны быть наиболее полно учтены биологические особенности возделываемой культуры, в частности льна.

Основная часть

Основная задача при подготовке почвы и посеве льна заключается в создании для всех высеваемых семян максимально близких стартовых

условий для получения дружных всходов путем обеспечения каждого отдельного семени необходимым количеством питательных элементов, влаги, кислорода и тепла. Максимально дружные всходы позволяют провести агротехнические операции и мероприятия по уходу за посевами и уборке льна в оптимальные агротехнические сроки, а неравномерные всходы являются существенной причиной растягивания и смещения агротехнических сроков проведения всех последующих операций. Это ведет к снижению выхода волокна и семян. Так, по данным РУП «Институт льна», несоблюдение сроков уборки ведет к потерям 2–3 % длинного волокна на каждый день запаздывания по сравнению с оптимальными сроками.

Потенциальная урожайность районированных сортов льна-долгунца, возделываемых в Беларуси, составляет 7–8 ц/га семян и 38–48 ц/га тресты. В то же время средняя урожайность льносемян и льнотресты за последние годы составляет 2–2,5 ц/га и 25–30 ц/га соответственно при среднем номере льнотресты 1,0–1,1. Одной из причин таких различий является несовершенство применяемых посевных машин. Это подтверждается результатами испытаний посевных агрегатов для льна, таких как АППМ-6АБК, АПП-6АБ и других, проведенных ГУ «Белорусская МИС». Так, при посевной годности семян 95,9–96 % и лабораторной всхожести 96 % полевая всхожесть составляла только 50–67 %. В указанных выше агрегатах реализован рядковый способ посева с междурядьями 62,5 мм.

Анализ используемых на практике различных способов сева льна и устройств их реализации показал, что наиболее предпочтительным является полосовой (ленточный) посев [1, 2], исходя из условия обеспечения семени, а в дальнейшем и вегетации растения площадью питания, наиболее близкой к оптимальной. Полосовой (ленточный) способ посева позволяет избежать загущенности растений в полосе (ленте), значительно снизить их взаимное угнетение и получить значительно более дружные всходы растений при практически одинаковых для них стартовых условиях.

На основе анализа известных технических решений, а также проведенных исследований [3, 4] был разработан и передан для освоения производства агрегат для сева льна АПЛ-4 (рисунок 1) шириной захвата 4 метра.

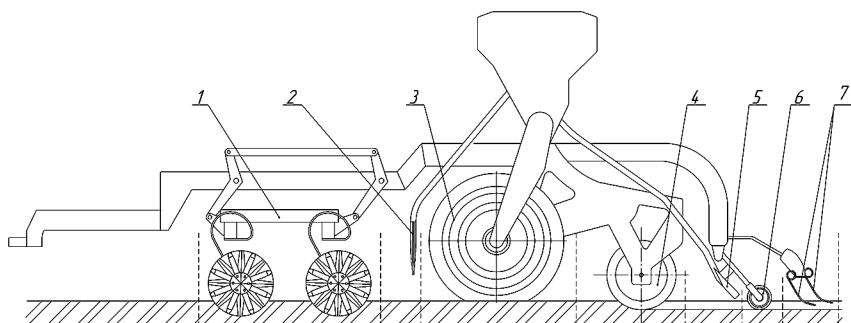
Агрегат почвообрабатывающе-посевной АПЛ-4 предназначен для совмещения предпосевной обработки почвы с посевом льна и других культур (рапса озимого и ярового, редьки масличной, горчицы, зерновых, трав, в том числе в виде травосмеси), аналогичных по норме высева и глубине заделки семян, с одновременным внесением стартовой дозы гранулированных минеральных удобрений. Выполняет за один проход предпосевное

рыхление легких и средних по механическому составу почв, мелкоструктурное крошение и выравнивание верхнего слоя почвы, создание уплотненного семенного ложа, высев семян и удобрений с заделкой их на требуемую глубину. Агрегат состоит из двух основных частей – почвообрабатывающей и посевной (рисунок 2).

Выбор рабочих органов почвообрабатывающей части определяется агрегребованиями к обработке почвы и типом почвы под посев льна.



Рисунок 1. – Агрегат почвообрабатывающе-посевной АПЛ-4



- 1 – почвообрабатывающая часть; 2 – сошники для удобрений;
- 3 – опорно-прикатывающие колеса; 4 – бороздкоформирующий каток;
- 5 – сошник для семян; 6 – прикатывающий каток; 7 – загортачи

Рисунок 2. – Схема конструктивно-технологическая агрегата АПЛ-4

Исходя из этого, почвообрабатывающая часть 1 состоит из набора волнистых дисков, расположенных в два ряда, с возможностью изменения глубины обработки почвы до 12 см.

За почвообрабатывающими рабочими органами расположены специальные сошники для внесения удобрений 2 под будущие полосы (ленты) с семенами.

За почвообрабатывающими дисками установлен блок из 6 опорно-прикатывающих колес 3, расположенных по всей ширине агрегата. Они выполняют несколько функций. Колеса являются несущим элементом всего агрегата в рабочем положении, и относительно них осуществляются все регулировки глубины хода рабочих органов. Они обеспечивают прикатывание и выравнивание поверхности поля после волнистых дисков. Кроме того, колеса используются для переездов агрегата, то есть являются транспортными.

Непосредственно за блоком опорно-прикатывающих колес установлен специальный каток 4, формирующий на поверхности поля бороздки в виде полос. При этом промежутки между бороздками остаются рыхлыми. Через рыхлые междурядья происходит воздухообмен.

Посевная часть агрегата состоит из двухсекционного бункера для семян и удобрений, на котором смонтированы высевающие аппараты для семян и удобрений, семяпроводы и сошниково-загортачная группа.

На агрегате применены высевающие аппараты механического типа. Они оборудованы универсальными катушками.

Сошниково-загортачная группа состоит из последовательно расположенных специальных сошников для семян 5, прикатывающих каточков 6 и пружинных загортачей 7 с зигзагообразной рабочей частью. Сошники для семян, благодаря своей конструкции, позволяют осуществлять равномерную укладку семян по всей ширине полосы. С целью обеспечения лучшего контакта семян с почвой вслед за сошниками установлены каточки. Закрытие полос проводится пружинными загортачами. Это позволяет выполнять закрытие бороздок в соответствии с агротехническими требованиями.

Технологический процесс работы агрегата происходит следующим образом. При движении по обработанному полю волнистые диски производят рыхление и крошение комков и глыб. Опорно-прикатывающие колеса проводят подуплотнение обрабатываемого слоя и выравнивание поверхности поля. Установленный за колесами каток формирует на поверхности поля бороздки, на дно которых сошниками распределяются семена. Идущие за сошниками каточки вдавливают их в дно бороздки, обеспечивая

лучший контакт с почвой. Заделка посевных бороздок и выравнивание поверхности поля проводится загоothачами.

Функциональные показатели качества выполнения технологического процесса агрегата определялись при стендовых (лабораторных) испытаниях и при эксплуатационно-технологической оценке агрегата на основной технологической операции – предпосевной обработке почвы с одновременным посевом семян льна.

В результате проведения лабораторных испытаний специального агрегата для сева льна установлено, что посевная часть агрегата обеспечивает требуемые техническим заданием и соответствующими ТНПА нормы высева семян льна, других культур и удобрений с регламентированной неустойчивостью нормы высева. Неравномерность высева между сошниками в полной степени соответствует требованиям технического задания, так же как и дробление семян и удобрений.

Проведение эксплуатационно-технологической оценки агрегата на основной технологической операции – предпосевной обработке почвы с одновременным посевом семян льна, непосредственно в условиях эксплуатации показало, что агрегат обеспечивает выполнение технологического процесса предпосевной подготовки почвы и посева в соответствии с требованиями, регламентированными техническим заданием и действующими ТНПА.

За период проведения испытаний агрегатом были осуществлены посевы на площади в 382 га.

Тогда же была проведена контрольная разработка небольшой партии льнотресты, полученной с участков, которые засеивались агрегатами АПЛ-4 и АППМ-6А6К в ходе проведения приемочных испытаний.

Результаты контрольных разработок с учетом дополнительного дохода от льнопродукции приведены в таблице 1.

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что применение агрегата АПЛ-4 по сравнению с широко применяемым агрегатом АППМ-6А6К на посеве льна позволило увеличить урожайность льнотресты на 0,57 т/га и получить дополнительный доход от сдачи льнотресты в размере от 1179,9 тыс. руб./га до 1470,6 тыс. руб./га или дополнительный доход от сдачи длинного волокна в размере 912,44 тыс. руб./га. При годовой нормативной наработке агрегата АПЛ-4 200 ч видно, что его применение позволяет получить дополнительный доход от сдачи льнотресты от 236 млн руб. до 294 млн руб. и дополнительный доход от сдачи длинного льноволокна в размере 182,5 млн руб.

Таблица 1. – Результаты оценки продукции льна

Наименование показателя, характеристики	Значение показателя	
	АПЛ-4	АППИМ-6А6К
Тип почвы	средний суглинок	
Сорт льна	Мерилин	
Густота всходов, <i>шт./м.кв.</i> (на 15.05.2013 г.)	1727–1816	1310–1551
Количество растений, <i>шт./м.кв.</i> (на 10.06.2013 г.)	2004	1817
Урожайность льнотресты, <i>т/га</i>	5,66	5,09
Урожайность льносемян, <i>т/га</i>	0,68	0,66
Номер льнотресты	2,00	2,00
Выручка* от сдачи тресты, тыс. <i>руб./га</i>	11 716,2–14 602,8	10 536,3–13 132,2
Показатели выхода волокна		
Удельный вес длинного волокна, %	45,5	43,8
Средний номер длинного волокна	11,4	11,0
Выручка* от сдачи длинного волокна, тыс. <i>руб./га</i>	12 910,04	11 997,6

* Цены на льнопродукцию указаны на 01.06.2014 г. Ценовая информация МСХП РБ: приведенная закупочная цена 1 *т* длинного волокна к полученному номеру в соответствии с приказом МСХП РБ № 314 от 2 июня 2014 г.; дотация на тонну льноволокна в соответствии с приказом МСХП РБ № 20 от 24 января 2014 г.; закупочная цена 1 *т* короткого волокна в соответствии с приказом МСХП РБ № 314 от 2 июня 2014 г.; рекомендуемый уровень закупочных цен на льняную тресту урожая 2014 года в соответствии с приказом МСХП РБ № 169 от 24 марта 2014 г.

Выводы

1. Посев льна-долгунца ленточным способом является более эффективным по равномерности распределения семян по площади питания в сравнении с рядовым и узкорядным.

2. Использование агрегата АПЛ-4 по сравнению с широко используемым агрегатом АППИМ-6А6К позволяет получить дополнительную урожайность и дополнительный доход от сдачи льнотресты и льноволокна.

30.06.2015

Литература

1. Старосотников, С.В. Анализ способов посева льна-долгунца и устройств для их реализации / С.В. Старосотников, С.Ф. Лойко // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2009. – Т. 2. – С. 58–63.
2. Лойко, С.Ф. Предпосылки для ленточного посева льна-долгунца / С.Ф. Лойко, С.В. Старосотников // Энергоресурсосберегающие технологии и технические средства для их обеспечения в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. – Минск, 2010. – С. 144–148.
3. Лойко, С.Ф. Сошники для сева льна-долгунца / С.Ф. Лойко, С.В. Старосотников // Энергоресурсосберегающие технологии и технические средства для их обеспечения в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. – Минск, 2010. – С. 148–152.
4. Лойко, С.Ф. Перспективная схема сошниково-загортанной группы для сева льна / С.Ф. Лойко, С.В. Старосотников // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2010. – Т. 1. – С. 196–199.

УДК 631.361.6

**А.Н. Перепечаев,
С.В. Старосотников**

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

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ
СКОРОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ
ЗУБЧАТЫХ ВАЛЬЦОВ
ДЛЯ РАЗРЫХЛЕНИЯ
ЛЬНОВОРОХА**

Введение

Важная роль в АПК Республики Беларусь принадлежит льноводству, для развития которого на территории нашей страны есть все необходимые природно-климатические условия. Особого внимания заслуживает лен-долгунец – техническая культура комплексного использования. Из него получают продукцию одновременно трех видов: волокно, семена, костру. Каждая из них – ценное сырье для промышленности. Несмотря на большой спрос на продукты льна-долгунца в Беларуси и мире, в последнее время наблюдается тенденция к уменьшению льносеющими хозяйствами посевных площадей. Причина этого – значительные энергетические и трудовые затраты при выращивании, сборе и первичной переработке льна, а также низкий уровень механизации технологических операций. Около 80–90 % всех затрат, связанных с выращиванием льна, приходится на сбор и послеуборочную обработку, в том числе 50–60 % затрат послеуборочной обработки приходится на сушку льновороха и льносырья.

В технологической схеме послеуборочной обработки льновороха самым ответственным звеном является досушивание, так как, прежде всего, от влажности материала зависят сохранность и изменение семенных свойств досушиваемого материала. Высокая влажность приводит к высоким энергозатратам на досушивание. Это связано как с энергоемкостью самого процесса, так и с несовершенством технологии и конструкции значительной части действующих сушилок.

Основной путь повышения эффективности использования сушильной техники заключается в создании универсальных машин. Кроме того, в данных машинах необходимо применять известные и создавать на базе ЭВМ новые средства автоматического контроля рабочих органов, регулирования соответствующих технологических параметров.

Основная часть

Одним из направлений снижения затрат на получение семян льна в процессе его выращивания является уменьшение расходов на послеуборочную обработку льновороха. Снижения энергозатрат на послеуборочную обработку вороха можно достичь путем выделения свободных семян и семенных коробочек (семенного вороха) из общей массы льновороха.

Льноворох представляет собой двухкомпонентную смесь тел шарообразной формы d_k и стеблевого материала цилиндрической формы ($d_c \ll l_c$) как

Если определенный объем материала в виде массива находится в неподвижном состоянии, то система будет статической, а силы трения удерживают от изменения положения тел друг относительно друга. Но при придании системе любых незначительных вибрационных колебаний или других воздействий на нее возникает вероятность перемещения тел шарообразной формы через отверстия пространственной решетки с верхних слоев в нижние за счет сил гравитации и уменьшения сил внутреннего трения. Такое явление возможно, например, в случае движения подающего транспортера со скоростью $V_{\text{пр}}$. Согласно предложенной модели, произойдет перемещение тел шарообразной формы в массиве под действием вибрационных колебаний в зоне A и часть свободных семян и коробочек опустится на опорную поверхность OO_1 . При этом ориентация тел цилиндрической формы не меняется, соответственно, не меняются и геометрические размеры отверстий решетки, образованной стеблевыми телами цилиндрической формы. Увеличить размеры указанных отверстий можно путем уменьшения высоты H материала за счет его растяжения.

В процессе растяжения в горизонтальной плоскости массива материала (зоны $B, Г, Д$, величины которых не должны превышать длину соломи- стых составляющих льновороха) размеры отверстий будут увеличиваться в направлении оси X , что способствует удалению тел шарообразной фор- мы в направлении оси OY . При достижении критической высоты h разме- ры отверстий достигнут максимального значения без разрыва материала,

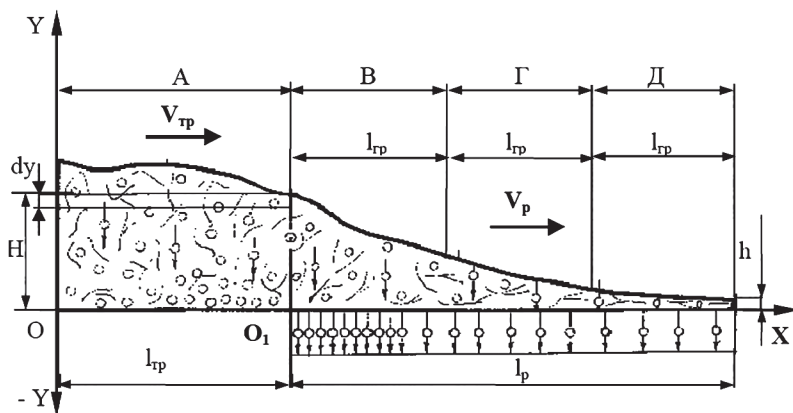


Рисунок 1. – Модель процесса сепарации льновороха

все составляющие шаровидной формы, равные или меньше d_k (среднее значение диаметра коробочки), будут перемещаться в направлении Y .

Выполнение условия изменения высоты слоя льновороха от H до h достигается с ростом скоростей вращения растягивающих барабанов (секций) в направлении движения вороха.

Для наиболее полного выделения семенных коробочек необходимо достичь максимального увеличения размеров отверстий пространственных решеток слоя, не создавая при этом его разрыва. Согласно исследованиям [1], усилие F_p , необходимое для растяжения слоя материала, составляет:

$$F_p \geq F_{mp} + F_{cu},$$

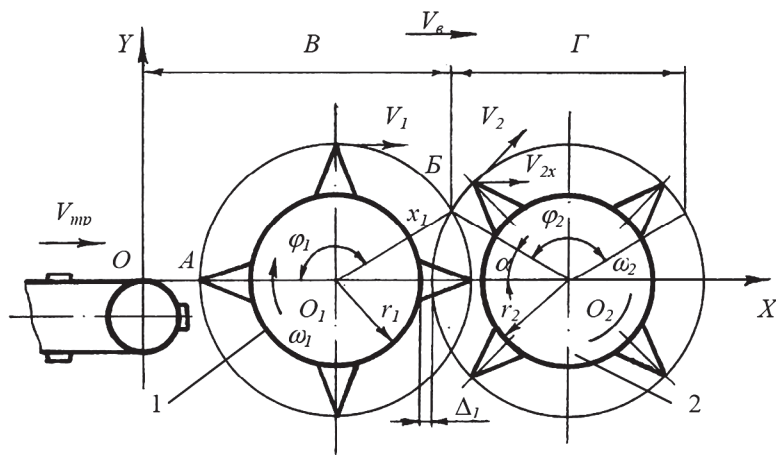
где F_{mp} – суммарная сила трения скольжения стеблей растения в объеме материала, который растягивается;

F_{cu} – сила сцепления между растениями.

Соединение стеблей льна в процессе послеуборочной обработки преимущественно происходит в местах разветвления стебля у корневой системы растения и соцветия. Поэтому во избежание разрыва пласта льновороха целесообразно проводить его растяжение на величину, равную технической длине стебля l_c .

Растяжение слоя вороха высотой H на длину l_c возможно в случаях роста угловых скоростей рабочих органов (барабанов, секций) в направлении движения слоя вороха V_p .

В случае неравности угловых скоростей вращения барабанов ω_1 и ω_2 за время dt линейная величина l слоя вороха льна вырастет на некоторое значение dl . При дальнейшем расчете пренебрегаем перемещением слоя вороха поверхностью зуба и принимаем (рисунок 2)



1 – первый барабан; 2 – второй барабан

Рисунок 2. – Расчетная схема для определения скоростей вращения барабанов

$$R_1 = r_1 + h_3 \text{ и } R_2 = r_2 + h_3,$$

где R_1, R_2 – соответственно расчетный радиус первого и второго барабанов;
 r_1, r_2 – соответственно радиус первого и второго барабанов;
 h_3 – высота зуба барабана.

Тогда путь движения слоя льновороха в зонах растяжения можно считать разницей перемещения крайних точек A, B первого и второго барабанов. Так как скорость транспортера V_{mp} , изменение величины l растяжения слоя вороха в зоне B можно определить [2]:

$$l_\theta = \int_0^{t_{\varphi_1}} (\omega_1 \cdot R_1 - V_{mp}) dt.$$

Для зоны Γ получим:

$$l_\varepsilon = \int_{t_\alpha}^{t_{\varphi_2}} (\omega_2 \cdot R_2 - \omega_1 \cdot R_1) dt,$$

где t_{φ_1} – время, за которое первый барабан повернется на угол φ_1 ;

t_{φ_2} – время, за которое второй барабан повернется на угол φ_2 ;

t_α – время, за которое второй барабан повернется на угол α .

Общая длина растяжения l_p вороха высотой H является суммой величин растяжения в зоне B и в зоне Γ :

$$l_p = l_\theta + l_\varepsilon,$$

или

$$l_p = \frac{1}{n} l_c + \left(\frac{n-1}{n} l_c \right),$$

где n – коэффициент пропорциональности растяжения в зонах (принимается в зависимости от содержания солоmistых составляющих, длины стеблей льна, влажности вороха, начальной высоты слоя H , параметров рабочих органов механизма).

Тогда получим:

$$\frac{1}{n} l_c = \int_0^{t_{\varphi_1}} (\omega_1 \cdot R_1 - V_{mp}) dt. \quad (1)$$

$$\frac{n-1}{n} l_c = \int_{t_\alpha}^{t_{\varphi_2}} (\omega_2 \cdot R_2 - \omega_1 \cdot R_1) dt. \quad (2)$$

Решение уравнений (1) и (2) дает возможность получить зависимость между кинематическими параметрами транспортера и первым и вторым барабанами.

Решение уравнения (1) следующее:

$$\frac{1}{n} l_c = \varphi_1 \left(\frac{R_1 \cdot \omega_1 - V_{mp}}{\omega_1} \right). \quad (3)$$

Аналогично для уравнения (2) получим:

$$\frac{n-1}{n} l_c = \left(R_2 - \frac{R_1 \cdot \omega_1}{\omega_2} \right) \cdot (\varphi_2 - \alpha). \quad (4)$$

Значения углов $\varphi_1, \varphi_2, \alpha$ можно выразить через размеры рабочих органов, рассмотрев треугольник $O_1x_1O_2$ (рисунок 2):

$$O_1O_2 = \Delta + r_1 + r_2,$$

где Δ – зазор между зубами одного барабана и поверхностью другого барабана.

При равенстве расчетных радиусов барабанов получим:

$$\alpha = \arccos \left[\frac{O_1x_1^2 - O_1O_2^2 - O_2x_1^2}{2 \cdot O_1x_1 \cdot O_2x_1} \right]. \quad (5)$$

$$\varphi_2 = \arccos \left[\frac{O_1O_2^2 - O_1x_1^2 - O_2x_1^2}{2 \cdot O_1x_1 \cdot O_2x_1} \right]. \quad (6)$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 + \alpha. \quad (7)$$

$$O_1x_1 = r_1 + h_1; O_2x_1 = r_2 + h_2, \quad (8)$$

где h_1, h_2 – соответственно высота зубьев первого и второго барабанов.

Для упрощения дальнейших математических преобразований обозначим:

$$\left. \begin{aligned} R &= \Delta + r_1 + r_2 + h_2; \\ R_1 &= r_1 + h_1; \\ R_2 &= r_2 + h_2. \end{aligned} \right\} \text{ и } \left. \begin{aligned} K_{\varphi_1} &= K_{\varphi_2} + K_{\alpha}; \\ K_{\varphi_2} &= \arccos \left(\frac{R_1^2 + R_2^2 - R^2}{2R_1R_2} \right); \\ K_{\alpha} &= \arccos \left(\frac{R_2^2 + R^2 - R_1^2}{2R_1R_2} \right). \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Тогда, подставляя равенства (5)–(9) в уравнение (3) и (4), получим зависимости типа:

$$\frac{1}{n} l_c = K_{\varphi_1} \left(R_1 - \frac{V_{mp}}{\omega_1} \right),$$

откуда

$$\omega_1 = \frac{V_{mp} \cdot K_{\varphi_1}}{K_{\varphi_1} \cdot R_1 - \frac{1}{n} l_c}. \quad (10)$$

$$\frac{n-1}{n} l_c = \left(R_2 - \frac{R_1 \cdot \omega_1}{\omega_2} \right) (K_{\varphi_2} - K_{\alpha}),$$

откуда

$$\omega_2 = \frac{R_1 \omega_1}{R_2 - \frac{l_c (n-1)}{n (K_{\varphi_2} - K_{\alpha})}}. \quad (11)$$

Заключение

Полученные равенства (10) и (11) позволяют определить угловые скорости вращения барабанов при известной скорости подающего транспортера $V_{тр}$ в случае растяжения слоя льновороха на длину l_c с целью максимальной эффективности просеивания находящихся в массе льновороха свободных семян.

24.06.2015

Литература

1. Сизов, В.И. Крупные паковки: метод и особенности / В.И. Сизов // Лен и конопля. – 1987. – № 5. – С. 33–35.
2. Дідух, В.Ф. Збирання та первинна переробка льону-довгунця: монографія / В.Ф. Дідух, І.М. Дударев, Р.В. Кірчук. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2008. – 215 с.

УДК 631.356.41

**А.Н. Басаревский,
И.Е. Мажугин, С.И. Заяц,
П.В. Яцына, К.А. Кравченко**

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

**РЕЗУЛЬТАТЫ
ИСПЫТАНИЙ
КАНАЛООЧИСТИТЕЛЯ
С РОТАЦИОННЫМ
РАБОЧИМ ОРГАНОМ
КОРО-2**

Введение

Современное сельскохозяйственное производство требует постоянного проведения мелиоративных мероприятий: культуртехнических работ, строительства мелиоративных систем, сооружения водохозяйственных объектов. Выполнение этих работ связано с большими затратами труда, материальных и денежных средств. Надлежащую отдачу от сделанных вложений можно получить только при рациональной эксплуатации мелиорированных земель, мелиоративных и водохозяйственных систем и сооружений [1].

Типичным и важнейшим элементом мелиоративных систем являются каналы и водоприемники различного назначения. От состояния каналов во многом зависит работоспособность всей мелиоративной системы. Общая протяженность каналов и водоприемников в Республике Беларусь составляет около 170 тыс. км.

При избытии влаги и высокой температуре воздуха в каналах повышается рост растительности (наблюдается в каналах с малыми скоростями течения воды, менее 0,2 м/с), в том числе толстостебельных (камыш, рогоз, тростник) [2]. Это приводит к значительному снижению пропускной способности воды в канале (при этом повышается уровень воды и образуются под-

поры), а также к увеличению шероховатости русла. Кроме того, заросшие растительностью каналы являются также одним из очагов распространения сорной растительности на орошаемые участки, где выращиваются культурные растения. Вследствие указанных факторов необходимо периодически уничтожать сорную растительность на каналах. Существует несколько способов уничтожения сорной растительности: механический, химический, биологический, термический. Наиболее эффективным в настоящее время является механический, который включает в себя ремонт и реконструкцию каналов машинами с механическим рабочим оборудованием.

В настоящее время восстановление работоспособности каналов производится главным образом путем их чистки одноковшовыми экскаваторами с различными ковшми или специализированными машинами – каналоочистителями с рабочими органами циклического или непрерывного действия.

Одноковшовые экскаваторы и каналоочистители циклического действия, являясь достаточно универсальными машинами, имеют низкие производительность и качество работ, способны нарушать профиль канала и повреждать крепление дна и откосов, требуют проведения дополнительных работ (планировки дна и откосов канала) и, как правило, неспособны очищать каналы малых размеров.

Высокую производительность и высокое качество работы имеют каналоочистители непрерывного действия с ротационными рабочими органами, способные очищать любые типы каналов.

Основная часть

На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан каналоочиститель с ротационным рабочим органом КОРО-2 (предприятие-изготовитель – ОАО «Амкодор-КЭЗ»). Конструкция каналоочистителя, в соответствии с рисунком 1, состоит из следующих основных узлов: рамы 1, механизма поворота 2, рабочего органа 3, ротора 4, катка 5, рамы задней 6, переходника 7, гидрооборудования 8, гидробака 9. Все узлы смонтированы на тракторе «Беларус 1221 В.2», 10.

Технологический процесс очистки канала осуществляется при движении трактора вперед. При вращении рабочего органа ножи срезают растительность, доставляя наносы к лопаткам, которые выбрасывают скошенную массу через кожух за пределы канала. Дальность выброса может достигать 12...15 м. Регулирование угла выбросов наносов производится путем поворота кожуха, наклона рабочего органа с помощью гидрооборудования. Выброшенные наносы распределяются вдоль канала достаточно тонким, не более 1,2 см, слоем, что не вызывает необходимости их разравнивания.



Рисунок 1. – Общий вид каналоочистителя с ротационным рабочим органом КОРО-2

Отличительной особенностью каналоочистителя является ротационный режущий рабочий орган, позволяющий направленно отводить воду от зоны очистки за счет специфических форм ножей. Герметизированный корпус препятствует попаданию воды в гидравлическую систему, что, в свою очередь, повышает надежность работы каналоочистителя.

Техническая характеристика каналоочистителя с ротационным рабочим органом КОРО-2 приведена в таблице 1.

Государственные приемочные испытания каналоочистителя с ротационным рабочим органом проводились в УП «Чашникская ПМС» Витебской области. Каналоочиститель в агрегате с трактором «Беларус 1221 В.2» представлен на рисунке 2. В ходе испытаний выполнялись очистка дна мелиоративного канала от наносов и травяной растительности и формирование профиля дна канала, проложенного в грунте 1–2 категории.

При проведении энергетической оценки установлено, что потребляемая мощность двигателя трактора «Беларус 1221 В.2» при очистке дна мелиоративных каналов от наносов и травяной растительности каналоочистителем составила 27,6 кВт. Удельный расход топлива за основное время составил 0,13 кг/м³.

Таблица 1. – Техническая характеристика каналоочистителя с ротационным рабочим органом КОРО-2

Наименование показателей	Значение
Тип	навесной
Глубина очищаемого канала при коэффициенте заложения откосов от 1:1,5, м, не более	2,0
Ширина очищаемого канала по дну за один проход, м	от 0,45 до 0,65
Рабочая скорость с ходоуменьшителем, км/ч	от 0,8 до 1,5
Диаметр ротора по концам ножей, мм, не более	600
Скорость вращения ротора, мин ⁻¹ , не более	900
Количество ножей на роторе, шт.	5
Рабочее давление в гидросистеме, МПа	16
Производительность в час основного времени*, м ³ /ч, не менее:	
– основная	13,6–54
– сменная	7,5–30
– эксплуатационная	5,6–22,5
Масса каналоочистителя с трактором, кг, не более	7550

* При минимальной толщине снимаемых наносов 5 см и при максимальной – 20 см.

Функциональные показатели качества выполнения технологического процесса по результатам приемочных испытаний в ГУ «Белорусская МИС» приведены в таблице 2 [3].



Рисунок 2. – Каналоочиститель с ротационным рабочим органом КОРО-2 в рабочем положении

Таблица 2. – Функциональные показатели качества выполнения технологического процесса каналоочистителем с ротационным рабочим органом КОРО-2

Наименование показателей	Значения	
	по техническому заданию (ТЗ)	по результатам испытаний
Ширина очищаемого канала по дну за один проход, м	0,45–0,65	0,55
Дальность выброса наносов, м	10,0–15,0	6,7–15,2*
Повреждение откосов, %	не допускается	нет
Толщина распределения слоя грунта на откосах, см, не более	10,0	1,2
Толщина снимаемых наносов за один проход, см, не более	20	7,1

* Значение показателя не является несоответствием, так как фактически диапазон дальности выброса наносов шире, чем по техническому заданию.

За период испытаний каналоочистителя с ротационным рабочим органом КОРО-2 общая наработка составила 215 часов, отказов не зафиксировано. При оценке надежности получены следующие показатели: ежедневное оперативное время технического обслуживания – 0,16 ч; удельная суммарная оперативная трудоемкость технических обслуживаний – 0,021 чел.-ч/ч (по ТЗ – не более 0,035); коэффициент готовности – 0,98 (по ТЗ – не более 1,0). Приведенные данные показывают высокую степень надежности выполнения технологического процесса при очистке дна мелиоративных каналов от наносов и травяной растительности.

Заключение

1. Приемочными испытаниями определены фактические значения показателей каналоочистителя с ротационным рабочим органом КОРО-2 и установлено, что опытный образец соответствует техническому заданию по функциональным показателям, удельному расходу топлива, показателям надежности и безопасности.

2. На основании результатов приемочных испытаний ГУ «Белорусская МИС» рекомендовано: поставить на производство каналоочиститель с ротационным рабочим органом КОРО-2.

11.05.2015

Литература

1. Система машин на 2008–2015 годы для комплексной механизации мелиоративных работ / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2008. – 42 с.
2. Библиотека учебной и научной литературы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sbiblio.com/BIBLIO/content.aspx?dictid=63&wordid=727486/>. – Дата доступа: 07.04.2015.
3. Протокол № 132 Б 1/1-2014 ИЦ приемочных испытаний каналоочистителя с ротационным рабочим органом КОРО-2 / ГУ «Белорусская МИС». – Привольный, 2014. – 43 с.

Введение

Главным условием получения высоких урожаев овощей является равномерное распределение посевного материала по полю, обеспечивающее последующий уход за растениями. Семена овощных культур разнообразны по форме, размерам и свойствам поверхности. Даже в пределах одной культуры размеры семян отличаются в несколько раз [1]. Эти особенности семян овощных культур ставят перед разработчиками сеялок весьма сложные требования к их конструкции.

Основная часть

Одним из видов сеялок точного посева являются пневматические сеялки с вертикальным высевным диском. Результаты испытаний овощных сеялок на точность высева семян разных овощных культур представлены в таблице 1 [2, 3].

Проанализировав таблицу, можно сделать следующие выводы:

- среднеквадратическое отклонение размещения растений в рядке в зависимости от марки сеялки находится в диапазоне $\pm 1,8... \pm 3,4$ см (по нормативным данным [4] интервал между растениями лука должен составлять 4...7 см);

- коэффициент вариации размещения растений в рядке в зависимости от сеялки составляет 15,49–79,4 %, и только сеялка Stanhay во время сева томатов обеспечивает коэффициент вариации размещения растений в рядке до 20 %;

- сеялки не обеспечивают размещения в гнезде 1 семени. Так, количество гнезд с 2 семенами достигает от 0,7 % до 20,8 %, а количество гнезд с 3 семенами от 0,7 % до 1,9 % возможно при использовании сеялок Olimpia 4F-1900 и Orietta-12F-6000.

Для повышения точности сева мы предлагаем альтернативный путь – использование простых по конструкции, надежных и дешевых механических сеялок, при этом на поверхности семян овощных культур целесообразно формировать искусственную оболочку с целью получения посевного материала с однородными свойствами.

Основная цель капсулирования – получение однородного по физико-механическим свойствам посевного материала, который обеспечивает высокое качество посева простыми и дешевыми механическими сеялками. Более того, при совмещенных посевах можно в капсулу одновременно помещать семена разных культур, удобрения и средства защиты семян.

Таблица 1. – Результаты испытаний овощных сеялок на точность высева семян разных овощных культур

Фото	Марка	Культура	Норма высева, кг/га		Количество гнезд с (1, 2, 3) семенами, %			Распределение семян вдоль рядка (интервал), см			
			декларированная	фактическая				расчетный	фактический	среднеквадратиче- ское отклонение, %	коэффициент вариации, %
					1	2	3				
	Сеялка овощная «Клен-5,6» производства МСНПП «Клен»	Лук Дайтон F1	4,1	4,09	—	—	—	4,1	4,3	3,4	79,4
	Сеялка овощная Orietta-6 производства фирмы Gaspardo, Италия	Лук Банко F1	3,85	3,88	80,3	19,7	—	4,78	4,8	1,8	39,67
	Сеялка овощная STAR-3R производства фирмы Stanhay Webb Ltd, Англия	Томаты Asterisk F1	0,281	0,261	79,2	20,8	—	7,6	5,5	3,0	55,8
	Сеялка овощная Olimpia 4F-1900 производства фирмы Gaspardo, Италия	Лук Кенди F1	3,0	2,96	98,6	0,7	0,7	6,0	6,2	2,38	38,4
	Сеялка овощная Orietta-12F-6000 производства фирмы Gaspardo, Италия	Лук Универсо F1	1,57	1,95	92,9	5,2	1,9	7,0	5,65	2,8	74,3
	Сеялка овощная пневматическая точного высева Stanhay производства фирмы Stanhay Webb Ltd, Англия	Томаты Вулкан	0,14	0,143	97,1	2,9	—	12	15,9	1,85	15,49

В результате имитационного моделирования процесса посева ячеисто-дисковым высевальным аппаратом капсулированных семян [5] определено, что уменьшение среднеквадратического отклонения размеров семян повышает точность сева и уменьшает вероятность образования «двойников» семян и их дробления (рисунок 1, 2).

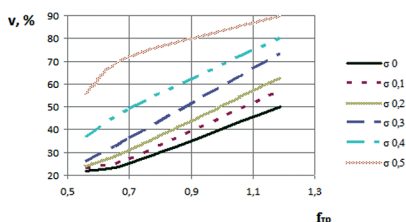


Рисунок 1. – Зависимость точности посева от коэффициента внутреннего трения семян при разных среднеквадратических отклонениях размеров семян

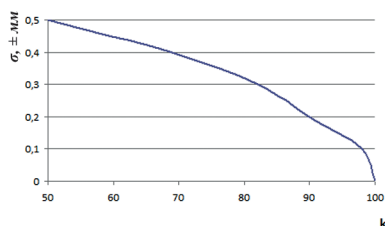


Рисунок 2. – Зависимость коэффициента западания семян в ячейку от среднеквадратического отклонения размеров семян

Имитационное моделирование работы ячеисто-дискового высевального аппарата позволило получить графики, анализ которых показывает, что точность сева практически обеспечивается при условиях получения семян, когда коэффициент трения равен 0,5 и среднеквадратическое отклонение размеров капсул σ составляет $\pm 0,1 \dots 0,2$ мм.

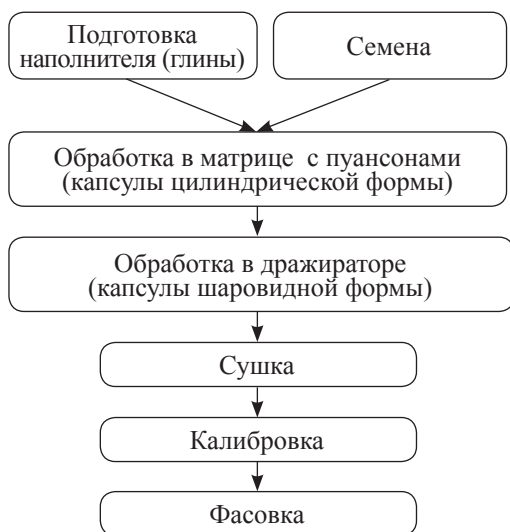
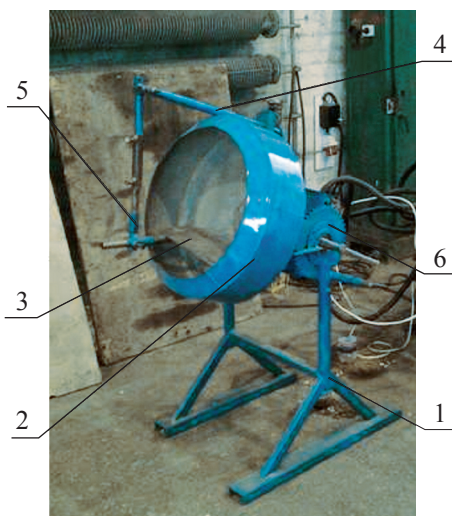


Рисунок 3. – Технологическая схема получения капсулированных семян

Исходя из вышесказанного, мы сформулировали требования к капсулированным семенам для точного посева ячеисто-дисковым высевальным аппаратом: коэффициент трения должен быть не больше 0,6, а коэффициент вариации размеров капсул – не больше 5...8 %.

Для удовлетворения этих условий мы выбрали путь капсулирования семян в глине способом образования цилиндрической капсулы с семенами с последующим формированием в дражираторе капсул шаровидной формы (рисунок 3).



1 – станина; 2 – барабан; 3 – скатная доска;
4 – кронштейн; 5 – шарнир; 6 – механизм
регулирования угла наклона барабана

Рисунок 4. – Общий вид дражиратора

В процессе капсулирования важно сформировать капсулы одного диаметра, для этого в матрице с пуансонами предусмотрены ключевые параметры – размер отверстий и толщина пластин для получения цилиндрических капсул диаметром 5 мм и высотой 6 мм, которые являются универсальными для мелкосемянных овощных культур.

Для исследования процесса формирования шаровидной формы из цилиндрической капсулы создана экспериментальная установка (рисунок 4). Для интенсификации процесса нанесения

оболочки в барабане 2 размещается скатная доска 3, которая с помощью кронштейна 4 крепится к станине 1 и предназначена для увеличения поверхности при формировании искусственных оболочек на семенах [6].

Согласно программе экспериментальных исследований, для реализации экспериментов составлен план Бокса-Бенкина второго порядка. Во время экспериментальных исследований изучали влияние центробежного критерия Фруда Fr (безразмерная величина, показывающая отношение центробежных сил к гравитационным, которые действуют на капсулу во время движения в барабане дражиратора), угла α наклона барабана к горизонту и угла β установки скатной доски на выход капсул шаровидной формы диаметром 6–6,5 мм.

В результате получили уравнение регрессии и поверхность отклика (рисунок 5):

$$Y = 94,21 + 0,34Fr + 0,59\alpha - 0,69\beta + 0,86Fr\alpha + 2,2Fr\beta + 0,75\alpha\beta - 1,99Fr^2 + 0,06\alpha^2 - 0,92\beta^2.$$

В результате обработки экспериментальных данных определены оптимальные параметры экспериментальной установки: угол установки барабана дражиратора – 19° к горизонтали, центробежный критерий Фруда $Fr = 0,85$ и угол установки скатной доски – 14° к горизонтали.

Предложенный способ предпосевного обрабатывания мелкосемянных овощных культур обеспечивает выход капсул со следующими харак-

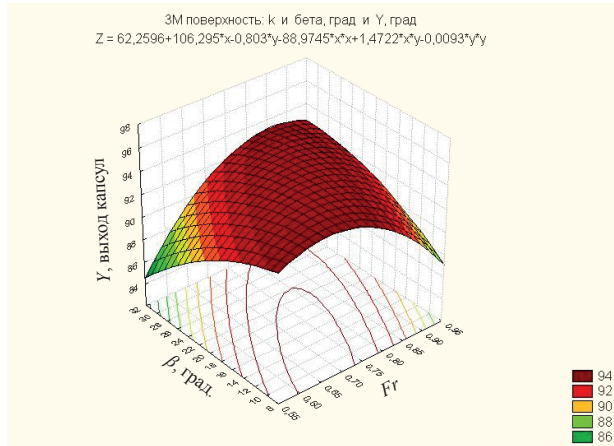


Рисунок 5. – Зависимость выхода капсул семян диаметром 6–6,5 мм от центробежного критерия Фруда Fr и угла установки скатной доски β

теристиками: коэффициент вариации размеров капсул составляет 3,54 %, статический коэффициент трения капсулированных семян – 0,32, динамический коэффициент трения – 0,12.

Выводы

Использование капсулированных семян решает проблему повышения точности посева при применении простых и дешевых овощных сеялок.

13.08.2015

Литература

1. Ткаченко, Н.М. Семена овощных и бахчевых культур / Н.М. Ткаченко, Ф.А. Ткаченко. – М.: Колос, 1977. – 192 с.
2. Машины для обработки грунта та сівби: посібник / В.І. Кравчук [та ін.]; за ред. В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника; М-во аграр. політики України; УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2009. – 288 с.
3. Машины для овоочівництва, садівництва та виноградарства: посібник / В.І. Кравчук [та ін.]; за ред. В.І. Кравчука; М-во аграр. політики та прод-ва України; УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2011. – 192 с.
4. Технології та нормативи витрат на вирощування овочевих культур / за ред. П.Т. Саблука, Д.І. Мазоренка, Г.Є. Мазнева. – К: ННЦ ІАЕ, 2009. – 340 с.
5. Кушнар'єв, А. Обґрунтування вимог до фізико-механічних властивостей капсульованого насіння овочевих культур / А. Кушнар'єв, Є. Сербій, Л. Мариніна // Техніка і технології АПК. – 2015. – № 5. – С. 24–27.
6. Машина для дражування насіння: пат. 54451 Україна, МПК А01С1/00. / В.І. Кравчук, Л.І. Мазурик, А.С. Кушнар'єв, Л.П. Шустік, С.П. Маринін, С.А. Кушнар'єв. – № u201005339; заявл. 30.04.2010; опубл. 10.11.2010 // Промислова власність. – Бюл. № 21. – С. 4.

УДК 631.33.022.65:631.82

Л.Я. Степук, В.В. Микульский

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

**СОГЛАСОВАНИЕ
ПАРАМЕТРОВ ПОДАЮЩИХ
ТРАНСПОРТЕРОВ
И ШНЕКОВЫХ
РАСПРЕДЕЛЯЮЩИХ
РАБОЧИХ ОРГАНОВ
УДОБРЕНЧЕСКИХ МАШИН**

Введение

С каждым годом на международных выставках растет количество экспонируемых штанговых машин для внесения минеральных удобрений со шнековыми распределяющими рабочими органами. Образцы данных машин представляют такие известные фирмы, как Amazone, Streumaster, Rauch (Германия), Bredal и Sulky (Франция).

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» также разработан ряд штанговых машин, надо сказать, задолго до появления зарубежных аналогов. Например, для внесения пылевидных известковых удобрений созданы машина полуприцепная МШХ-9 и самоходная МХС-10; для внесения основных и подкормочных доз твердых минеральных удобрений – прицепная МШВУ-18 и навесная РШУ-18. Две последних машины и в настоящее время не имеют аналогов в мире.

Использование шнековых распределяющих рабочих органов, состоящих из кожуха, в нижней части которого выполнены отверстия с определенным шагом, винта и регулируемого привода, по сравнению с центробежными позволяет до минимума свести влияние таких факторов, снижающих качество внесения удобрений, как неровность рельефа поля, ветер, положение распределяющих рабочих органов относительно поверхности поля, физико-механические свойства удобрений, в том числе их гранулометрический состав.

Для получения высокого качества распределения удобрений по полю такими машинами необходимо обеспечить подачу удобрений на шнековый распределяющий рабочий орган, по существу представляющий собой многопоточный дозатор, непрерывным и равномерным потоком. Для выполнения данного условия необходимо согласовать между собой конструктивные и кинематические параметры подающего транспортера и шнекового распределяющего рабочего органа.

Основная часть

Основное назначение подающего цепочно-планчатого (цепочно-прутового) транспортера в прицепной машине для внесения твердых минеральных удобрений заключается в непрерывной и равномерной подаче из кузова (бункера) удобрений в зону дозирования, где после прохождения через дозирующие заслонки происходит формирование заданной дозы и последующая ее подача на туконаправитель и далее в распределяющий ра-

бочий орган. При этом параметры подающего транспортера и шнекового распределяющего рабочего органа должны быть выбраны таким образом, чтобы обеспечить укладку удобрений на винт неразрывным и равномерным потоком [1, с. 244–245].

Это условие выполняется, если скорость перемещения минеральных удобрений винтом шнека $\vartheta_{ш.н.}$ будет равна (рисунок 1):

$$\vartheta_{ш.н.} = \frac{b_{ц.н.}}{T_{под.}}, \quad (1)$$

где $b_{ц.н.}$ – ширина цепочно-планчатого транспортера, м;
 $T_{под.}$ – время подачи планкой транспортера одной порции удобрений в распределяющую штангу, с.

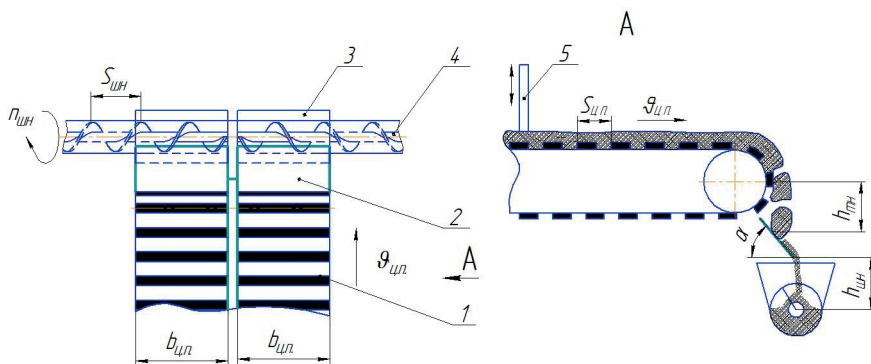
Время $T_{под.}$ определяется по формуле:

$$T_{под.} = t_n + t_1 + t_m + t_2, \quad (2)$$

где t_n – время прохождения планкой одного шага, с;
 t_1 – время падения удобрений с транспортера на туконаправитель, с;
 t_m – время движения удобрений по наклонной плоскости туконаправителя, с;
 t_2 – время падения удобрений с туконаправителя до оси шнека, с.
 Время t_n рассчитывается по формуле:

$$t_n = \frac{S_{ц.н.}}{\vartheta_{ц.н.}}, \quad (3)$$

где $S_{ц.н.}$ – шаг планок транспортера, м;
 $\vartheta_{ц.н.}$ – линейная скорость подающего транспортера, м/с.



- 1 – подающий цепочно-планчатый транспортер; 2 – туконаправитель;
 3 – загрузочная горловина распределяющей штанги; 4 – винт;
 5 – дозатор шиберный

Рисунок 1. – Схема подачи минеральных удобрений цепочно-планчатым транспортером в распределяющую штангу

В современных машинах подача удобрений к распределяющим рабочим органам осуществляется скребковым или прутковым транспортером, у которого [2, с. 40–41]

$$\frac{S_{ц.п.} \cdot \vartheta_{ц.п.}}{\vartheta_{ц.п.}} > 10 \text{ м},$$

где $\vartheta_{ц.п.}$ – скорость машины, м/с.

У кузовных машин транспортер, подающий удобрения к дозирующей заслонке, работает как транспортер сплошного волочения. Поэтому материал после него выносится непрерывным и относительно равномерным потоком. Но разгрузка транспортера и подача материала в туконаправитель осуществляется не непрерывно, а порциями. Происходит это потому, что линейная скорость подающего транспортера значительно меньше скорости движения машины. Поэтому объем материала в межпруктовом пространстве при подходе к месту разгрузки (к закруглению) некоторое время удерживается в общем массиве, затем обрушается порциями.

Точка сброса удобрений будет находиться в зоне закругления транспортера под некоторым углом отрыва, когда нормальная реакция частицы равна нулю. Тогда время, затрачиваемое на падение удобрений на туконаправитель, можно определить по известной формуле [3, с. 18]:

$$t_1 = \frac{\vartheta_{\kappa} - \vartheta_0}{g}, \quad (4)$$

где ϑ_{κ} – скорость частицы удобрения в момент соприкосновения с туконаправителем, м/с;

ϑ_0 – начальная скорость частицы удобрения в момент достижения точки сброса, равная скорости подающего транспортера, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Скорость частицы удобрения в момент соприкосновения с туконаправителем можно определить также по известной формуле [3, с. 18]:

$$h_{\text{мн.}} = \frac{\vartheta_{\kappa}^2 - \vartheta_0^2}{2 \cdot g}, \quad (5)$$

где $h_{\text{мн.}}$ – расстояние от начала падения частицы удобрения до точки соприкосновения с туконаправителем, м.

Тогда, выразив из формулы (5) скорость ϑ_{κ} и подставив в формулу (4), получим:

$$t_1 = \frac{\sqrt{\vartheta_{ц.п.}^2 + 2 \cdot h_{\text{мн.}} \cdot g} - \vartheta_{ц.п.}}{g}. \quad (6)$$

Согласно [4, с. 92–94], время движения частицы удобрения по наклонной плоскости туконаправителя t_m определяется по формуле:

$$t_m = \frac{(\vartheta_{\text{вых.}} - \vartheta_0) \cdot \cos \varphi}{g \cdot \sin(\alpha - \varphi)}, \quad (7)$$

где $\vartheta_{\text{вых}}$ – скорость частицы удобрения в момент схода с туконаправителя, м/с;
 ϑ_0 – скорость частицы удобрения в момент соприкосновения с туконаправителем, м/с;

φ – угол трения скольжения частицы удобрения о поверхность туконаправителя, град.;

α – угол наклона туконаправителя, который должен быть всегда больше угла φ (для устранения образования затора), град.

Так как в нашем случае удобрения сходят с туконаправителя под углом α с начальной скоростью $\vartheta_{\text{вых}}$, то время падения удобрений с туконаправителя до оси штанги можно определить, преобразовав формулу (6):

$$t_2 = \frac{\sqrt{(\vartheta_{\text{вых}} \cdot \sin \alpha)^2 + 2 \cdot h_{\text{шн.}} \cdot g - \vartheta_{\text{вых}} \cdot \sin \alpha}}{g}, \quad (8)$$

где $h_{\text{шн.}}$ – расстояние от туконаправителя до оси штанги, м.

Полное время подачи можно найти, подставив в формулу (2) формулы (3), (6), (7), (8). Получим:

$$T_{\text{под.}} = \frac{S_{\text{ш.п.}}}{\vartheta_{\text{ш.п.}}} + \frac{\sqrt{\vartheta_{\text{ш.п.}}^2 + 2 \cdot h_{\text{шн.}} \cdot g - \vartheta_{\text{ш.п.}}}}{g} + \frac{(\vartheta_{\text{вых}} - \vartheta_0) \cdot \cos \varphi}{g \cdot \sin(\alpha - \varphi)} + \frac{\sqrt{(\vartheta_{\text{вых}} \cdot \sin \alpha)^2 + 2 \cdot h_{\text{шн.}} \cdot g - \vartheta_{\text{вых}} \cdot \sin \alpha}}{g}. \quad (9)$$

Тогда скорость образования винтовой поверхности шнека, согласно формуле (1), будет равна:

$$\vartheta_{\text{ш.п.}} = \frac{b_{\text{ш.п.}}}{\frac{S_{\text{ш.п.}}}{\vartheta_{\text{ш.п.}}} + \frac{\sqrt{\vartheta_{\text{ш.п.}}^2 + 2 \cdot h_{\text{шн.}} \cdot g - \vartheta_{\text{ш.п.}}}}{g} + \frac{(\vartheta_{\text{вых}} - \vartheta_0) \cdot \cos \varphi}{g \cdot \sin(\alpha - \varphi)} + \frac{b_{\text{ш.п.}}}{\frac{\sqrt{(\vartheta_{\text{вых}} \cdot \sin \alpha)^2 + 2 \cdot h_{\text{шн.}} \cdot g - \vartheta_{\text{вых}} \cdot \sin \alpha}}{g}}}. \quad (10)$$

Работу штанги можно представить как работу многопоточного дозатора, в котором процесс перемещения материала совмещен с расходом (дозированием) по его длине через дозирующие высевные устройства, расположенные в днище кожуха. При этом происходит три взаимосвязанных поочередных процесса (прием удобрений, перемещение внутри кожуха шнека винтом и дозирование), характеризующихся производительностью подающего цепочно-планчатого транспортера $Q_{\text{ш.п.}}$, распределяющего рабочего органа $Q_{\text{шн.}}$ и всех дозирующих высевных устройств $Q_{\text{д.}}$ соответственно.

В этом случае для обеспечения достаточного питания высевных устройств по всей длине одной штанги необходимо, чтобы выполнялось следующее условие:

$$Q_{ц.п.} \leq Q_{ин.} > Q_{д.}, \quad (11)$$

причем

$$Q_{ц.п.} > Q_{д.} \quad (12)$$

В связи с тем, что любая машина должна обеспечивать внесение удобрений в широком диапазоне доз, дальнейшее согласование параметров выполним, исходя из условия обеспечения внесения максимальной погектарной дозы. Тогда, чтобы обеспечить внесение меньших доз, необходимо в конце штанги предусматривать установку датчика уровня удобрений над последним дозирующим устройством, который должен отключать и включать привод подающих транспортеров и винта штанги. Такая схема работы распределяющего рабочего органа предполагает наличие между шнеком и дозирующими устройствами накопительных емкостей для запаса удобрений на время отключения привода штанги.

Производительность цепочно-планчатого транспортера определяется по формуле [5, с. 165]:

$$Q_{ц.п.} = g_{ц.п.} \cdot b_{ц.п.} \cdot h \cdot \gamma \cdot k, \quad (13)$$

где h – высота транспортируемого слоя удобрений цепочно-планчатым транспортером, м;

γ – насыпная плотность удобрения, кг/м³;

k – поправочный коэффициент.

Суммарная производительность дозирующих высевных устройств на одной штанге определяется по формуле:

$$Q_{д.} = \frac{2,777 \cdot 10^{-5} D_{\max. \text{вн.}} \cdot B_p \cdot V_p}{2}, \quad (14)$$

где $D_{\max. \text{вн.}}$ – максимальная доза внесения удобрений, кг/га;

B_p – рабочая ширина захвата машины, м;

V_p – рабочая скорость агрегата, км/ч.

Подставив в формулу (12) формулы (13) и (14), получим:

$$g_{ц.п.} \cdot b_{ц.п.} \cdot h \cdot \gamma \cdot k > 2,777 \cdot 10^{-5} \cdot D_{\text{вн.}} \cdot B_p \cdot V_p. \quad (15)$$

Тогда скорость перемещения цепочно-планчатого транспортера, при которой будет обеспечиваться требуемая производительность $Q_{ц.п.}$:

$$g_{ц.п.} > \frac{2,777 \cdot 10^{-5} D_{\max. \text{вн.}} \cdot B_p \cdot V_p}{2 \cdot b_{ц.п.} \cdot h \cdot \gamma \cdot k}. \quad (16)$$

Окончательную формулу для определения скорости перемещения удобрений винтом штанги найдем, подставив в формулу (10) формулу (16), и с учетом условия (11) и некоторых преобразований получим:

$$g_{ин.} = \frac{2,777 \cdot 10^{-5} D_{\max. \text{вн.}} \cdot B_p \cdot V_p \cdot b_{ц.п.}}{2 \cdot b_{ц.п.} \cdot h \cdot \gamma \cdot k \cdot S_{ц.п.} + 2,777 \cdot 10^{-5} D_{\max. \text{вн.}} \cdot B_p \cdot V_p \cdot T}, \quad (17)$$

где

$$T = t_1 + t_m + t_2. \quad (18)$$

Скорость образования винтовой поверхности шнека также можно определить по формуле:

$$g_{ш.н.} = S_{ш.н.} + n_{ш.н.} \quad (19)$$

где $S_{ш.н.}$ – шаг винта штанги, м;

$n_{ш.н.}$ – частота вращения шнека, c^{-1} .

Тогда частота вращения винта штанги, при которой будет обеспечиваться требуемая производительность $Q_{шн.}$:

$$n_{ш.н.} = \frac{2,777 \cdot 10^{-5} D_{\max.вн.} \cdot B_p \cdot V_p \cdot b_{ш.н.}}{2 \cdot b_{ш.н.} \cdot h \cdot \gamma \cdot k \cdot S_{ш.н.} \cdot S_{ш.н.} + 2,777 \cdot 10^{-5} D_{\max.вн.} \cdot B_p \cdot V_p \cdot S_{ш.н.} \cdot T}. \quad (20)$$

Для перемещения сыпучих материалов в большинстве случаев шаг шнека $S_{ш.н.}$ равен диаметру D винта шнека, то есть $S_{ш.н.}/D = 1$, это отношение чаще всего применяется на практике [5, с. 183; 1, с. 193].

Диаметр винта шнека можно определить с достаточной точностью из формулы производительности $Q_{шн.}$ [6, с. 295]:

$$Q_{шн.} = 47 \cdot D^2 \cdot S_{ш.н.} \cdot n_{ш.н.} \cdot \psi \cdot \gamma \cdot c, \quad (21)$$

где D – наружный диаметр винта, м;

$n_{ш.н.}$ – частота вращения винта, $мин^{-1}$;

ψ – коэффициент заполнения кожуха шнека;

γ – насыпная плотность удобрения, $т/м^3$;

c – коэффициент, учитывающий угол наклона оси винта к горизонту.

Подставив формулы (13) и (21) в неравенство (11) и сделав преобразования, получим формулу для определения диаметра винта штанги:

$$D \geq \sqrt{\frac{g_{ш.н.} \cdot b_{ш.н.} \cdot h \cdot k}{0,785 \cdot g_{ш.н.} \cdot \psi \cdot c}}. \quad (22)$$

Выводы

1. Полученное выражение (20) позволяет согласовать конструктивные и кинематические параметры подающего транспортера и многопоточного штангового распределителя удобрений, обеспечивающих непрерывную и равномерную подачу удобрений из кузова машины в штангу.

2. Обоснование вместимости накопительных емкостей между кожухом штанги и дозирующими устройствами является предметом отдельного научного исследования.

30.06.2015

Литература

1. Степук, Л.Я. Механизация получения и применение многокомпонентных сельскохозяйственных материалов / Л.Я. Степук. – Минск: Урожай, 1990. – 311 с.

2. Степук, Л.Я. Механизация процессов химизации и экология / Л.Я. Степук, И.С. Нагорский, В.П. Дмитрачков. – Минск: Ураджай, 1993. – 272 с.
3. Гольман, Л.П. Физика: учеб. пособие / Л.П. Гольман. – Минск, 2004. – 89 с.
4. Василенко, П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. – Киев: Изд-во Украинской Академии сельскохозяйственных наук, 1960. – 283 с.
5. Степук, Л.Я. Построение машин химизации земледелия / Л.Я. Степук, А.А. Жешко; Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2012. – 443 с.
6. Гурфинкель, М.А. Транспортные погрузочно-разгрузочные машины в химической промышленности / М.А. Гурфинкель, С.Ф. Сорокин, Л.Г. Умековский. – Ленинград, 1960. – 496 с.

УДК 631.33.022

Б.Х. Ахалая, В.А. Колос

(ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства» (ФГБНУ ВИМ)

г. Москва, Российская Федерация

Н.Д. Лепешкин

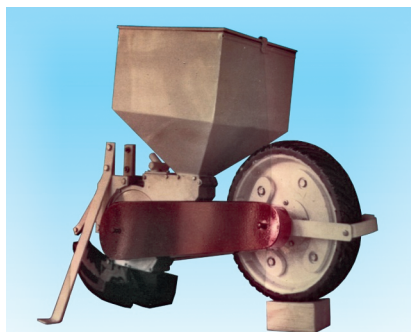
(РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь)

РАЗРАБОТКА ДВУХДИСКОВОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА ДЛЯ СОВМЕЩЕННОГО ПОСЕВА

Введение

Одним из перспективных направлений интенсивного земледелия принято считать применение совмещенных посевов сельскохозяйственных культур. В ВИМе разработана конструкция пневматического высевающего аппарата секции сеялки для пунктирного высева калиброванных и некалиброванных семян кукурузы, подсолнечника, клеверины, сорго, сои, а также семян кормовых бобов, фасоли как совмещенным, так и пунктирным способами [1] (рисунок 1). Испытания выявили некоторые его недостатки:

а) в процессе удаления лишних семян из конической ячейки нередко удаляются все семена, что недопустимо, так как нарушается схема посева и снижается урожайность;



**Рисунок 1. – Секция сеялки для
совмещенного посева**

б) высеваший аппарат снабжен металлическим выталькивателем семян, что повышает число повреждений;

в) высеваший диск с двумя рядами ячеек не позволяет менять схему посева без его замены.

Основная часть

На основании данных исследований сеялки совмещенного посева были обоснованы следующие предложения по доработке конструкции высевашего аппарата:

1. Высеваший диск необходимо выполнить сдвоенным таким образом, чтобы его части скреплялись между собой болтами с возможностью смещения. Это позволит изменять схемы посева, упростить конструкцию, исключить дополнительную цепную передачу, повысить удобство эксплуатации.

2. На $\frac{3}{4}$ глубины боковой поверхности ячейки высевашего диска разместить отверстия, расположенные друг против друга под острым углом к основанию ячейки, для обеспечения надежного прижатия семени ко дну ячейки.

3. Выталькиватель семян изготовить в виде упругого эластичного ролика, позволяющего удалять застрявшие семена из ячеек без повреждений.

На конструкцию высевашего аппарата подана заявка на изобретение (№ 2014143102 от 16.12.2014 г.).

Для реализации этих предложений разработан новый высеваший аппарат, содержащий семенной бункер 1, разделенный перегородкой 2 на две части, и сдвоенный высеваший диск с частями 3 и 4 (рисунок 2). Диск имеет конические ячейки 5 с отверстиями 9, воздушное сопло 6 с патрубками 7 и 8. На боковой поверхности конической ячейки 5 имеются два сквозных отверстия 9.

На внутренней поверхности каждой части диска под коническими ячейками 5 выполнен паз 10 для выталькивателя, ролика-выталькивателя 11, закрепленного в нижней части боковой стенки 12.

На конструкцию нового высевашего аппарата получены патенты на изобретение [2, 3].

Соотношения между диаметром D_1 сквозного отверстия 9 конической ячейки, нижним ее диаметром D_2 , глубиной h и верхним диаметром D_3 определены экспериментальным путем:

$$D_1 : D_2 : h : D_3 = 1 : 2 : 6 : 8.$$

Высеваший аппарат работает следующим образом. Семена культур из двух частей семенного бункера самотеком попадают в сквозные конические ячейки частей высевашего диска. При вращении он подводит конические ячейки, заполненные семенами, к воздушному соплу, разделенному на два патрубка. Воздушный поток, благодаря отверстиям на боковой поверхности сквозной конической ячейки, обеспечивает надежное прижатие одного семени к ее дну. Остальные семена выдуваются. Эластичным роликом застрявшие семена удаляются из ячейки и направляются на дно борозды.

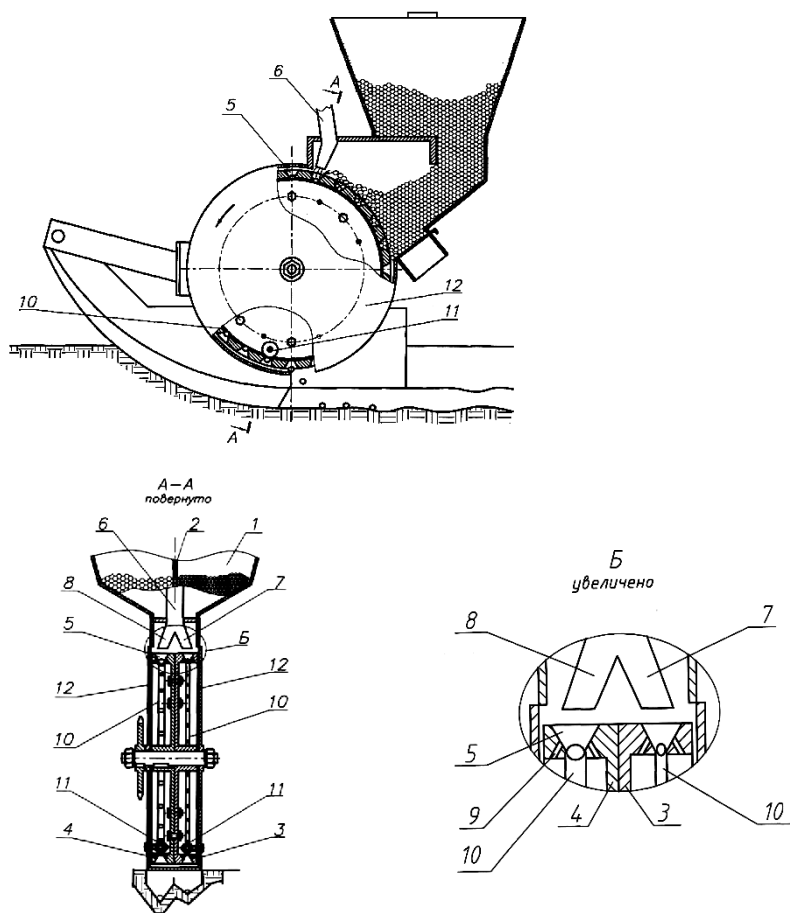


Рисунок 2. – Пневматический высеваящий аппарат

Эффективность работы аппарата оценивали по результатам лабораторных исследований. Особое внимание было уделено продольной равномерности распределения семян в рядке на скоростных режимах, соответствующих поступательной скорости сеялки до 10 км/ч. В качестве посевного материала использовали кукурузу и сою. Необходимо было выявить закономерности изменения расстояний между высевными семенами обеих культур и сравнить характер их варьирования. При этом следовало установить такой объем выборки, среднее значение которого с заданной точностью характеризовало бы изучаемую совокупность.

Изменчивость продольной равномерности распределения семян в рядке оценивали коэффициентом вариации V (до 15 %). Задавшись ошибкой

опыта $P = 4 \%$ и высокой вероятностью получаемого результата ($P = 0,99$), установили необходимое количество замеров n , при котором уровень вероятности соответствует показателю достоверности $K = 2,58$ [4] и вывод о закономерностях распределения интервалов между семенами считается достаточно надежным. Число измеряемых интервалов между семенами принимали равным 100. Коэффициенты вариации V , среднюю ошибку m , ошибку опыта P , средний интервал $\bar{X}$, среднеквадратическое отклонение σ и фактическое значение интервала распределения $X^2\Phi$ по критерию наименьших квадратов определяли по известным формулам [5].

Число степеней свободы при разбивке выборки на 8 классов составило $\mu = 8 - 2 - 1 = 5$. При $P_b = 0,99$ и $\mu = 5$ найденные показатели распределения семян кукурузы $X^2\Phi = 4,43$ и сои $X^2\Phi = 3,24$, что намного ниже табличных значений. Полученные результаты (таблица 1) позволяют принять гипотезу о нормальном распределении семян высевальным аппаратом.

Таблица 1. – Статистические характеристики распределения интервалов между семенами

Культура	$\bar{X}$, мм	σ , мм	V , %	m , мм	P , %	Фактическое значение $X^2\Phi$
Кукуруза	225,6	23	145	2,3	1,1	4,43
Соя	53,8	5,4	12,3	0,65	1,2	3,24

С вероятностью 0,99 можно утверждать, что аппарат для совмещенных посевов обеспечивает средний интервал между семенами в пределах 218...234 мм при высевае кукурузы и 49...54 мм при высевае сои, что соответствует требованиям агротехники совмещенного посева.

Выводы

Разработанный пневматический высевальный аппарат для совмещенного посева будет отличаться универсальностью за счет применения двоянного высевального диска и повышенной эксплуатационной надежностью вследствие более простой конструкции. Обеспечит выполнение агротехнических требований в отношении равномерности распределения семян в рядке, рост производительности работ и урожайности двух культур с одной площади посева на 10...15 %.

12.08.2015

Литература

1. Ахалая, Б.Х. Модернизация пневматической сеялки / Б.Х. Ахалая. – М.: Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2011. – № 1. – С. 35–36.
2. Пневматический высевальный аппарат: пат. 2384992 РФ, МПК А01С/04. / А.Ю. Измайлов, Б.Х. Ахалая, О.А. Сизов, В.В. Бычков, Д.Н. Гахокидзе, В.В. Михеев; заявитель ГНУ ВИМ. – № 20091031/12; заявл. 30.01.09; опубл. 27.03.10 // Изобретения. Полезные модели / Официальный бюллетень ФГУ ФИПС. – 2010. – Бюл. № 9.

3. Пневматический высевной аппарат: пат. 126888 РФ, МПК А01С 7/04 / А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, Б.Х. Ахалая, О.А. Сизов, О.С. Марченко, И.А. Пехальский, Д.Н. Гахокидзе, М.И. Сулейманов, А.Х. Ахалая, Т.В. Захарова; заявитель ГНУ ВИМ. – № 2012135052/13; заявл. 15.08.12; опубл. 20.04.13. // Изобретения. Полезные модели / Официальный бюллетень ФГУ ФИПС. – 2013. – Бюл. № 11.
4. Длин, А.М. Математическая статистика в технике / А.М. Длин. – М.: Советская наука, 1958. – 466 с.
5. Леонтьев, Н.Л. Техника статистических вычислений / Н.Л. Леонтьев. – М.: Лесная промышленность, 1966. – 250 с.

УДК 631.312

**Н.Н. Стасюкевич,
Е.В. Плискевич,
А.Н. Стасюкевич**

(УО «БГАУ»,

г. Минск, Республика Беларусь

Д.И. Комлач

(РУП «НПЦ НАН Беларуси по

механизации сельского хозяйства»,

г. Минск, Республика Беларусь)

К ОБОСНОВАНИЮ СХЕМЫ КОМБИНИРОВАННОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕ- ПОСЕВНОГО АГРЕГАТА С ГИДРОПРИВОДОМ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

Введение

Овощам принадлежит огромная роль в питании человека. Человек должен ежедневно употреблять не менее 400...500 граммов овощей, которые могут удовлетворить на 20...35 % потребности в белках, на 70...80 % – в углеводах, на 70...90 % – в минеральных солях, микроэлементах и витаминах [1]. В Республике необходимо увеличивать объемы и расширять выращивание разнообразных овощных и пряно-ароматических культур, обладающих незаменимыми пищевыми, профилактическими и лечебными свойствами. Для этого потребуются современные универсальные агрегаты, выполняющие несколько функций за один проход по полю.

Многократные проходы техники по полю при возделывании продукции растениеводства приводят к интенсивному уплотнению пахотных и подпахотных слоев почвы, что приводит к снижению урожайности и повышению энергоемкости обработки почв.

Качество выполнения технологического процесса и его эффективность напрямую зависят от оптимально выбранной схемы, принципа действия рабочих органов и режимов работы МТА.

Значительного эффекта можно добиться, создав совмещающие операции агрегаты, менее энергоемкие орудия, более широко применяя гидро- и электроприводы, машины с активными рабочими органами (АРО).

В настоящее время опыт применения в зарубежных странах, СНГ и Республике Беларусь агрегатов комбинированных почвообрабатывающе-посевных (АКПП), почвообрабатывающих машин с АРО доказал их высокую экономическую эффективность. Большой интерес к ним, несмотря на немалую стоимость, объясняется высоким качеством обработки почвы, достигаемым за один проход агрегата, сокращением агротехнических сроков между операциями обработки почвы и посева, а также снижением обобщенных затрат на производство сельхозпродукции [2, 3].

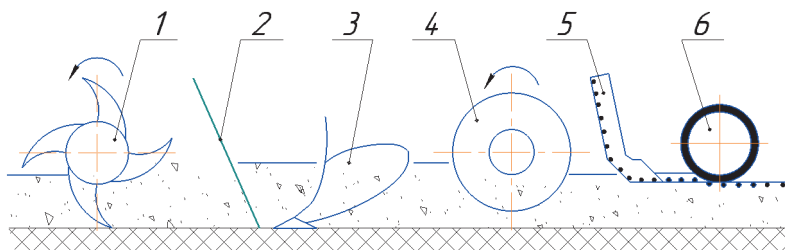
Обоснование технологической схемы посева овощных культур

Технология посева овощных культур, таких как морковь, столовая свекла, репчатый лук, предусматривает операции [1] предпосевной обработки почвы, нарезки и профилирования гребней, посева и прикатывания посевного ложа.

На рисунке 1 представлена технологическая схема посева овощных культур, которая предполагает следующие этапы:

- подготовку почвы с применением почвообрабатывающего орудия 1;
- формирование гребней с использованием деки-гребнеобразователя 2 или гребнеобразователя 3;
- формирование гряд профилирующими барабанами 4;
- посев овощных культур сеялкой 5;
- уплотнение посевного ложа семян прикатывающими колесами 6.

Подготовка почвы является самым энергоемким, дорогостоящим и ответственным этапом в растениеводстве. От качества и своевременности проведения предпосевной обработки при посеве овощных культур напрямую зависит урожайность и экономическая эффективность их возделывания.



- 1 – почвообрабатывающее орудие; 2 – дека-гребнеобразователь;
3 – гребнеобразователь; 4 – профилирующие барабаны; 5 – сеялка;
6 – прикатывающие колеса

Рисунок 1. – Схема технологическая посева овощных культур

Выбор и обоснование типа почвообрабатывающего орудия

В настоящее время для подготовки почвы под посев сельхозкультур достаточно широко применяют почвообрабатывающие машины с АРО (к которым относятся фрезы или ротационные бороны и культиваторы). Этот тип машин создает мелкокомковатую структуру почвы за счет полойного отрезания стружки от почвенного массива, интенсивного крошения и перемешивания рабочими органами.

Почвообрабатывающие машины с АРО должны использоваться на тяжелых и средних по механическому составу почвах. Машины данного типа отличают высокое качество крошения обработанного слоя почвы на полях с любым механическим составом, а также возможность увеличения периода их использования. Увеличение периода использования фрезерных машин (борон и культиваторов) связано с обеспечением требуемого качества обработки как в более ранние сроки, при повышенной влажности, так и в более поздние, при низком ее содержании, что затруднительно, а иногда и невозможно выполнить машинами с пассивными рабочими органами [2].

По расположению оси вращения рабочих органов почвообрабатывающие машины с АРО подразделяются на два типа: с вертикальным и горизонтальным положением. Машины с вертикальной осью вращения фрезы получили достаточно широкое применение. Рабочие органы таких машин формируют ровное дно борозды и хорошо выравнивают поверхность почвы.

Применение фрезерных орудий с горизонтальной осью вращения рабочих органов исключает полное переуплотнение дна обрабатываемого слоя. Данное явление связано с тем, что с обеих сторон от рабочих органов почва крошится от распространяемых ими волн деформации почвенного пласта. При этом почвенные элементы отрываются от нижележащего массива, не нарушая в нем структуру пор и капиллярных каналов.

Таким образом, применение почвообрабатывающих машин с АРО, как с вертикальной, так и с горизонтальной осью вращения, при подготовке почвы под посев обеспечивает более благоприятные условия для прорастания и дальнейшего развития семян по сравнению с машинами с пассивными рабочими органами.

Так как орудия с АРО как с технологической, так и с энергетической точек зрения являются наиболее эффективными, выберем их в качестве основных.

Обоснование схемы и параметров узкопрофильных гряд

Выращивание овощных культур, имеющих большую надземную массу или мощное корневище, является наиболее приемлемым, исходя из агротехнологических требований, на узкопрофильных грядах с междурядьем 700 мм, при колее трактора 1400 мм, имеющих трапециевидную форму, ширину сверху 200 мм, у основания – 300 мм, высоту – до 120 мм (рисунок 2) [1].

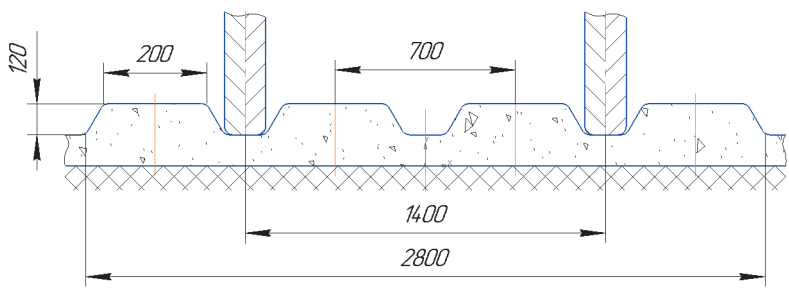


Рисунок 2. – Схема узкопрофильной гряды

Обоснование схемы АКПП для посева овощных культур

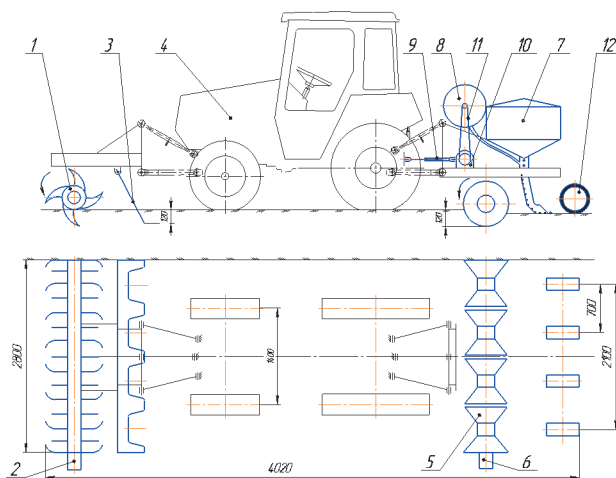
Для обеспечения мобильности и маневренности, например при работе на небольших участках, в теплицах, необходимо, чтобы агрегаты были навесными.

С целью рационального использования сцепного веса и загрузки двигателя предлагается почвообрабатывающую фрезу с гребнеобразователем навесить на переднее, а профилирующие барабаны и сеялку – на заднее навесное устройство (НУ) трактора [4].

С учетом максимально допустимой нагрузки на переднее НУ, которая для тракторов класса 1,4...2,0 составляет не более 600 кг, а также с целью ее уменьшения вместо гребнеобразователя 3 (рисунок 1) для нарезки гребней (после фрезы с АРО 1) (рисунок 3) предполагается использование специальной деки-гребнеобразователя 2 с профилем гребней.

Рациональная ширина захвата разрабатываемого агрегата для предпосевной обработки почвы определяется с учетом удельной энергоемкости процесса обработки почвы, тягового класса трактора в диапазоне рабочих скоростей, обеспечивающих требуемое качество обработки с учетом номинальной мощности двигателя. Ширина захвата агрегата при агрегатировании с тракторами класса 2,0 составляет 2,8 м [2].

Предлагаемая конструктивно-технологическая схема АКПП для предпосевной обработки почвы и посева овощных культур состоит из следующих составных частей (рисунок 3): фрезы почвообрабатывающей с АРО 1; деки-гребнеобразователя 3; трактора 4; профилирующих барабанов 5; сеялки пневматической 7 с вентилятором 8; прикатывающих колес 12; гидроприводов: привода фрезы 2 и профилирующих барабанов 6; привода вентилятора 9–11 от ВОМ трактора [4].



- 1 – фреза почвообрабатывающая; 2 – гидропривод фрезы; 3 – дека- гребнеобразователь;
 4 – трактор; 5 – профилирующие барабаны; 6 – гидропривод профилирующих барабанов;
 7 – сеялка пневматическая; 8 – вентилятор; 9 – карданная передача; 10 – редуктор;
 11 – клиноременная передача, 12 – прикатывающие колеса

Рисунок 3. – Конструктивно-технологическая схема АКПП

Технологический процесс работы предлагаемого АКПП заключается в следующем. Передненавесные: фреза с АРО 1, приводимая в движение от гидропривода 2, рыхлит почву, дека-гребнеобразователь 3 формирует гребни высотой 120 мм. Задненавесные: профилирующие барабаны 5, приводимые в движение от гидропривода 6, профилируют гребни; сеялка пневматическая 7, привод пневмовентилятора 8 которой осуществляется от ВОМ трактора посредством карданной передачи 9, редуктора 10 и клиноременной передачи 11, производит высев семян в гребни, а прикатывающие колеса 12 уплотняют семенные ложа.

Раздельная технология обработки почвы и посева приводит к чрезмерному уплотнению почвы, снижению урожайности, увеличению агросроков, затрат и стоимости продукции в итоге.

Применение предлагаемого АКПП позволяет осуществить предпосевную обработку почвы и посев овощных культур за один проход, что значительно снижает уплотнение почвы, агросроки и затраты на посев.

Применение в АКПП почвообрабатывающих орудий (в частности фрез) с АРО позволит повысить качество и снизить энергоемкость процесса предпосевной обработки почвы.

Перспективность применения объемного гидропривода

Под объемным гидравлическим приводом (гидроприводом) понимают совокупность устройств, в число которых входит один или несколько объемных гидродвигателей, предназначенных для приведения в движение механизмов и машин с помощью рабочей жидкости под давлением [5].

Современный уровень развития почвообрабатывающих и других сельскохозяйственных машин характеризуется широким применением объемного гидравлического привода. Столь широкое применение гидропривода объясняется целым рядом его преимуществ по сравнению с другими типами привода:

- высокой компактностью при небольших массе и габаритных размерах гидрооборудования по сравнению с механическими приводными устройствами той же мощности, что объясняется отсутствием или применением в меньшем количестве таких элементов, как валы, шестеренные и цепные редукторы, муфты, тормоза, канаты и другое;

- возможностью реализации больших передаточных чисел. В объемном гидроприводе с использованием высокомоментных гидромоторов передаточное число может достигать 2000 [5];

- небольшой инерционностью, обеспечивающей хорошие динамические свойства привода, что позволяет уменьшить продолжительность рабочего цикла и повысить производительность машины, так как включение и реверсирование рабочих органов осуществляются за доли секунды;

- бесступенчатым регулированием скорости движения, позволяющим повысить коэффициент использования приводного двигателя, упростить автоматизацию привода и улучшить условия работы машиниста;

- удобством и простотой управления, которые обуславливают небольшую затрату энергии машинистом и создают условия для автоматизации не только отдельных операций, но и всего технологического процесса, выполняемого машиной;

- независимым расположением сборочных единиц гидропривода, позволяющим наиболее целесообразно разместить их на машине. Насос обычно устанавливают у приводного двигателя, гидродвигатели – непосредственно у исполнительных механизмов, элементы управления – у пульта машиниста, исполнительные гидроаппараты – в наиболее удобном по условиям компоновки месте;

- надежным предохранением от перегрузок приводного двигателя, системы привода, металлоконструкций и рабочих органов, благодаря установке предохранительных и переливных гидроклапанов;

- простотой взаимного преобразования вращательного и поступательного движений в системах насос – гидромотор и насос – гидроцилиндр;

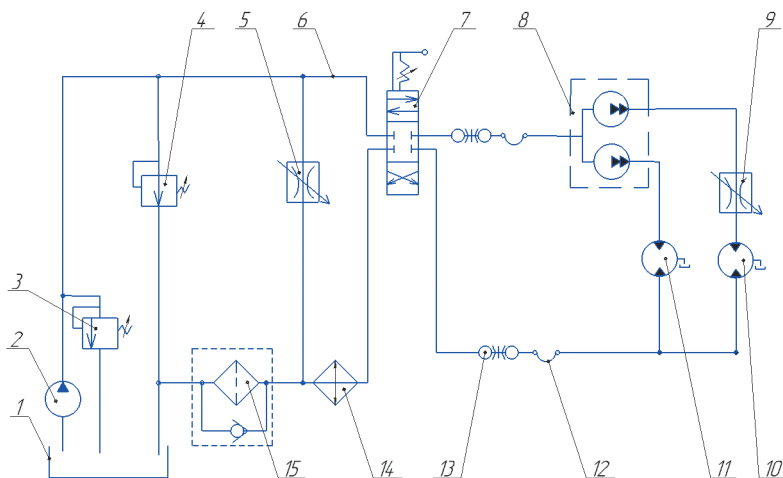
– применением унифицированных сборочных единиц (насосов, гидромоторов, гидроцилиндров, гидроклапанов, гидрораспределителей, фильтров, соединений трубопроводов и др.), позволяющим снизить себестоимость привода, облегчить его эксплуатацию и ремонт, а также упростить и сократить процесс конструирования машин.

В настоящее время гидропривод получает самое широкое распространение на сельскохозяйственных машинах различного назначения. Имеются полностью и частично гидрофицированные машины, где объемный гидропривод сочетается с механическим.

Обоснование схемы гидропривода рабочих органов АКПП

Привод орудий с АРО, навешиваемых спереди энергетических средств (в данном случае тракторов классов 1,4...2,0), механическими передачами несколько затруднителен. В данном случае предлагается использовать гидравлический привод, позволяющий осуществлять передачу механической энергии посредством жидкости, независимо от пространственного расположения рабочего органа.

Предлагаемая нами схема [6] объемного гидропривода рабочих органов АКПП представлена на рисунке 4.



- 1 – гидробак; 2 – насос; 3 – клапан предохранительный; 4 – клапан переливной;
 5 и 9 – дроссели; 6 – гидролинии; 7 – распределитель гидравлический;
 8 – делитель потока; 10 и 11 – гидромоторы; 12 – резинометаллический рукав высокого давления (РВД); 13 – муфта быстросъемная; 14 – теплообменник (радиатор); 15 – фильтр

Рисунок 4. – Схема гидропривода рабочих органов АКПП

Расчет параметров объемного гидропривода рабочих органов АКПП

Для привода рабочих органов АКПП вращательного действия используются гидромоторы, при этом определяются крутящий момент $M_{\text{схм}}$ и частота вращения $n_{\text{схм}}$ выходных валов рабочих органов машины [6].

Для гидромашин вращательного действия должно соблюдаться условие:

$$M_{\text{схм}} \leq M_{\text{м}},$$

где $M_{\text{м}}$ – крутящий момент, развиваемый гидромотором, $H \cdot м$.

При непосредственном соединении гидромотора с рабочим валом машины необходимо соблюдать следующее условие:

$$n_{\text{м.мин}} \leq n_{\text{схм}} \leq n_{\text{м.мах}},$$

где $n_{\text{м.мин}}$ – минимальная частота вращения вала гидромотора;

$n_{\text{м.мах}}$ – максимальная частота вращения вала гидромотора.

Для привода фрезы и профилирующего барабана принимаем гидромоторы серии МГП, которые способны создавать крутящий момент $150 \dots 540 H \cdot м$ и работать с частотой вращения $0,2 \dots 800 c^{-1}$.

Для обеспечения требуемой частоты вращения выходного вала сельскохозяйственной машины на гидромотор необходимо подать расход жидкости $Q_{\text{м}}$, который определяется по формуле:

$$Q_{\text{м}} = \frac{q_{\text{о.м}} \cdot n_{\text{схм}}}{\eta_{\text{о.м}}},$$

где $q_{\text{о.м}}$ – рабочий объем гидромотора;

$\eta_{\text{о.м}}$ – объемный КПД гидромотора.

При частоте вращения фрезы $5 \dots 6 c^{-1}$ ($300 \dots 360 \text{ об./мин}$) регулирование подачи расхода жидкости на гидромотор 11 осуществляется дросселем 5.

Частота вращения профилирующего барабана составляет $1,5 \dots 2,5 c^{-1}$ (или $90 \dots 150 \text{ об./мин}$), поэтому перед гидромотором 10 устанавливаем дроссель 9.

Для создания требуемого крутящего момента на валу сельскохозяйственной машины необходимо подавать давление $\Delta p_{\text{м}}$, определяемое по формуле:

$$\Delta p_{\text{м}} = \frac{M_{\text{схм}}}{0,159 q_{\text{о.м}} \cdot \eta_{\text{м.м}}},$$

где $\eta_{\text{м.м}}$ – механический КПД гидромотора.

Величина подаваемого давления для обеспечения крутящего момента в пределах $150 \dots 540 H \cdot м$ регулируется клапаном переливным 4.

Выводы

Многократные проходы техники по полю приводят к интенсивному уплотнению почвы, снижению урожайности и повышению энергоемкости процесса обработки почвы. Применение АКПП позволяет сократить количество проходов по полю и существенно снизить уплотнение почвы, сократить агросроки проведения посева овощных культур.

Применение почвообрабатывающих орудий с АРО позволяет повысить качество и уменьшить энергоемкость технологического процесса предпосевной обработки почвы.

Схемы АКПП с передне- и задненавесным расположением орудий и машин позволяют увеличить сцепной вес за счет его равномерного распределения между передними и задними колесами и тем самым повысить рациональную загрузку двигателя трактора.

Использование объемного гидропривода рабочих органов АКПП позволяет сократить металлоемкость, обеспечить надежную защиту исполнительных органов, бесступенчато регулировать параметры гидромоторов, что дает возможность эксплуатировать агрегат в различных почвенно-климатических условиях с высокими технико-экономическими показателями.

16.10.2015

Литература

1. Аутко, А.А. Технологии возделывания овощных культур / А.А. Аутко. – Минск: Красико-Принт, 2001. – 271 с.
2. Азаренко, В.В. Почвообрабатывающие агрегаты с активными рабочими органами и их применение в Республике Беларусь: аналит. обзор / В.В. Азаренко, Н.Г. Бакач, В.К. Клыбик; Бел. ин-т внедрения новых форм хозяйствования в АПК. – Минск, 2001. – 24 с.
3. Ахалая, Б.Х. Перспективы создания почвообрабатывающего посевного комбинированного агрегата / Б.Х. Ахалая, М.И. Сулейманов, Д.О. Сизов // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: сб. науч. тр. Междунар. н.-т. конф. – М.: ВИМ, 2012. – Т. 1. – С. 362–366.
4. Ловкис, В.Б. Обоснование схемы комбинированного агрегата для посева овощных культур / В.Б. Ловкис, Н.Н. Стасюкевич, Е.В. Плискевич, А.Н. Стасюкевич // Инновационные технологии в производстве сельскохозяйственной продукции: сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – Минск: БГАТУ, 2015. – С. 276–281.
5. Кравцов, А.М. Гидравлика: практикум / А.М. Кравцов, В.С. Лахмаков, Е.В. Плискевич. – Минск: БГАТУ, 2015. – 384 с.
6. Плискевич, Е.В. Гидропривод комбинированных почвообрабатывающе-посевных агрегатов с активными рабочими органами / Е.В. Плискевич, Н.Н. Стасюкевич, А.Н. Стасюкевич // Инновационные технологии в производстве сельскохозяйственной продукции: сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – Минск: БГАТУ, 2015. – С. 282–287.
7. Сельское хозяйство Республики Беларусь, 2015: статистический сборник. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2015. – 318 с.

УДК 631.623; 631.626.1

**А.Н. Басаревский,
К.А. Кравченко**

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

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РОТАЦИОННЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ В МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛАХ

Введение

Почвенно-климатические условия Республики Беларусь не позволяют на территории площадью около 8,99 млн га вести интенсивное земледелие из-за переувлажнения. Поэтому мелиоративные системы являются значимой составляющей агропромышленного комплекса страны, а поддержание их работоспособности – жизненно важной необходимостью [1].

В 15 районах республики, особенно в Полесье, осушенные земли составляют 50 процентов сельскохозяйственных угодий и являются основным средством производства для этих хозяйств [2].

Для обеспечения проектных норм осушения сельскохозяйственных земель используется сложный комплекс гидротехнических и других сооружений. В его составе 170 тыс. км каналов и водоприемников, 3,3 тыс. мостов, 2,2 тыс. шлюзов-регуляторов, 24,4 тыс. труб-регуляторов, 52,4 тыс. труб-переездов, 480 насосных станций, 17,8 тыс. эксплуатационных дорог, 1074 пруда и водохранилища, 4770 защитных и ограждающих дамб.

Из-за несвоевременного проведения ремонтно-эксплуатационных работ, по данным инвентаризации на 1 января 2005 г., 38,3 тыс. км каналов было закустарено (22 %), 41 тыс. км заилено (24 %).

В результате принятых мер их состояние значительно улучшилось, и уже по данным инвентаризации мелиоративных систем на 1 января 2014 г., только 11,3 тыс. километров каналов заросли древесно-кустарниковой растительностью, 16,9 тыс. километров каналов заилено.

Несмотря на принимаемые меры, имеются сложности в выполнении Государственной программы сохранения и использования мелиорированных земель на 2011–2015 годы. Так, с течением времени сложность и капиталоемкость работ по реконструкции объектов мелиорации возрастает. В связи с чем особую актуальность приобретают разработка и освоение высокоэффективных ресурсосберегающих технологий выполнения эксплуатационных и профилактических работ для обеспечения максимального срока службы мелиоративных каналов.

Для очистки или окашивания каналов, различных по размерам, назначению, грунтовым условиям, типу и количеству наносов, степени деформации дна и откосов, роду и густоте растительности, применяются машины с рабочими органами различных типов.

В настоящее время восстановление работоспособности каналов производится главным образом путем их очистки одноковшовыми экскаваторами с различными ковшом или специализированными машинами-каналоочистителями с рабочими органами циклического или непрерывного действия. Одноковшовые каналоочистители позволяют очищать каналы, засоренные камнями, древесиной, и проводить ремонт, а также очистку каналов, у которых бермы обсажены деревьями и непроходимы для каналоочистителей непрерывного действия. Однако ковшовые каналоочистители часто нарушают дно и откосы канала, имеют низкие производительность и качество работ, неспособны очищать каналы малых размеров и, как правило, требуют проведения дополнительных работ.

В аграрно развитых странах для очистки мелиоративных каналов все чаще прибегают к машинам с ротационными рабочими органами. Востребованность подобной техники вызвана высокими надежностью и производительностью. При работе подобные устройства не разрушают поперечный профиль канала, аккуратно очищают дно канала от наносов и сорной растительности. Однако недостаток подобной техники заключается в том, что она не предназначена для удаления древесно-кустарниковой растительности, а встреча с крупными камнями, плотно зарытыми в русле мелиоративного канала, может привести к ее поломке.

Появление древесно-кустарниковой растительности в русле и на откосах мелиоративного канала может быть обусловлено различными факторами: от некачественной очистки до последствий ураганного ветра. Древесные остатки, достаточно долго находящиеся в канале, постепенно заиливаются, обрастают корнями сорной растительности, основательно закрепляются в нем. По данным исследований В.Н. Титова и К.А. Гуцановича [3, 4, 5], наиболее часто в каналах мелиоративных систем встречаются такие породы древесно-кустарниковой растительности, как береза, осина, ольха, тополь, ива, которые чаще всего закрепляются на откосах самосевом и растут достаточно быстро.

Древесно-кустарниковая растительность обычно располагается выше уреза воды. При благоприятных погодно-климатических условиях зарастание мелиоративного объекта древесно-кустарниковой растительностью происходит в течение 3...5 лет. К кустарникам относится древесная растительность всех пород с диаметром стволов до 2 см и более. По технологическим свойствам различают одноствольные (береза, ива, осина, сосна, ель, ольха, дуб) и гнездовые (ива порослевая, ольха порослевая, орешник, черемуха) кустарники. На мелиоративных каналах чаще всего встречаются заросли кустарниковой поросли с наибольшим диаметром стволов до 3–4 см. При этом зарастание может быть сплошным или в виде отдельных кустов или куртин.

Древесные остатки значительно сложнее удалить из канала, чем наносы и сорную растительность. Как и камни, древесные остатки представ-

ляют серьезную угрозу поломки для каналоочистителей с ротационным рабочим органом. Поэтому физические опыты по проверке работоспособности таких рабочих органов в запущенных каналах до сих пор не проводились. Однако, благодаря вычислительным возможностям компьютерной техники, подобные опыты можно смоделировать в среде специализированных программных комплексов. Они позволяют провести практически любой опыт, минимизировав издержки на его реализацию и риск проведения потенциально опасных экспериментов. Получение таких данных позволит уточнить методики разработки (проектирования) ротационных рабочих органов и вопросы ухода за мелиоративными каналами.

Цель работы – на основании 3 моделируемых компьютерных экспериментов установить, какое влияние оказывают физико-механические свойства различных пород убираемой древесно-кустарниковой растительности, а также конструктивные и технологические параметры ротационного рабочего органа на возможность ее удаления каналоочистителем из мелиоративного канала.

Объекты и методы исследований

Ротационные рабочие органы каналоочистителей, как правило, состоят из следующих элементов (рисунок 1): ножей 1, отбрасывающих лопаток 2, кронштейна 3, фронтального ножа 4, кожуха 5, гидросистемы и башмака.

Прототипом рабочего органа для создания 3-мерной модели был принят ротационный рабочий орган опытного образца каналоочистителя КОРО-2. Моделирование процесса удаления растительности проводилось в среде программного комплекса *ANSIS*. 3-мерная модель ротационного рабочего органа горизонтального типа создавалась на базе программы *ProEngineer*.

Ниже приведем результаты 3 экспериментов, смоделированных на компьютере. В первом из них рассматривалась степень влияния физико-механических свойств, таких как плотность и модуль упругости Юнга, различных пород древесины на максимальный диаметр веток, которые способен удалить ротационный рабочий орган с заданными па-

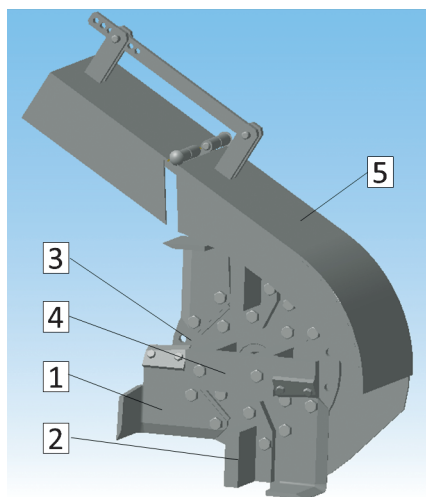


Рисунок 1. – 3-мерная модель ротационного рабочего органа горизонтального типа

раметрами. При этом частота вращения рабочего органа составляла 900 мин^{-1} . Коэффициент Пуассона поперек волокон для всех веток, участвующих в опыте, был принят равным 0,02 [4].

Второй опыт посвящен определению воздействия изменения частоты вращения ротационного рабочего органа на максимальный диаметр веток (древесных остатков), которые способен удалить ротационный рабочий орган.

Конструктивные параметры ротационного рабочего органа остались прежними и для второго опыта. Диаметр ротационного рабочего органа по периферии режущей кромки ножей составляет 600 мм, а смоделированная ветка длиной 300 мм расположена на расстоянии 380 мм от основания до центра вращения рабочего органа.

Третий опыт устанавливает зависимость смещения режущей кромки ножей ротационного рабочего органа, угла отклонения основания режущей кромки ножа от касательной (влияет на угол входа лезвия в породу, а также на концентрацию усилия резания) и максимального диаметра веток, которые способен удалить ротационный рабочий орган. Угол отклонения основания режущей кромки ножа от касательной равен $33^{\circ}29'$ при смещении режущей кромки ножа относительно осевых линий ротационного рабочего органа на 165,5 мм; $20^{\circ}54'$ и $9^{\circ}24'$ – при смещении на 107 и 49 мм соответственно (рисунок 2). При этом удар ножом о ветку происходит на расстоянии от 84 до 130 мм от земли. Частота вращения ротационного рабочего органа составляет 900 мин^{-1} в обоих случаях. Остальные параметры эксперимента соответствуют предыдущим 2 опытам.

При создании трехмерной модели, предназначенной для анализа процесса очистки мелиоративного канала от древесных остатков каналочистителем с ротационным рабочим органом горизонтального типа, учитывались физи-

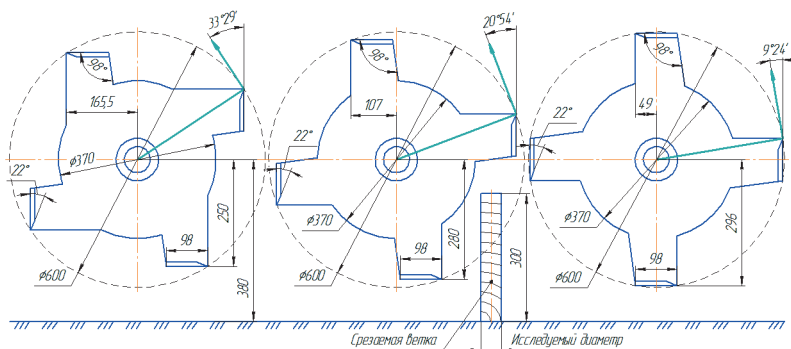


Рисунок 2. – Схема моделируемого опыта

ческие свойства различных пород древесины, наиболее часто встречающихся вдоль мелиоративных каналов (необходимые для трехмерного моделирования физические свойства материалов приведены далее, в таблице 1 [5]).

Результаты исследований

При проведении подобных опытов приходится идти на некоторые допущения и упрощения. В опытах использовалась минималистичная модель ротационного рабочего органа и срезаемых древесных остатков, в которой нож представляет собой единое целое с кронштейном и ротором, а ветка представлена в виде длинного цилиндрического прута, жестко закрепленного в основании. Это было необходимо для сокращения количества и общего упрощения исходных элементов модели, влияющих на скорость вычислений.

Принимая во внимание все допущения и упрощения, получены следующие результаты, представленные в таблице 1 (столбец, где частота вращения ротационного рабочего органа равна 900 мин^{-1}) и изображенные на рисунке 3. Рассмотрим полученные результаты первого эксперимента на примере одной из пород древесины. Ветки березы плотностью 640 кг/м^3 и при модуле Юнга $14,2 \text{ ГПа}$ срезаются ротационным рабочим органом каналоочистителя до предельного диаметра ветки в $42,1 \text{ мм}$. При значениях диаметра свыше предельных среза не происходит.

Наиболее легко срезаемыми ветками из представленных в опыте являются ивовые (тах. $\varnothing 50,8 \text{ мм}$), а наиболее тяжело срезаемыми – ветки дуба (тах. $\varnothing 42 \text{ мм}$) и березы (тах. $\varnothing 42,1 \text{ мм}$). Опыты показывают, что разница в плотности древесины не оказывает значительного влияния на срезание ветки. Рост плотности срезаемой ветки на 100 кг/м^3 всего

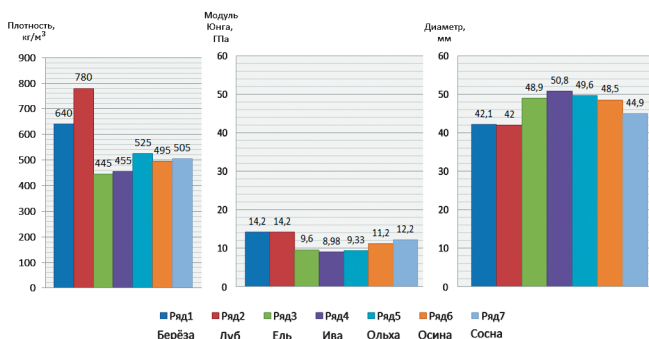


Рисунок 3. – Влияние плотности и модуля Юнга различных пород древесины на максимально срезаемый диаметр ветки

на 0,21 % уменьшает максимально срезаемый предельный диаметр древесных остатков. При уменьшении модуля Юнга ветка становится более гибкой и пластичной, тем самым увеличивается максимальный диаметр среза. Так, уменьшение модуля Юнга на 1 *ГПа* увеличивает максимально срезаемый диаметр веток на 3,83 %, что в среднем для проанализированных пород древесины составляет 1,86 *мм*.

Во втором эксперименте проводилось моделирование процесса удаления древесных остатков при различных частотах вращения ротационного рабочего органа (таблица 1). Так, ветки ивы плотностью 455 *кг/м³* и при модуле Юнга 8,98 *ГПа* при частоте вращения 700 *мин⁻¹* срезаются ротационным рабочим органом каналоочистителя до предельного диаметра ствола ветки в 48,6 *мм*, при 900 *мин⁻¹* срезаются ветки до 50,8 *мм* и при 1100 *мин⁻¹* – ветки до 53,6 *мм*. Анализ полученных данных позволяет заключить, что рост частоты вращения ротационного рабочего органа на 100 *мин⁻¹* в среднем на 2,65 % увеличивает максимально срезаемый диаметр веток древесных остатков, что для рассмотренных пород древесины составляет 1,24 *мм*.

Результаты третьего эксперимента приведены в таблице 2. По данным предшествующих опытов было известно, что ветка березы при смещении режущей кромки ножа на 165,5 *мм* от осевой линии ротационного рабочего органа срезается при значениях ее диаметра до 42,1 *мм*, свыше которого среза не происходит. Судя по полученным в ходе моделируемого эксперимента данным, та же ветка березы при смещении режущей

Таблица 1. – Влияние частоты вращения ротационного рабочего органа на максимально срезаемый диаметр веток различных пород древесины

Порода древесины	Плотность, <i>кг/м³</i>	Модуль Юнга, <i>ГПа</i>	Частота вращ. ротац. раб. орг., <i>мин⁻¹</i>		
			700	900	1100
Береза	640	14,2	41,8	42,1	42,5
Дуб	780	14,2	41,4	42	42,7
Ель	445	9,6	44,8	48,9	53,3
Ива	455	8,98	48,6	50,8	53,6
Ольха	525	9,33	45,9	49,6	53,4
Осина	495	11,2	45,2	48,5	52,9
Сосна	505	12,2	42,1	44,9	45,9
Средн. знач.	549,3	11,4	44,3	46,7	49,2
Мах.-min.	335	5,22	7,2	8,8	11,1
Отклон. средн. знач. в %			94,79	100	105,35
Мах.-min. от средн. знач. в %			5,26		5,34

Таблица 2. – Влияние смещения режущей кромки ножей ротационного рабочего органа на максимально срезаемый диаметр веток различных пород древесины

Порода древесины	Плотность, кг/м^3	Модуль Юнга, ГПа	Макс. диаметр среза, мм, при 900 мин^{-1}		
			Отклон. реж. кромки на 165,5 мм	Отклон. реж. кромки на 107 мм	Отклон. реж. кромки на 49 мм
Береза	640	14,2	42,1	43,3	45,4
Дуб	780	14,2	42	43,17	45,26
Ель	445	9,6	48,9	50,4	51,3
Ива	455	8,98	50,8	51,7	52,6
Ольха	525	9,33	49,6	50,9	51,8
Осина	495	11,2	48,5	48,9	49,9
Сосна	505	12,2	44,9	45,8	46,7
Средн.знач.	549,3	11,4	46,7	47,6	48,9
			100 %	102,4 %	104,7 %

кромки ножа уже на 107 мм от осевой линии может быть срезана до предельного значения диаметра ствола в 43,3 мм, а при смещении режущей кромки ножа на 49 мм – до диаметра в 45,4 мм. Так, смещение режущей кромки ножа относительно осевой линии ротационного рабочего органа каналаочистителя на 100 мм увеличивает максимально срезаемый диаметр ветки на 4,03 %, что в среднем для проанализированных пород древесины составляет 1,92 мм диаметра.

Таким образом, можно заключить, что наибольшее влияние на максимально срезаемый диаметр веток различных пород древесины оказывает смещение режущей кромки ножа относительно осевой линии ротационного рабочего органа (4,03 % на 100 мм), на втором месте – модуль упругости Юнга ветки (3,83 % на 1 ГПа), затем – частота вращения ротационного рабочего органа (2,65 % на 100 мин^{-1}) и плотность ветки (0,21 % на 100 кг/м^3).

Учитывая возможность поломки ротационного рабочего органа в процессе удаления древесных остатков в виде веток различных пород древесины с диаметрами, превышающими предельно допустимые (см. табл. 1 и 2), целесообразным будет их предварительное удаление из каналов.

Заключение

1. Наиболее важными параметрами, влияющими на срез древесных остатков, встречающихся в русле мелиоративных каналов, являются: диаметр поперечного сечения ветки, коэффициент Пуассона вдоль волокон и модуль упругости Юнга, а также частота вращения ротора и

смещение режущей кромки ножа относительно осевой линии ротационного рабочего органа.

2. Для ротационного рабочего органа диаметром 600 мм, ось вращения которого расположена на расстоянии 380 мм от земли, вращающегося с частотой 900 мин⁻¹, срезающего ветки длиной до 300 мм, рост плотности срезаемой ветки на 100 кг/м³ всего на 0,21 % уменьшает максимально срезаемый диаметр древесных остатков. В то же время уменьшение модуля Юнга на 1 ГПа увеличивает максимально срезаемый диаметр веток на 3,83 %, что в среднем для проанализированных пород древесины составляет 1,86 мм.

Рост частоты окружного вращения ротационного рабочего органа на 100 мин⁻¹ увеличивает максимально срезаемый диаметр веток древесных остатков в среднем на 2,65 %, что для проанализированных пород древесины составляет 1,24 мм.

Увеличение смещения режущей кромки ножа относительно осевой линии ротационного рабочего органа на 100 мм увеличивает максимально срезаемый диаметр веток древесных остатков в среднем на 4,03 %, что для проанализированных пород древесины составляет 1,92 мм.

5. Опыты показали, что древесные остатки в виде веток различных пород древесины диаметром свыше предельно срезаемых необходимо удалять из каналов для обеспечения работоспособности ротационного рабочего органа и соблюдения требований техники безопасности.

31.08.2015

Литература

1. Государственная программа сохранения и использования мелиорированных земель на 2011–2015 годы (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 31 августа 2010 г. № 1262) / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Минск, 2007–2015. – Режим доступа: <http://mshp.minsk.by/programms/e865922d37ea479c.html>. – Дата доступа: 10.06.2015.
2. Мелиорация земель как фактор интенсификации сельского хозяйства Республики Беларусь // Дом печати [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://dompressy.by/press-centre/pres-relisy/melioratsija-zemel-kak-faktor-intensifikatsii-selskogo-xozjajstva-respubliki-belarus_i_336.html. – Дата доступа 15.08.2015 .
3. Моисеев, В.С. Таксация молодняков / В.С. Моисеев. – Л.: Леспроект, 1971. – 342 с.
4. Мажугин, Е.И. Мелиоративные машины. Основы теории и расчета: учеб. пособие / Е.И. Мажугин. – Горки: БГСХА, 2007. – 161 с.
5. Перелыгин, Л.М. Древесиноведение / Л.М. Перелыгин, Б.Н. Уголев. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 286 с.

УДК 631.331.022

А.Н. Юрин

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

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ТУННЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ШАТРОВОГО ОПРЫСКИВАТЕЛЯ ДЛЯ САДОВ ИНТЕНСИВНОГО ТИПА

Введение

Садоводство является важнейшей отраслью сельского хозяйства, которая обеспечивает население плодами и ягодами – одним из основных источников витаминов, минеральных веществ и биологически активных соединений, крайне необходимых для нормального функционирования человеческого организма. В то же время на одного жителя республики производится только 60 килограммов плодов и ягод при научно обоснованной медицинской норме 93 килограмма. В результате республика ежегодно импортирует от 300 до 600 тыс. тонн свежих яблок, груш, ягод на сумму 400–600 млн долларов США [1].

Тенденция развития садоводства показывает, что в настоящее время осуществляется переход от экстенсивных сильнорослых насаждений к интенсивным насаждениям на слаборослых клоновых подвоях. Они раньше вступают в плодоношение, имеют малогабаритную крону, удобную для ухода и сбора урожая, формируют высококачественные плоды, экономическая эффективность производства в таких садах выше в 1,5–2 раза [2].

В настоящий момент в сельскохозяйственных организациях республики имеется 20 тыс. га плодово-ягодных насаждений интенсивного типа.

Важным агротехническим приемом по уходу за садом является защита деревьев от вредителей и болезней. За один сезон количество химических обработок в садах может проводиться 10–17 раз [3].

Химические средства защиты растений гарантируют высокую эффективность в борьбе с вредителями и болезнями, защиту урожая, но в то же время большинство из них ядовито для человека и животных, полезных насекомых и птиц. Поэтому широкое применение химических средств имеет свои отрицательные стороны. Очевидно, что необходимо стремиться к минимизации применения химических средств защиты.

Основная часть

Известно, что борьба с вредителями и болезнями плодовых деревьев и кустарников в садах может принести пользу, если ее проводить одновременно на всех участках. Разрозненные меры защиты сада менее эффективны, так как бабочки и жуки перелетают, гусеницы переползают, клещи переносятся ветром на здоровые деревья и кустарники. Поэтому

время проведения операции химической защиты плодовых деревьев в саду ограничено 3 сутками. Этот фактор обуславливает потребность крупных хозяйств в большом количестве опрыскивателей.

В настоящее время для обработки садов рабочими растворами ядохимикатов применяются вентиляторные опрыскиватели как отечественного, так и импортного производства (рисунки 1–3). Однако такие опрыскиватели имеют много недостатков [4, 5].

Вредное воздействие ветра на объем и проникновение жидкости для опрыскивания при применении опрыскивателей вентиляторного типа является общеизвестной помехой в правильном проведении процедуры обработки садов. Единственная возможность снижения вредного воздействия ветра в данном случае – выбор времени, когда ветра нет. Иногда из-за сильного ветра даже опрыскивание ночью оказывается невозможным. Очень часто промежутки времени без ветра приходится долго ждать, а поздняя процедура опрыскивания иногда причиняет убытки, значительно более высокие, чем цена нового опрыскивателя.

Итогом функционирования таких опрыскивателей является то, что потери рабочего раствора на почву и в атмосферу достигают от 90 % до 30 %, в зависимости от периода обработки, что существенно увеличивает вредное воздействие на окружающую среду. При весенних обработках потери достигают максимальных величин и постепенно снижаются по мере развития и увеличения листостебельной массы растений. Возникающее облако из мелкодисперсного раствора ядохимикатов при работе вентиляторных опрыскивателей может достигать расположенных рядом жилищно-бытовых построек и зон отдыха людей.

Устранить вышеуказанные недостатки существующей технологии химической обработки садов возможно за счет создания и внедрения в производство новых технологий, в частности опрыскивания с помощью шатровых опрыскивателей. При работе таких опрыскивателей обработка



Рисунок 1. –
**Опрыскиватель
«ЗУБР ПВ» фирмы
ООО «СелАгро»**



Рисунок 2. –
**Опрыскиватель
«Мекосан-2000-В2»
фирмы ОАО «Мекосан»**



Рисунок 3. –
**Опрыскиватель Rall
2000 С фирмы Rall,
производство УП «АЗАТ»**

растений осуществляется в закрытой камере. На растениях остается то количество рабочего раствора, которое может удержать листостебельный аппарат растения и его плоды. Капли рабочего раствора, не осевшие на растениях, улавливаются специальными устройствами и возвращаются обратно в основной бак опрыскивателя.

За рубежом производством садовых опрыскивателей туннельного типа занимаются производители сельскохозяйственной техники из Италии, Польши, Голландии и других стран.

Польская фирма Krukowiak, производящая машины и приспособления для сельского хозяйства, предлагает широкий ассортимент опрыскивателей, в том числе туннельных (рисунок 4).

Голландская фирма Munckhof производит шатровый опрыскиватель Wine Tunnel (рисунок 5).

Немецкая компания Lipco – крупнейший производитель шатровых опрыскивателей в Западной Европе. В ассортименте выпускаемой продукции – туннельные опрыскиватели для возделывания винограда, фруктов, хмеля, роз и других культур, отличающиеся экономией на затратах и удовлетворяющие экологическим требованиям по защите растений. Компания выпускает машины одно-, двух-, трех- и четырехрядного исполнения (рисунок 6).

Таким образом, необходимость разработки и внедрения в производство опрыскивателя туннельного типа, позволяющего уменьшить расход гербицида и снизить пестицидную нагрузку на окружающую среду, является актуальной агроинженерной задачей в республике.

Для ее решения с 2014 года в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» ведутся работы по созданию туннельных опрыскивателей.



Рисунок 4. – Садовый шатровый опрыскиватель Ekosad-Tunnel



Рисунок 5. – Опрыскиватель Wine Tunnel в работе



Рисунок 6. – Двухрядный шатровый опрыскиватель Lipco

Для определения рациональных параметров туннельного опрыскивателя в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» была разработана КД и изготовлен макетный образец шатрового устройства туннельного опрыскивателя (рисунок 7).



а) вид спереди слева; б) вид справа; в) вид спереди справа

Рисунок 7. – Внешний вид макетного образца туннельного устройства шатрового опрыскивателя для садов интенсивного типа

Шатровое устройство туннельного опрыскивателя представляет собой рамную конструкцию порталного типа, оснащенную двумя коробами с установленными в них всасывающими вентиляторами (по два в каждом коробе). Устройство приводится в движение посредством лебедки и передвигается вдоль ряда деревьев. В верхней части рамы установлен кронштейн, позволяющий регулировать ширину туннеля в диапазоне от 700 до 1200 мм. Шатровое устройство оборудовано баком на 20 литров для химического раствора, насосом, регулятором давления, фильтром, шестью распылителями и соединительными трубопроводами. В нижней части устройства предусмотрен поддон для сбора стоков не осевшей на растения жидкости.

Краткая техническая характеристика шатрового устройства туннельного шатрового опрыскивателя приведена в таблице 1.

Таблица 1. – Краткая техническая характеристика туннельного устройства

Наименование показателя	Значение показателя
Привод	электрический
Рабочая ширина захвата на культурах, м	0,7–1,2
Основная ширина междурядий, на которые рассчитан опрыскиватель, м	не менее 3,0
Потребляемая мощность, кВт	1,35 ± 0,2
Рабочая скорость на обработке культур, км/ч	2–7
Габариты опрыскивателя в рабочем положении, мм:	
– длина	1650
– ширина	2600
– высота	1580
Насос:	
– тип и марка	W2 750
– число насосов, шт.	1
– потребляемая мощность, кВт	0,75
– максимальное рабочее давление, МПа	0,78
– производительность при максимальном давлении, л/мин	48
Вентилятор (воздушный нагнетатель):	
– тип и марка	МПЕК 3.120.000
– число вентиляторов, шт.	2
– частота вращения рабочего колеса, с ⁻¹	3200
– потребляемая мощность, кВт	0,3х2
Струеобразующее устройство:	
– тип и форма сопла	конусное
– число сопел, шт.	6
– пределы регулировки угла установки сопла к горизонту, град.	0–30
– расход жидкости через распылитель (сопло), дм ³ /мин	не более 4,2

Для определения рациональных параметров и режимов работы туннельного опрыскивателя были проведены экспериментальные исследования функционирования макетного образца шатрового устройства.

Метеорологические условия (температуру и относительную влажность воздуха, скорость ветра и направление ветра по отношению к движению машины) определяли по ГОСТ 20915.

Рельеф и микрорельеф поля, влажность и твердость почвы определяли по ГОСТ 20915.

Густоту покрытия и дисперсность распыла жидкости опрыскивателями определяли при лабораторно-полевых исследованиях.

В качестве рабочей жидкости используется одно- или двухпроцентный водный раствор красителя черного.

Густоту покрытия и дисперсность распыла определяли на карточках из мелованной бумаги, обработанных пятипроцентным раствором парафина в толуоле (ортоксилале) для уменьшения растекания улавливаемых капель.

Перед проведением опытов учетные карточки размещали по следующей схеме в зависимости от сельскохозяйственных культур:

- на макетах высокорослых плодовых культур – в трех ярусах по высоте дерева (верхнем, среднем, нижнем), в трех зонах по глубине (наружной, средней, внутренней) для нижнего и среднего ярусов, а в верхнем ярусе – в двух зонах (наружной и внутренней). В каждой зоне яруса размещали по четыре карточки во взаимно перпендикулярных плоскостях по схеме (рисунок 8). Размещение зон: внутренняя – 0,5 м от ствола, средняя – делит пополам расстояние между наружной и внутренней зонами. Всего развешивали 32 карточки размерами 50х70 мм;

- на макетах кустов виноградов и деревьев пальметтного сада развешивали 14 карточек размерами 50х70 мм каждая по схеме, показанной на рисунке 9.

Для обеспечения в камере опрыскивателя необходимой плотности распыленного вещества, которая может дать нужную густоту покрытия листьев, рабочее давление и размеры отверстий распылителей подбирались такими, чтобы подать значительно больше нормы вылива. При установленной норме вылива 600 л/га фактически полученная норма вылива составляет 553,8 л/га. Отклонение фактической нормы вылива от заданной – 7,7 %. По результатам измерения, фактическое отложение рабочего раствора на поверхность кустов составляет 147 л/га, или 26,5 % от установленной нормы. Однако, поскольку рабочие камеры опрыскивателя оснащены системой улавливания, 70,5 % рабочего раствора возвращается



Рисунок 8. – Схема размещения карточек на макетах деревьев



Рисунок 9. – Схема размещения карточек на моделях кустов

в бак опрыскивателя и только 3 % от внесенной нормы вылива теряется на почву и в окружающую среду (таблица 2).

Густота покрытия поверхности куста (количество капель больше 30 шт./см²) составила 92,8 %. Медианно-массовый диаметр капель – в пределах нормы и составляет 475 мкм.

Таблица 2. – Агротехнические показатели работы макетного образца шатрового устройства туннельного опрыскивателя

Наименование показателя	Значение
Неравномерность вылива жидкости между распылителями, %	6,03
Норма вылива рабочей жидкости через распылители, л/га:	
– установленная	600
– фактически полученная	553,8
– отклонение фактически полученной нормы вылива от установленной, %	7,7
Отложение препарата на листостебельной массе, л/га	147
Количество препарата, который возвращен на регенерацию:	
– л/га	390,2
– %	70,5
Потери препарата на почву и испарение:	
– л/га	16,6
– %	3
Густота покрытия обработанной поверхности каплями (не меньше 30 шт./см), %	92,8

При этом расход топлива составил 1,55–1,79 кг/га.

Расчет экономической эффективности показал, что применение туннельного опрыскивателя позволяет получить годовой экономический эффект в размере 75451 тыс. руб., срок окупаемости капитальных вложений – 0,53 года (таблица 3).

Таблица 3. – Показатели экономической эффективности туннельного опрыскивателя

Наименование показателя	Значение		
	базовый вариант	новый вариант	эффект
Прямые эксплуатационные расходы, тыс. руб./га	1973,04	607,82	1365,22
Приведенные затраты, тыс. руб./га	1998,93	627,08	1371,85
Удельные капвложения, тыс. руб./га	172,64	128,4	44,24
Годовой экономический эффект, тыс. руб.	–	75451,75	–
Срок окупаемости, лет	–	0,53	–

Заключение

Проведенные экспериментальные исследования показали актуальность создания и применения садовых опрыскивателей туннельного типа, позволяющих экономить до 70 % рабочего раствора при выполнении агротехнических требований к обработке садов интенсивного типа.

12.08.2015

Литература

1. Мерджаниан, А.С. Виноградарство / А.С. Мерджаниан. – Изд. 3-е. – М.: Колос, 1967. – 464 с.
2. Виноградарство Крыма / А.П. Дикань [и др.]. – Симферополь: Бизнес-Информ, 2001. – 408 с.
3. Догода, А.П. Состояние и перспективы развития машин для безопасной технологии химической защиты многолетних насаждений / А.П. Догода // Наукові праці Південного філіалу Національного Університету біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет». Технічні науки. – Симферополь, 2009. – Вип. 122. – С. 121–126.
4. Энциклопедия виноградарства: в 3 т. / Под. ред. А.И. Тимуш. – Кишинев: Гл. ред. Молдавской сов. энциклопедии, 1987. – Т. 3. – 552 с.
5. Козарь, И.М. Справочник по защите винограда от болезней, вредителей и сорняков / И.М. Козарь. – К.: Урожай, 1990. – 205 с.

УДК 637.118

В.К. Клыбик, М.В. Колончук

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

В.М. Колончук,

Ф.Д. Сапожников, Г.Г. Тычина

(УО «БГАТУ», г. Минск, Республика Беларусь)

ФАКТОРЫ

КОРОБЛЕНИЯ

ЛОПАТОК

ВОДОКОЛЬЦЕВЫХ

ВАКУУМНЫХ

НАСОСОВ

Введение

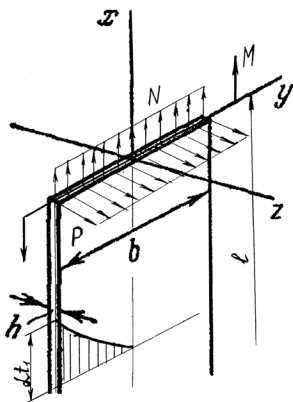
Наряду с другими параметрами, производительность водокольцевого вакуумного насоса определяется числом и формой лопаток. Практически для насосов производительностью от 3 до $10 \text{ м}^3/\text{мин}$ число лопаток принимается от 8 до 24. Большее число лопаток снижает перепад давления между соседними ячейками, перетекание сжатого воздуха со стороны нагнетания во всасывающую сторону, описываемый объем ротора за счет их толщины и момент, изгибающий лопатку, и увеличивает потери на трение лопаток о жидкостное кольцо. Меньшее число лопаток увеличивает перепад давления между соседними ячейками и перетекание сжатого воздуха со стороны нагнетания на всасывающую сторону, а также момент, изгибающий лопатку. Поэтому желательно применять большее число тонких лопаток. Однако тонкие лопатки теряют устойчивость. Число лопаток влияет на их толщину. Коэффициент ψ литых колес, учитывающий влияние толщины лопаток, меньше, чем сварных. Для литых роторов $\psi = 0,65 \dots 0,85$, для сварных роторов с лопатками из листовой стали обычно $\psi > 0,85$.

Цель работы – определить условия, при которых имеет место потеря устойчивости тонких лопаток.

Основная часть

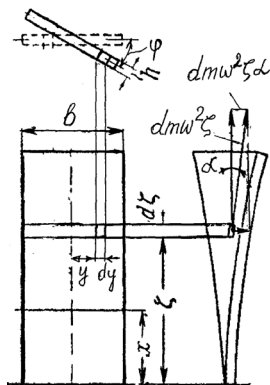
Потерю устойчивости лопаток насосов определяют следующие факторы (рисунок 1). Во-первых, изгибающий момент от гидродинамического сопротивления жидкостного кольца. Во-вторых, влияние температурного перепада по длине ротора. Можно считать, что длинная лопатка вакуумного насоса нагревается равномерно по длине l и толщине h , но неравномерно по ширине b . В-третьих, влияние центробежных сил – от осевой растягивающей силы P , действующей одновременно с крутящим моментом.

Полагая, что некоторое сечение, расположенное на расстоянии ζ от оси, повернулось в результате закручивания лопатки на угол φ (рисунок 2),



P – касательная сила; N – центробежная сила;
 M – момент; α_1 – температурное удлинение;
 l – длина лопатки; h – толщина; b – ширина

Рисунок 1. – Факторы потери устойчивости лопатки



$dm\omega^2\zeta\alpha$ – поперечная составляющая;
 $dm\omega^2\zeta$ – инерционная сила;
 h – минимальная ширина; L – длина

Рисунок 2. – Схема определения критической угловой скорости

выделим из лопатки элемент $d\zeta dyh$, расположенный на расстоянии y от оси лопатки. При повороте сечения на угол φ элементарная инерционная сила $dm\omega^2\zeta$ даст поперечную составляющую $dm\omega^2\zeta\alpha$.

Тогда крутящий момент в сечении x определится по элементарному закручивающему моменту этой силы (dM) и удельному весу материала лопатки (γ):

$$\left\{ \begin{array}{l} dM = dm\omega^2\zeta y; \\ dm = \frac{\gamma}{g} h d\zeta dy; \\ \alpha = \varphi \frac{y}{\zeta}; \\ M = \int_{-b/2}^{+b/2} \int_0^l \frac{\gamma}{g} h \omega^2 \varphi y^2 dy d\zeta; \end{array} \right. \rightarrow M = \frac{\gamma}{g} \frac{b^3 h}{12} \omega^2 \int_0^l \varphi d\zeta.$$

Нормальная сила в том же сечении определится интегрированием выражения

$$\omega^2\zeta dm = \frac{\gamma}{g} \omega^2 h \zeta d\zeta dy,$$

что дает:

$$N = \int_{-b/2}^{+b/2} \int_0^l \frac{\gamma}{g} \omega^2 h \zeta d\zeta dy = \frac{\gamma}{g} \frac{\omega^2 b h}{2} (l^2 - x^2).$$

Из условий закручивания лопатки имеем:

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{M_{kp}}{C},$$

где C – жесткость на кручение.

Если бы лопатка закручивалась без растяжения (рисунок 3), то тогда в пределах малых перемещений между удельным углом закручивания θ и моментом M существовала бы зависимость $\theta = \frac{3M}{bh^3G}$. То есть жесткость на кручение была бы равной $\frac{1}{3}bh^3G$. При повороте торцевого сечения нормальные напряжения $\frac{P}{bh}$ от действия растягивающей силы P сохраняют направление продольных волокон закручиваемой лопатки. Проекции этих напряжений на плоскость, перпендикулярную оси лопатки, равны

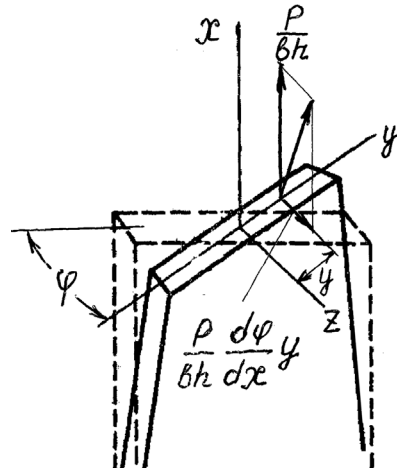


Рисунок 3. – Влияние растягивающей силы на кручение лопатки

$$-\frac{P}{bh} \frac{d\varphi}{dx} y = \frac{P}{bh} \theta y.$$

Эти напряжения дают дополнительный крутящий момент

$$M_p = \int_{-b/2}^{+b/2} \frac{P}{bh} \theta y^2 h dy = P\theta \frac{b^2}{12}.$$

Присоединяя этот момент к моменту, создаваемому касательными напряжениями, находим

$$M = C_0\theta + P\theta \frac{b^2}{12} = \theta \left(C_0 + \frac{Pb^2}{12} \right).$$

Жесткость на кручение растягиваемой лопатки равна жесткости нерастягиваемой лопатки плюс величина $\frac{Pb^2}{12}$. Последняя величина в данном случае зависит от силы N :

$$C = \frac{1}{3}bh^3G + \frac{Nb^2}{12} \rightarrow C = \frac{1}{3}bh^3G + \frac{y}{g} \frac{b^3h}{24} \omega^2 (l^2 - x^2).$$

Теперь получим $\frac{d\varphi}{dx}C = \frac{y}{g} \frac{b^3 h}{12} \omega^2 \int_x^l \varphi d\zeta$. Дифференцируем обе части этого уравнения по x :

$$\frac{d}{dx} \left(C \frac{d\varphi}{dx} \right) = - \frac{y}{g} \frac{b^3 h}{12} \omega^2 \varphi.$$

Но из выражения для C следует:

$$- \frac{y}{g} \frac{b^3 h}{12} \omega^2 = \frac{1}{x} \frac{dC}{dx}.$$

Поэтому

$$x \frac{d}{dx} \left(C \frac{d\varphi}{dx} \right) = \frac{dC}{dx} \varphi.$$

Независимо от вида функции C , решением этого уравнения будет

$$\varphi = x \left[A \int \frac{dx}{x^2 C} + B \right] \rightarrow \varphi = x \left[A \int \frac{dx}{\left[\frac{1}{3} b h^3 G + \frac{y}{g} \frac{b^3 h}{24} \omega^2 (l^2 - x^2) \right] x^2} + B \right] \rightarrow$$

$$\rightarrow \begin{cases} \varphi = \frac{A}{p} \left(-1 + \frac{k}{2} x \ln \frac{1+kx}{1-kx} \right) + Bx; \\ p = \frac{1}{3} b h^3 G + \frac{y}{g} \frac{b^3 h}{24} \omega^2 l^2; \\ k^2 = \frac{1}{p} \frac{y}{g} \frac{b^3 h}{24} \omega^2, \end{cases}$$

где A и B – произвольные постоянные.

При $x = 0$ $\varphi = 0$, откуда $A = 0$. Далее, при $x = l$ имеем $M_{kp} = 0 \left(\frac{d\varphi}{dx} = 0 \right)$, и тогда $B = 0$. Следовательно, лопатка остается прямой при любой угловой скорости ω ротора.

Осевое напряжение лопатки из-за температурного градиента выражается через осевые удлинения, представленные в виде линейной функции y (рисунок 1):

$$\sigma_x = E(\varepsilon_x - \alpha t) \rightarrow \sigma_x = E(\varepsilon_o + \chi y - \alpha t),$$

где χ – изменение кривизны лопатки в плоскости xu ;
 αt – температурное удлинение.

Так как нормальная сила в сечении и изгибающий момент M_x равны нулю, то, учитывая соотношение $dF = hdy$, получим:

$$\int_F \sigma_x dF = 0 \rightarrow \int_{-b/2}^{+b/2} (\varepsilon_o + \chi y - \alpha t) dy = 0 \rightarrow \varepsilon_o b - \int_{-b/2}^{+b/2} \alpha t dy = 0 \rightarrow \varepsilon_o = \frac{1}{b} \int_{-b/2}^{+b/2} \alpha t dy ;$$

$$\int_F \sigma_x y dF = 0 \rightarrow \int_{-b/2}^{+b/2} (\varepsilon_o + \chi y - \alpha t) y dy = 0 \rightarrow \chi \frac{b^3}{12} - \int_{-b/2}^{+b/2} \alpha t y dy = 0 \rightarrow \chi = \frac{12}{b^3} \int_{-b/2}^{+b/2} \alpha t y dy .$$

При возникновении крутки напряжения σ_x образуют момент относительно оси x (рисунок 4), равный

$$M_x = \int_F \frac{y d\varphi}{dx} \sigma_x y dF = 0 \rightarrow M_x = \frac{d\varphi}{dx} \int_F \sigma_x y^2 dF = 0.$$

Кроме того, при закручивании в лопатке возникает момент касательных напряжений, равный, как известно, $M_\tau = \frac{1}{3} b h^3 G \frac{d\varphi}{dx}$. Коэффициент

пропорциональности μ (абсолютную величину отношения относительной поперечной и продольной деформаций) принято называть коэффициентом Пуассона, который также может рассматриваться как характеристика упругих свойств материала, устанавливаемая экспериментально. Средняя величина коэффициента Пуассона для стали углеродистой и легированной составляет 0,24...0,33 [1]. Величину

$\frac{E}{2(1+\mu)}$ называют модулем сдвига и обо-

значают буквой G : $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$.

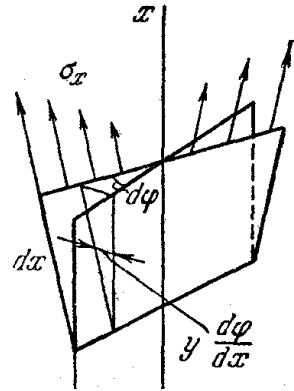


Рисунок 4. – Схема осевых напряжений пластины по температурному градиенту

Сумма этих моментов равна нулю, поэтому, исключая ε_o , получим условие перехода к новой форме равновесия:

$$\frac{1}{3} b h^3 G + \int_F \sigma_x y^2 dF = 0 \rightarrow - \int_{-b/2}^{+b/2} (\varepsilon_o + \chi y - \alpha t) y^2 dy = \frac{b h^2}{6(1+\mu)} \rightarrow$$

$$\rightarrow - \frac{1}{b} \int_{-b/2}^{+b/2} \alpha t y^2 dy - \frac{12}{b^3} \int_{-b/2}^{+b/2} \alpha t y^3 dy + \int_{-b/2}^{+b/2} \alpha t y^2 dy = \frac{b h^2}{6(1+\mu)} \rightarrow \int_{-b/2}^{+b/2} \alpha t \left(y^2 - \frac{b^2}{12} \right) dy = \frac{b h^2}{6(1+\mu)},$$

где μ – коэффициент Пуассона.

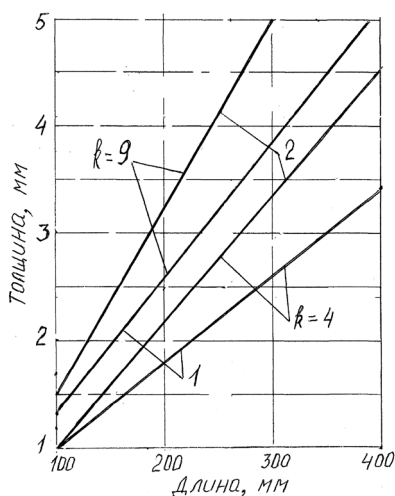
Линейный закон распределения $\alpha t = A + By$ температурных удлинений вдоль оси y , обращая в нуль левую часть выражения при любых значениях A и B , свидетельствует об отсутствии новой формы равновесия при линейном распределении температуры. Другие формы распределения температурных удлинений вдоль оси y вызывают коробление лопатки. Например, распределение температурных удлинений на левой половине по квадратичному закону $\alpha t = \frac{k\alpha t_1}{b^2} y^2$ (рисунок 5) свидетельствует о потере формы устойчивости

тонкими лопатками при более низкой температуре (рисунок 5).

$$\int_{-b/2}^{+b/2} \frac{k\alpha t_1}{b^2} y^2 \left(y^2 - \frac{b^2}{12} \right) dy = \frac{bh^2}{6(1+\mu)} \rightarrow \alpha t_1 = \frac{60}{k(1+\mu)} \frac{h^2}{b^2} \rightarrow h = b \sqrt{\frac{k(1+0,22)\alpha t_1}{60}} \rightarrow h = \frac{b}{7} \sqrt{k\alpha t_1}.$$

Принимая $k = 4$, температурный коэффициент линейного расширения углеродистой стали $\alpha = (10...17) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, а чугуна – почти $\alpha = (9...11) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, максимальную температуру $t_1 = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$, находим, что минимальная толщина стальной или чугунной лопатки составляет 1 мм для лопатки длиной 100 мм (рисунок 5).

Условия существования других возможных форм равновесия отображает лопатка, которая выпучилась и вышла из плоскости начального изгиба (рисунок 6). Обозначим через z боковое перемещение оси



1 – чугунная; 2 – стальная

Рисунок 5. – Минимальная толщина лопатки

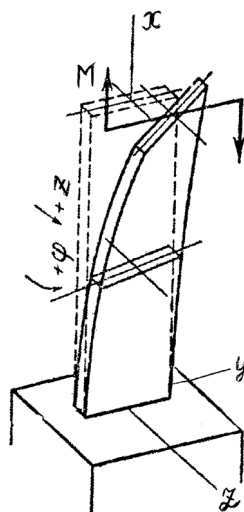


Рисунок 6. – Схема определения формы равновесия при действии момента

лопатки, а через φ – угол поворота сечения относительно оси x . В отклоненном положении в сечениях лопатки в плоскости минимальной жесткости возникает изгибающий момент. Этот момент равен $M\varphi$ и направлен в сторону увеличения кривизны лопатки. Крутящий момент, возникающий в сечении искривленной лопатки, равен Mz' и направлен так, что стремится уменьшить угол φ . Следовательно,

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{изг} = +M\varphi; \\ M_{к} = -Mz'; \\ M_{изг} = EJz''; \\ M_{к} = GJ_T\varphi'; \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} EJz'' = M\varphi; \\ GJ_T\varphi' = -Mz'; \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \varphi = A\sin\alpha x + B\cos\alpha x; \\ z = -\frac{GJ_T}{M}(A\sin\alpha x + B\cos\alpha x) + C; \\ \alpha^2 = \frac{M^2}{EJGJ_T}, \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} J = \frac{bh^3}{12}; \\ J_T = \frac{bh^3}{3}; \end{array} \right.$$

где A , B и C – произвольные постоянные, которые определяются из следующих условий: при $x = 0$ имеем $\varphi = 0$, $z = 0$, $z' = 0$.

Тогда получаем: $B = 0$, $-\frac{GJ_T}{M}B + C = 0$, $A = 0$.

Так как $A = B = C = 0$, то отсюда следует, что при любых конечных значениях момента M форм равновесия, отличных от плоской формы изгиба, не существует.

Заключение

Угловая скорость ротора водокольцевого вакуумного насоса и линейное распределение температуры по длине лопатки не являются причинами ее коробления. В то же время нелинейное распределение температурного градиента по длине лопатки ротора – один из факторов ее коробления. Чем относительно тоньше лопатка, тем при более низкой температуре происходит потеря устойчивости (коробление). Лопатка, изготовленная из более теплопроводного материала, подвержена в большей степени температурному короблению. Минимальная толщина лопатки ротора, изготовленной из углеродистой стали, составляет 1 мм, а из чугуна – 2 мм. Изгибающий момент от гидродинамического сопротивления жидкостного кольца вызывает изгиб лопатки.

19.10.2015

Литература

1. Гастев, В.А. Краткий курс сопротивления материалов / В.А. Гастев. – Москва: Физматлит, 1959. – 424 с.: ил.

УДК 637.116:621.65

**В.М. Колончук,
Ф.Д. Сапожников, Г.Г. Тычина**

*(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

В.К. Клыбик, М.В. Колончук

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

БЕССМАЗОЧНЫЙ ПЛАСТИНЧАТЫЙ ВАКУУМНЫЙ НАСОС ДЛЯ УСТАНОВОК ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЕНИЯ КОРОВ

Введение

В настоящее время многие фирмы изготавливают насосы с прессованными графитовыми пластинами высокой прочности. Графитовые пластины успешно работают в вакуумных насосах, если точка росы всасываемого воздуха не опускается ниже 0 °С. Коэффициенты трения пластин из графитовых материалов по цилиндру и пазам ротора остаются постоянными в диапазоне изменения окружной скорости пластины до 13 м/с. Так, для марок АО-1500, ПК-0 и 2П-1000 они равны 0,2 при всасывании воздуха с точкой росы не ниже 0 °С. Материал пластин химически стоек, не впитывает воду. Износ графитовых пластин (в зависимости от марки графита) составляет 0,2—0,5 мм за 1000 ч работы. Характерной особенностью работы пластин из графитовых материалов при умеренных окружных скоростях является отсутствие износа цилиндра, так как частички графита вкрапливаются в неровности металлического цилиндра и на поверхности цилиндра образуется тонкая графитовая пленка, по которой скользят пластины. Специфика проектирования вакуумных насосов малой производительности для доильных установок индивидуального доения коров состоит в том, что их основные детали (корпус и ротор) имеют малые размеры — до 100...120 мм. Опытный образец пластинчатого вакуумного насоса производства ОАО «Завод Промбурвод» АВС-610 быстро нагревался, снижая быстроту действия.

Цель работы — выявление причин недостаточной надежности насоса.

Основная часть

Нами проведен анализ конструктивных параметров насоса (таблица 1). Значение эксцентриситета принимают равным $e = (0,095...0,17)R$.

В насосах с тангенциальными пластинами отношение их ширины к эксцентриситету $h/e = 5,0...6,6$. У рассматриваемого насоса эта величина составляет 4,5. При значении $R = 52,5$ мм эксцентриситет составляет от 5 до 9 мм. При значении $h = 45$ мм эксцентриситет составляет от 5 до 7 мм. Принятый эксцентриситет (10 мм) насоса завышен исходя из обоих пока-

зателей. Тем самым повышена производительность насоса. Однако чрезмерное значение эксцентриситета увеличивает потери на трение пластин в пазах ротора, и возрастают угол между радиусом цилиндра и направлением паза, а также изгибающий момент, действующий на пластину, затрудняя ее движение по пазу ротора. Меньшее значение эксцентриситета рекомендуется для насосов, имеющих большое отношение давлений (к ним относятся и доильные установки). Значение эксцентриситета 10 мм завышено. Рекомендуется эксцентриситет, равный 7 мм.

Таблица 1. – Фактические геометрические параметры и фазы воздухораспределения вакуумного насоса ABC-610 для индивидуального доения коров

Параметры	Фактические
Диаметр корпуса, мм	105
Диаметр ротора, мм	85
Эксцентриситет, мм	10
Производительность геометрическая, $\text{м}^3/\text{ч}$	39
Коэффициент откачки	0,5...0,7
Производительность номинальная, $\text{м}^3/\text{ч}$	18...27
Угол обратного расширения δ_2	40°
Угол всасывания $\alpha_{\text{вс}}$	60°
Полный угол всасывания	100°
Угол между нижней кромкой впускного окна и биссектрисой δ_1	80°
Угол сжатия $\varphi_{\text{сж}}$	80°
Полный угол сжатия $\alpha_{\text{п}}$	170°
Угол нагнетания $\alpha_{\text{наг}}$	100°
Угол выпуска α	60°
Угол сжатия защемленного объема δ_3	40°
Угол вредного пространства δ	80°

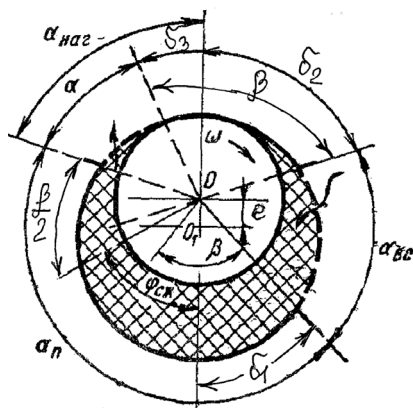
При конструировании вакуумных насосов практическое значение имеет правильный выбор отношения l/d длины ротора к его диаметру. Границы этого соотношения для вакуумных насосов, предназначенных для работы с доильными установками, составляют $l/d = 0,5...1,8$. Например, отношение $l/d = 1,0$, рекомендуемое для вакуумных насосов производительностью 40 $\text{м}^3/\text{ч}$, окупается меньшей металлоемкостью и эффективностью процесса выталкивания воздуха из ячеек ротора. Большие значения отношения затрудняют процесс выталкивания воздуха из ячеек в полость нагнетания и увеличивают металлоемкость вакуумного насоса. При большой частоте вращения ротора сжатый воздух во время выталкивания не успевает весь выходить в нагнетательный трубопровод и перетекает во всасывающую полость насоса, уменьшая коэффициент подачи. Кроме

того, с увеличением отношения l/d увеличивается вероятность защемления пластины в пазу ротора. При выборе отношения для вакуумных насосов малой производительности нужно придерживаться нижнего предела. Однако уменьшение длины ротора повышает величину утечек в торцах ротора. Принятая длина ротора (70 мм) укладывается в требуемые границы.

Большое значение имеют фазы воздушораспределения (рисунок 1). Угол δ в зоне заземленного объема колеблется в больших пределах. При $z < 10$ угол вредного пространства рекомендуют принимать равным $(1,0-2,5) \beta$. То есть фактически от 40 до 90° . Этот угол равен сумме двух углов δ_2 и δ_3 . При угле δ_2 совершается процесс расширения воздуха, перенесенного из полости нагнетания, а δ_3 – угол сжатия воздуха в заземленном объеме в момент нагнетания. Углы δ_2 и δ_3 выбираются из конструктивных соображений, а имеющиеся рекомендации по данному вопросу относятся к насосам с большим числом пластин $z = 20-30$ и не могут быть использованы для вакуумных насосов доильных установок с малым числом пластин $z = 4$.

Угол δ_2 влияет на температурный режим насоса. Малое значение этого угла (менее 30°) снижает производительность насоса примерно на 8 %. При увеличении угла (более 90°) уменьшается температура нагрева корпуса насоса, но повышается потребляемая мощность. Рекомендуется принимать угол обратного расширения $\delta_2 = \beta/2$. Величина угла δ_3 принимается равной $5\text{--}25^\circ$ при любом числе пластин (рисунок 2). Этот угол в зоне заземления мало влияет на производительность насоса, так как в момент разобобщения полости насоса с нагнетательным окном воздух вытекает через зазоры, давление заземленного объема резко падает.

В вакуумных насосах с малой частотой вращения нижнюю кромку всасывающего окна целесообразно располагать так, чтобы угол $\delta_1 = \beta/2$. Такое конструктивное решение способствует разобцению ячейки со всасывающим патрубком в момент достижения ячейкой своего максимального объема. В вакуумных насосах с большой частотой вращения угол $\delta_1 = \beta/2$ должен быть несколько меньше (с запаздыванием). Изменение угла δ_1 в пределах $37\text{--}43^\circ$ мало влияет на быстроту действия насоса.



**Рисунок 1. – Фазы
воздухораспределения вакуумного
насоса**

Поэтому угол δ_1 целесообразно выбирать на $3-5^\circ$ меньше, чем $\beta/2$, так как при этом происходит более полное наполнение ячеек воздухом и имеет место запаздывание процесса всасывания.

Полный угол сжатия α_n характеризует угол поворота ротора относительно корпуса насоса от точки конца всасывания до начала нагнетания (рисунок 2). Оптимальное значение угла α_n зависит от конструктивных особенностей насоса, монтажных зазоров и системы смазки. Меняется полный угол сжатия α_n в интервале $137-165^\circ$ и, соответственно, угол сжатия ($\varphi_{сж} = 47-75^\circ$). Положение верхней кромки нагнетательного окна определяют по приближенной зависимости:

$$\alpha_n = \delta_1 + \varphi_{сж} + \frac{\pi}{z} + \frac{e}{R}\psi \rightarrow \alpha_n = 40^\circ + 70^\circ + 45^\circ + 5^\circ = 160^\circ,$$

где ψ – угол наклона пластины.

Форма и сечение впускных и выпускных окон, а также их размещение на корпусе оказывают существенное влияние на конструктивно-энергетическую характеристику насоса и, в частности, на избыточное давление в насосе, необходимое для выталкивания воздуха в атмосферу. Форму окон часто выбирают из технологических соображений, без учета других факторов. Овальная, прямоугольная или в виде канала в боковых крышках форма окон выгодна только с точки зрения технологии изготовления, но не преимуществ рабочего процесса выталкивания воздуха в атмосферу. Площадь проходного сечения впускного окна в вакуумных насосах доильных установок принята в 1,5–2 раза больше площади сечения выпускного окна и в 2–4 раза больше площади сечения впускного патрубка.

Приработка пластин завершается тогда, когда профиль верхней кромки пластины принимает определенную форму (рисунок 3) – дуговой периферийной кромки, радиус и положение центра которой определяются соотношениями:

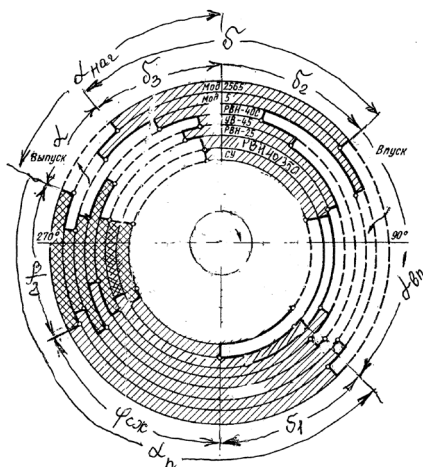
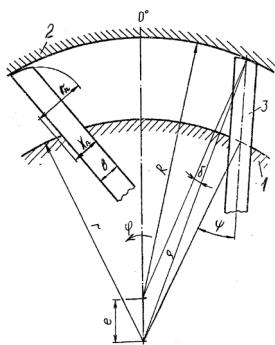


Рисунок 2. – Воздухораспределение вакуумных насосов доильных установок



- 1 – ротор;
 2 – пластина;
 3 – цилиндр;
 e – эксцентриситет;
 b – толщина пластины;
 ψ – угол наклона пазов;
 r_n, X_n – координаты центра дуги верхней кромки пластины;
 R – радиус расточки цилиндра;
 r – радиус ротора;
 δ – угол между прямыми, соединяющими периферийную точку пластины с центрами ротора и цилиндра;
 ρ – текущий радиус

Рисунок 3. – Параметры пластинчатого насоса

$$r_n = \frac{R \cdot b}{2e} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left[\left(\frac{r}{R} \right) \sin \psi \right]^2} + b}; \quad X_n = \frac{r \cdot b}{2e} \cdot \frac{\sin \psi}{\sqrt{1 - \left[\left(\frac{r}{R} \right) \sin \psi \right]^2} + b} + \frac{b}{2},$$

где e – эксцентриситет; b – толщина пластины; ψ – угол наклона пазов;

r_n, X_n – координаты центра дуги верхней кромки пластины;

R – радиус расточки корпуса; r – радиус ротора.

Выполнение дуги верхней кромки пластины по параметрам ($r_n = 14$ мм, $X_n = 6$ см), учитывающим наклон пластин, будет способствовать непрерывному перемещению линейной площадки контакта по всей дуге кромки пластин, устраняя необходимость приработки последних и перетечки воздуха (рисунок 4). Глубина паза должна быть на 0,5...1,0 мм больше длины пластины.

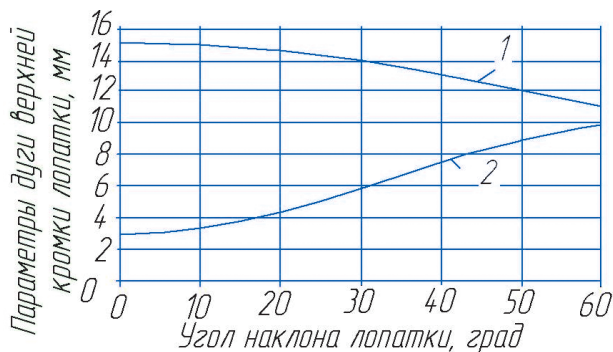


Рисунок 4. – Параметры кромки лопатки

С учетом вышеизложенного рекомендуем следующие геометрические параметры и фазы воздухораспределения изготавливаемого заводом пластинчатого вакуумного насоса АВС-610 (таблица 2).

Таблица 2. – Рекомендуемые геометрические параметры и фазы воздухораспределения изготавливаемого ОАО «Завод Промбурвод» вакуумного насоса АВС-610 для индивидуального доения коров

Параметры	Фактические	Рекомендуемые
Диаметр корпуса, мм	105	100
Диаметр ротора, мм	85	85
Эксцентриситет, мм	10	7
Производительность геометрическая, м ³ /ч	39	21
Коэффициент откачки	0,5...0,7	0,5...0,7
Производительность номинальная, м ³ /ч	18...27	10...15
Угол обратного расширения δ_2	40°	40°
Угол всасывания $\alpha_{вс}$	60°	100°
Полный угол всасывания	100°	140°
Угол между нижней кромкой впускного окна и биссектрисой δ_1	80°	40°
Угол сжатия $\varphi_{сж}$	80	70°
Полный угол сжатия α_n	170°	160°
Угол нагнетания $\alpha_{наг}$	100°	60°
Угол выпуска α	60°	55°
Угол сжатия защемленного объема δ_3	40°	5°
Угол вредного пространства δ	80°	50°
Параметры верхней кромки пластины, мм	Требования отсутствуют	$r_n = 14 \text{ мм},$ $X_n = 6 \text{ см}$

Заключение

Для повышения производительности и улучшения конструктивно-энергетических показателей серийного вакуумного насоса АВС-610 рекомендуется углы всасывания увеличить с 60° до 100°. Углы сжатия и выпуска следует уменьшить на 6–8 %, а углы нагнетания и сжатия защемленного объема – на 40 и 85 % соответственно. При данных геометрических параметрах корпуса и ротора эксцентриситет насоса также следует уменьшить. Модернизация насоса позволит сохранить показатели надежности в соответствии с нормативными требованиями.

19.10.2015

УДК 697.7: 621.384.3

**А.П. Ахрамович, Л.С. Герасимович,
В.Н. Дашков, В.П. Колос**

*(ГП «Институт энергетики
НАН Беларуси»*

г. Минск, Республика Беларусь)

ЛУЧИСТЫЙ МЕТОД СТИМУЛЯЦИИ МОЛОКООТДАЧИ В УСЛОВИЯХ ПОТОЧНОГО ДОЕНИЯ КОРОВ

Введение

Проблема стимуляции молокоотдачи при машинном доении – одна из наиболее актуальных в молочном производстве [1]. Усовершенствование доильных систем в основном направлено на имитацию двигательных действий теленка, что отразилось на конструкции доильного стакана и выборе материалов. Однако для полной реализации потенциально возможной продуктивности животных одних механических раздражителей недостаточно.

Следующим шагом явилась комбинация механического и теплового воздействия за счет разогрева доильного стакана. В термостимулирующих доильных аппаратах обогрев сосковой трубки производится потоком выдаиваемого молока, путем закачивания подогретого воздуха, наложения высокочастотного электромагнитного поля, пленочными поверхностными электронагревателями [2]. В работе [3] рекомендован метод стимуляции с помощью инфракрасного (ИК) обогрева вымени и области крестца.

Несмотря на значительные успехи, достигнутые в стимуляции молокоотдачи, современные серийно выпускаемые доильные установки не в состоянии пока обеспечить ее полноценный рефлекс. В связи с этим особое внимание должно быть уделено подготовке к доению путем оптимизации микроклиматических условий [4].

Крупный рогатый скот относится к гемотермальным животным, способным поддерживать постоянную температуру тела при изменениях метеорологических условий в довольно широких пределах. В связи с этим в большинстве помещений ферм температура не нормируется, но в доильных залах она должна составлять около 18 °С. В то же время на преддоильных площадках температура часто бывает понижена из-за сквозняков и недостаточного отопления проходных коридоров и самих площадок. В результате при поточной технологии доения коровы заходят в доильные залы с остывшей кожей сосков и вымени; рецепторные зоны реагируют на понижение температуры, и активность рефлекса молокоотдачи уменьшается.

Энергоэффективным решением этой проблемы является установка автоматизированной системы с инфракрасными излучателями для дополнительного подогрева проходных коридоров и преддоильных площадок. В условиях большой подвижности воздуха это наиболее рациональный спо-

соб [5], поскольку инфракрасные лучи практически не поглощаются воздухом и нагревают только облучаемые поверхности. Система автоматики позволяет обеспечивать постоянные температурные условия в зоне передвижения коров при изменениях температуры наружного воздуха и величины тепловыделения от животных. В самих доильных залах инфракрасные излучатели с автоматическим регулированием параметров излучения поддерживают тепловые условия в строго регламентированном диапазоне.

Инфракрасное облучение коров перед дойкой дает еще один положительный эффект. Альтернативой хорошо известному способу повышения жирности молока путем горячих припарок вымени является местный обогрев люмбосакральной части спины животного, где находится специфическое рецептивное поле, раздражение которого рефлекторно усиливает эвакуацию жира из молочной железы [6]. Для прогрева спины применялись специальные попоны, которыми укрывали корову. Однако при поточном машинном доении оба эти способа труднореализуемы, поскольку они трудозатратны и увеличивают период дойки. Генерация лучистой энергии дает возможность одновременно воздействовать на рецепторы спины и поддерживать оптимальные температурные условия в помещении.

Лучистая система интенсификации молокоотдачи

Известные устройства инфракрасного облучения проектируются по одному и тому же принципу: организовать генерацию потока лучистой энергии, обеспечивающего нормируемое облучение животных. Однако при таком подходе не учитывается отрицательное воздействие на их состояние радиационной отдачи энергии на ограждающие конструкции.

Любой живой биологический организм представляет собой тепловыделяющую систему, находящуюся в тепловом взаимодействии с окружающей средой. Для жизнедеятельности животных более полезно преобладание конвективной теплоотдачи с поверхности тела над радиационной. Учет этого фактора и обуславливает новизну подхода к проектированию лучистой системы. В основу проектных решений положено условие создания в зоне нахождения животных при минимальных затратах топливно-энергетических ресурсов инфракрасного поля с такими параметрами, при которых интенсивность теплоотдачи конвекцией больше интенсивности теплоотдачи излучением.

Лучистая система для животноводческих помещений должна удовлетворять требованиям норм технологического проектирования ферм крупного рогатого скота и не препятствовать выполнению зоотехнических и зоогигиенических мероприятий по обслуживанию животных. Также при ее разработке необходимо учитывать рекомендации по их инфракрасному облучению. В результате анализа нормативной документации [7–9] можно сформулировать следующие основные требования к системе.

1. Оборудование системы должно выдерживать работу в агрессивной среде помещений при температуре воздуха от 0 до 30 °С и относительной влажности от 40 до 98 %.

2. Расположение инфракрасных излучателей должно обеспечивать облучение верхней части поверхности животных. При определении высоты подвеса необходимо учитывать возможность его повреждения животными.

3. Генерируемое излучение не должно оказывать отрицательного воздействия на кожный покров и слизистые оболочки животных. Система должна иметь автоматическое управление, позволяющее регулировать поток и спектр излучения в соответствии с технологическими нормами облучения животных.

4. Установленная мощность системы должна быть достаточной для поддержания нормируемого теплового ощущения.

5. Система должна работать в двух режимах: основном и дежурном. В основном режиме должна создавать и поддерживать параметры облучения, обеспечивающие нормируемые тепловые ощущения в период дойки, а в дежурном – температуры, достаточные для обеспечения сохранности здания. Переход от одного режима к другому должен происходить автоматически по энергосберегающему алгоритму.

6. Установка системы не должна приводить к изменению планировочных и конструктивных решений здания.

7. Оборудование системы должно удовлетворять требованиям правил устройств электроустановок (ПУЭ), строительных, экологических, санитарно-гигиенических, противопожарных норм и правил, обеспечивать безопасную для жизни и здоровья людей эксплуатацию системы при соблюдении правил техники безопасности.

Новизна конструкции электрического ИК-излучателя заключается в выполнении излучающей пластины двухслойной, состоящей из металлической основы с продольными треугольными канавками и нанесенного на нее тонкого слоя диэлектрика с равномерно распределенной слоистой шероховатостью [10]. Эффект многократного отражения собственного излучения в неровностях рельефа позволяет нивелировать анизотропию пространственного распределения энергии излучения, вызванную строго ориентированными треугольными канавками, которые служат для образования вихревой пелены, снижающей интенсивность конвективного теплоотвода с излучателя.

Разработанная математическая модель теплопереноса в помещениях при генерации инфракрасного излучения позволила связать между собой параметры излучения и микроклимата [11]. Тогда, выбрав в качестве основного контролируемого параметра температуру воздуха и поставив характеристики инфракрасного излучения в функциональную зависимость от нее, мы существенно упростим работу обслуживающего персонала.

Внутри шкафа управления размещаются центральный программный модуль и силовые модули на основе микропроцессоров. В программный модуль закладываются алгоритмы контроля времени, смены температурных режимов по временному графику, обработки поступающих сигналов от датчиков обратной связи и расчета изменения мощности ИК-излучения при условиях минимизации энергопотребления и поддержания нормируемых параметров микроклимата. Также вводится подпрограмма – «функция живучести», заключающаяся в поддержании наиболее близких к нормируемым параметров микроклимата при выходе из строя отдельных аппаратных элементов и принимающая меры по защите и сохранению их работоспособности при внештатных ситуациях.

Цифровые датчики обратной связи посылают дискретные данные о температуре воздуха каждые 4 секунды. Связь с управляющим шкафом реализуется по специальным телеметрическим кабелям по однопроводному интерфейсу I-WIRE.

Шкаф работает в режимах термоконтроля и управления, пользовательского и технологического программирования. В первом случае он автоматически поддерживает заданные параметры микроклимата, в режиме пользовательского программирования обслуживающий персонал может изменить график температурных условий, скорректировать ход часов и дату. Технологический режим программирования предназначен только для специалистов, поскольку изменения значений установочных параметров (период квантования, коэффициенты инерционности, мощностные характеристики и др.) влияют на работу всей системы на глобальном уровне.

Предусмотрен также ручной режим установки параметров излучения на случай выхода из строя автоматики. Управляющий шкаф может поддерживать индивидуальные температурные условия в нескольких зонах одновременно.

Лучистая система для молочно-товарной фермы «Ветера»

Молочно-товарная ферма «Ветера», для которой был проведен расчет параметров лучистой системы, принадлежит расположенному в Докшицком районе Витебской области ОАО «Торгуны». Ферма включает два коровника по 200 голов крупного рогатого скота, сдвоенных с молочно-доильным блоком. Содержание коров – групповое беспривязное.

В доильном зале молочно-товарной фермы установлена стойловая доильная система «Параллель», имеющая высокую пропускную способность благодаря системе быстрого выхода. Автоматические ворота упорядочивают процесс прохождения на дойку и выхода коров. Количество коров в группах,

формируемых для дойки, соответствует количеству доильных мест. Таким образом упрощается организация процесса доения. На дойку коров отправляют последовательно, по одной группе из каждого коровника, из них половина животных становится на доильные места, а оставшиеся ожидают на преддоильной площадке. Период времени с момента входа коровы на преддоильную площадку до момента выхода из доильного блока может длиться более получаса. В день производят две дойки – утреннюю и вечернюю.

Для теплотехнического и экономического расчетов лучистой системы использованы строительная документация на здание, план расположения технологического оборудования в помещениях, строительные и санитарные нормы Республики Беларусь, метеорологические данные для Витебской области, прайс-листы производителей оборудования, данные по сдаче молока и закупочным ценам. Теплотехнические параметры ограждающих конструкций здания рассчитываются для случая воздействия на них инфракрасного излучения.

Мощность, количество и расстановка излучателей, алгоритм изменения параметров излучения в соответствии с заданными микроклиматическими режимами находятся из условия минимизации потребления энергии (рисунок 1). При этом учитываются затраты на восполнение тепловых потерь помещений и подогрев вентиляционного воздуха, а также тепловыделение от животных.

В результате определен тип инфракрасных излучателей – это длинноволновые аппараты с двумя излучающими пластинами и, соответственно, с двумя электронагревательными элементами. На преддоильной площадке и в коридорах устанавливаются излучатели с номинальной мощностью $1,5 \text{ кВт}$, в доильном зале – $2,0 \text{ кВт}$; их расстановка показана на рисунке 1. Для управления излучателями предусмотрен один управляющий шкаф с четырьмя каналами регулирования. Мощность по каждому каналу не превышает 30 кВт .

Для оценки эффективности лучистой системы сделано сравнение ее параметров с характеристиками штатной (проектной) отопительно-вентиляционной системы (ОВС) и обогревом с помощью электрических калориферов (см. таблицу 1). Автоматизация поддержания требуемых тепловых режимов и энергосберегающий переход между ними, особенности лучистого обогрева, при котором температура в помещении и температура вентиляционного воздуха должны быть на несколько градусов ниже, чем при конвективном обогреве, приводят к уменьшению почти в два раза потребления условного топлива на отопление доильного блока.



Рисунок 1. – Расстановка ИК-излучателей в доильно-молочном блоке

При увеличении среднесуточного надоя молока от одной коровы на 0,5 л вследствие воздействия инфракрасного излучения окупаемость лучистой системы (с учетом снижения расхода условного топлива на обогрев) составит около полутора лет при расчетной закупочной цене молока 4 000 рублей за литр.

Таблица 1. – Техничко-энергетические показатели отопительно-вентиляционных систем доильно-молочного блока

Параметр	Значение		
	Штатная ОВС	ОВС с электрокалориферами	ОВС с ИК-излучателями
Обогреваемая площадь, m^2	280		
Количество коров на обогреваемой площади, <i>шт.</i>	64		
Нормируемое тепловое ощущение, $^{\circ}C$	19		
Мощность теплопоступлений от коров, kWt	40		
Установленная мощность, kWt	98	98	67
Кратность воздухообмена	2,5	2,5	2,0
Среднее за отопительный сезон потребление энергии системой в сутки, $kWt \cdot ч$	388	394	182
Расход условного топлива за отопительный сезон, <i>т у.т.</i>	17,0	24,5	11,3

Заключение

В настоящее время на современных фермах и комплексах для крупного рогатого скота имеются технологические предпосылки для использования сложной, насыщенной электроникой техники [12]. Предлагаемая двухфункциональная лучистая система перспективна для решения задачи локального облучения животных с целью увеличения молокоотдачи и жирности молока и одновременного поддержания с пониженными энергозатратами требуемых микроклиматических условий в доильных залах.

31.08.2015

Литература

1. Базанова, Н.У. Стимуляция молокоотдачи у животных / Н.У. Базанова, Х.Д. Дюсембин. – Алма-Ата: Кайнар, 1973. – 112 с.
2. Герасимович, Л.С. Стимуляция молокоотдачи у коров при машинном доении коров / Л.С. Герасимович. – Минск: БГАТУ, 2006. – 192 с.
3. Садыков, К.Б. Стимуляция молокоотдачи у коров при машинном доении: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.02.04 / К.Б. Садыков; Московская сельскохозяйственная им. К.А. Тимирязева, 1975. – 21 с.
4. Джонсон, Г. Окружающая температура и лактация / Г. Джонсон // Сельское хозяйство за рубежом. Животноводство. – 1966. – № 9. – С. 29–36.
5. Ахрамович, А.П. Достоинства и потенциальные возможности систем ИК-обогрева / А.П. Ахрамович, Г.М. Дмитриев, В.П. Колос, А.А. Михалевич // Энергоэффективность. – 2005. – № 7. – С. 10–12.
6. Павлов, Е.Ф. О жирно-секреторных эффектах в молочной железе при применении некоторых крупных раздражителей / Е.Ф. Павлов, А.Х. Маркарян // 2-е совещание по физиологии сельскохозяйственных животных. – М.–Л., 1955. – С. 42–44.
7. Республиканские нормы технологического проектирования новых, реконструкции и технического перевооружения животноводческих объектов: РНТП-1-2004. – Минск: УП «Институт Белгипроагропищепром», 2004. – 93 с.
8. Указания по инфракрасному облучению сельскохозяйственных животных. – М.: Колос, 1969. – 16 с.
9. Нормы технологического проектирования ферм крупного рогатого скота крестьянских хозяйств: НТП-АПК 1.10.01.001-00 [Электронный ресурс]. – Введ. 27.07.2000. – М.: Минсельхоз РФ, 2000. – Режим доступа: <http://www.docload.ru/Basesdoc/10/10194/index.htm>. – Дата доступа: 18.04.2015.
10. Ахрамович, А.П. Электрические ИК-излучатели средней удельной мощности / А.П. Ахрамович, Г.М. Дмитриев, В.П. Колос, А.А. Михалевич // Энергоэффективность. – 2006. – № 3. – С. 14–17.
11. Ахрамович, А.П. Методология расчета двухфункциональной инфракрасной системы АСЛЮТУ / А.П. Ахрамович, Г.М. Дмитриев, В.П. Колос // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2013. – № 1. – С. 71–76.
12. Самосюк, В.Г. Развитие основных научных направлений обеспечения новейших технологий производства молока / В.Г. Самосюк // Материалы XVI Международного симпозиума по машинному доению сельскохозяйственных животных, Минск – Гомель, 27–29 июня 2012 г. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», ОАО «Гомельагрокомплект». – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2012. – С. 7–18.

УДК 636.2.034:004

**А.Б. Грищенко, И.И. Гируцкий,
А.Г. Сеньков**

*(УО «БГАУ»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

В.Ф. Марышев, В.В. Чумаков

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО- ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СРЕДСТВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДОЙНЫХ КОРОВ

Введение

Технология беспривязного содержания с доением в зале на современных компьютеризированных доильных установках является основной в молочном скотоводстве Республики Беларусь [1]. Ключевое значение при этом приобретает надежная идентификация животных, для которой используется радиочастотный или инфракрасный метод [2].

Если распознавания коровы не произошло, дойка классифицируется как нераспознанная (то есть не отнесенная ни к какой корове), что приводит к нежелательному сбою в учете как продуктивности, так и других технологических параметров. Экспериментальные исследования электронного обору-дования для идентификации дойных коров в условиях молочно-товарных комплексов свидетельствуют о существенном числе нераспознанных коров, количество которых может колебаться от 3 до 10 % (рисунок 1)



Рисунок 1. — Экспериментальные данные по идентификации коров в доильном зале ОАО «Тихиничи», Гомельская обл., Рогачевский р-н, а/г Тихиничи, среднее значение — 5,5 % нераспознанных коров

Основная часть

Поэтому актуальной является задача снижения числа нераспознанных коров. Для повышения надежности системы определения дойных коров предлагается алгоритм идентификации коров по совокупности трех показателей: электронной идентификации индивидуальными антеннами, по значениям надоя, по электропроводности молока (рисунок 2). При этом возникает задача обработки больших массивов данных с целью извлечения новых знаний.

Экспериментальные данные, послужившие основой работы, были получены в результате обследования двух хозяйств: СПК «Винец» (Брестская обл., Березовский р-н, д. Ревятичи) и ОАО «Тихиничи» (Гомельская обл., Рогачевский р-н, а/г Тихиничи) путем удаленного сбора с использованием глобальной сети Интернет (рисунок 3).

Идентификация коров по совокупности трех показателей

Первоначально выполняется идентификация коровы с помощью индивидуальной антенны (полагаем, что вероятность успешной идентифика-

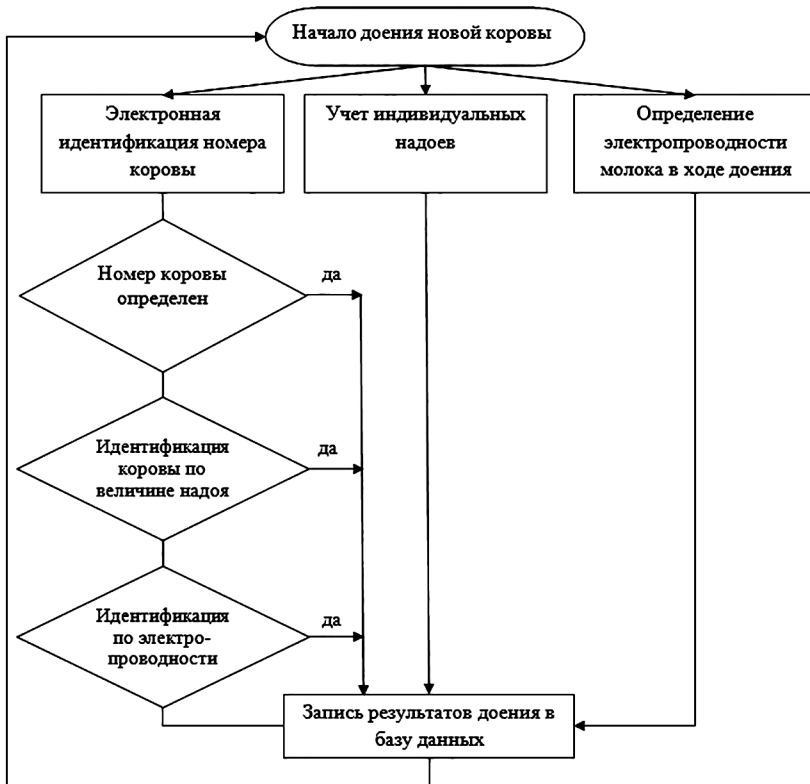


Рисунок 2. – Алгоритм трехпараметрической идентификации дойных коров

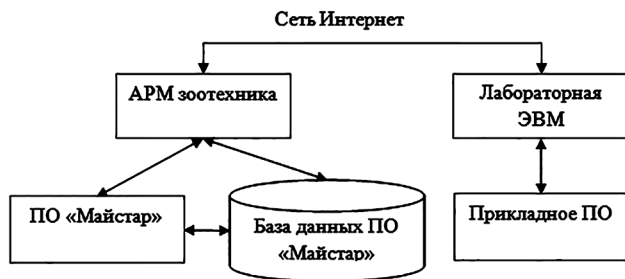


Рисунок 3. – Удаленный сбор экспериментальных данных о параметрах дойки с использованием глобальной сети Интернет

ции коровы с помощью индивидуальной антенны при данном конкретном доении не зависит от успешности или неуспешности ее идентификации в предыдущих доениях). В соответствии с полученными данными процент верного распознавания при использовании индивидуальных антенн составляет около 94–96 % (в среднем количество нераспознанных коров при помощи индивидуальных антенн составляет 3,27 % со стандартным отклонением 2,56 % для СПК «Винец» и 5,49 % со стандартным отклонением 2,36 % для ОАО «Тихиничи»).

Пусть в процессе однократного доения всей группы коров некоторое число коров N^* осталось нераспознанным с помощью индивидуальных антенн. Для них известны номера: $\Omega^* = \{n_1^*, \dots, n_{N^*}^*\}$, а также значения надоя: $Y^* = \{y_1^*, \dots, y_{N^*}^*\}$.

Для этих нераспознанных коров используется идентификация по 2-му признаку – по значению надоя. В результате после 2-го этапа идентификации нераспознанными останется некоторое число N^{**} коров. Для этих коров используется 3-й этап идентификации – идентификация по электропроводности молока.

Значение надоя коровы в отдельно взятое доение y является случайной величиной и определяется множеством факторов: питанием, параметрами микроклимата, биологическими особенностями данного животного и т. д. Вследствие этого можно предполагать, что случайная величина Y – надой коровы с номером i – имеет нормальное распределение, причем значения математического ожидания m_i и среднего квадратического отклонения σ_i зависят от идентификационного номера коровы, то есть для каждой коровы – свои, и поэтому также являются случайными величинами. Как показывает статистический анализ массива экспериментальных данных, полученных в ОАО «Тихиничи» и СПК «Винец», распределение значений математического ожидания m_i и прогнозных значений среднего квадратического отклонения надоя коров σ_i близко к нормальному [3].

Подход к идентификации нераспознанных коров по значениям надоя включает в себя следующие шаги:

1. На основании статистических данных по надоям в соответствующее время суток (утреннее, дневное либо вечернее доение) за предыдущие M дней вычислить прогнозные значения удоя при текущем доении для нераспознанных коров: $\hat{Y} = \{\hat{y}_1, \dots, \hat{y}_{N^*}\}$.

Прогнозные значения надоя для каждой нераспознанной коровы предлагаются определять на основании регрессионного анализа надоев за последние M дней (в работе $M = 7$) в соответствующее время суток (утреннее, дневное либо вечернее доение) по формуле:

$$\hat{y}_i = k_i \cdot \hat{x} + b_i,$$

где $\hat{y}_i$ – теоретические значения надоя за последние M дней;

$i \in \Omega^*$;

$\hat{x}$ – текущая дата;

k_i, b_i – коэффициенты линейной регрессии.

2. Путем сопоставления теоретически рассчитанных прогнозных значений надоя $\hat{Y} = \{\hat{y}_1, \dots, \hat{y}_{N^*}\}$ и реальных значений $Y^* = \{y_1^*, \dots, y_{N^*}^*\}$ на основании некоторого правила выбора установить однозначное соответствие между номерами нераспознанных коров $\Omega^* = \{n_1^*, \dots, n_{N^*}^*\}$ и реальными значениями надоя $Y^* = \{y_1^*, \dots, y_{N^*}^*\}$.

Правило сопоставления значений надоя с номерами нераспознанных коров включает следующие шаги:

1. Сортировка множества прогнозных значений надоя $\hat{Y} = \{\hat{y}_1, \dots, \hat{y}_{N^*}\}$ по возрастанию.

2. Сортировка множества реальных значений $Y^* = \{y_1^*, \dots, y_{N^*}^*\}$ по возрастанию.

3. Условие: если значение i -го элемента отсортированного множества реального удоя $Y^* = \{y_1^*, \dots, y_{N^*}^*\}$ попадает в прогнозный доверительный интервал $0,95 (\hat{y}_i - v_i; \hat{y}_i + v_i)$, значит значение i -го реального удоя y_i^* сопоставляется в соответствие i -му нераспознанному номеру коровы n_i^* . Здесь v_i – ширина доверительного интервала для прогнозных значений надоя.

Аналогичным образом проводится идентификация коров по значениям электропроводности молока.

Таким образом, вероятность идентификации коров по совокупности трех показателей – индивидуальных антенн, значениям надоя и электропроводности молока, определяется по формуле:

$$P_{\Sigma} = P_1 + (1 - P_1) * P_2 + (1 - P_1 + (1 - P_1) * P_2) * P_3,$$

где P_1 – вероятность правильной идентификации коров после первого этапа – с помощью индивидуальных антенн;

P_2 – вероятность правильной идентификации коров после второго этапа – по значению надоя;

P_3 – вероятность правильной идентификации коров после третьего этапа – по значению электропроводности молока.

Оценка качества идентификации коров по совокупности трех показателей

Численная оценка значений суммарной вероятности идентификации коров по совокупности трех показателей проводилась в данной работе с помощью методов имитационного моделирования на основе массива экспериментальных данных по надоям и идентификации коров в ОАО «Тихиничи» длительностью 7 месяцев, за период времени с 31.10.2014 г. по 28.05.2015 г. Число коров в экспериментальной группе было равно 131. Для выполнения расчетов использовалась компьютерная система «Matlab» [3].

В результате численного эксперимента по статистической обработке были получены следующие средние значения оцениваемых вероятностей.

Таблица 1. – Результаты численной оценки значений вероятности идентификации коров по совокупности показателей

Вероятность успешной идентификации коров:		Среднее значение	Максимальное значение	Численность коров	
				общая	распознанных
с помощью индивидуальных антенн	P_1	0,95	0,95	500	475
по значению надоя молока	P_2	0,2325	0,75	25	6
по значению электропроводности молока	P_3	0,0925	0,25	19	2
по трем показателям	P_Σ	0,9648	0,9906	500	483

Заключение

Таким образом, предложенный способ идентификации коров при доении с учетом трех показателей позволяет повысить процент успешной идентификации в среднем с 95 % до 96,48 %, а в отдельных случаях – до 99 %, что позволит повысить качество учета надоев молочных коров.

14.10.2015

Литература

1. Самосюк, В.Г. Технологическое оборудование для производства молока / В.Г. Самосюк, В.О. Китиков, Э.П. Сорокин; Нац. акад. наук Беларуси, РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск: Беларус. навука, 2013. – 493 с.
2. Гируцкий, И.И. Первичное информационное обеспечение животноводства при автоматизации ферм / И.И. Гируцкий, Г.Г. Палкин // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. – 1997. – № 4. – С. 45–48.
3. Дьяконов, В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник / В. Дьяконов, В. Круглов. – СПб.: Питер, 2001. – 448 с.

УДК 636.2.034/06

**А.Б. Грищенко, И.И. Гируцкий,
А.Г. Сеньков**

*(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

В.Ф. Марышев, В.В. Чумаков

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

КРИТЕРИИ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ЖИВОТНЫХ

Введение

Анализ современного состояния отечественного и зарубежного молочного скотоводства показывает, что в сложившихся условиях рыночной экономики эффективность производства молока определяется решением двух задач: повышения продуктивности животных и снижения трудозатрат по их содержанию и обслуживанию. Решение указанных задач осуществляется путем создания новых и совершенствования существующих технологий и технических средств контроля и управления индивидуальным обслуживанием животных с целью достижения максимального уровня реализации их биологического потенциала.

Результаты исследований

Причинами, снижающими эффективность производства молока, являются: большая доля ручного труда; малокомфортные условия содержания животных; достаточно жесткий процесс машинного доения, вызывающий неоправданное травмирование вымени, повышающий вероятность заболевания маститом и снижающий качество и количество получаемого молока; отсутствие информационных управляющих систем, в полной мере учитывающих физиологическое состояние и индивидуальные особенности коров, что не позволяет эффективно реализовать генетический потенциал молочного стада.

Все это указывает на необходимость дальнейшего совершенствования данной отрасли, в том числе путем внедрения и совершенствования систем автоматизации доения, которые позволяют снижать трудоемкость производства молока, а также увеличивать продуктивность за счет индивидуального управления различными аспектами жизненного цикла коров дойного стада и обеспечения оптимальной технологии содержания животных.

Перевод существующего молочно-товарного производства на более высокий уровень развития возможен только на основе системного подхода в формировании инфраструктуры молочно-товарной фермы, причем центральное место в биотехнической системе «человек – машина – животное» должен занимать биологический объект – корова (рисунок 1) [1].

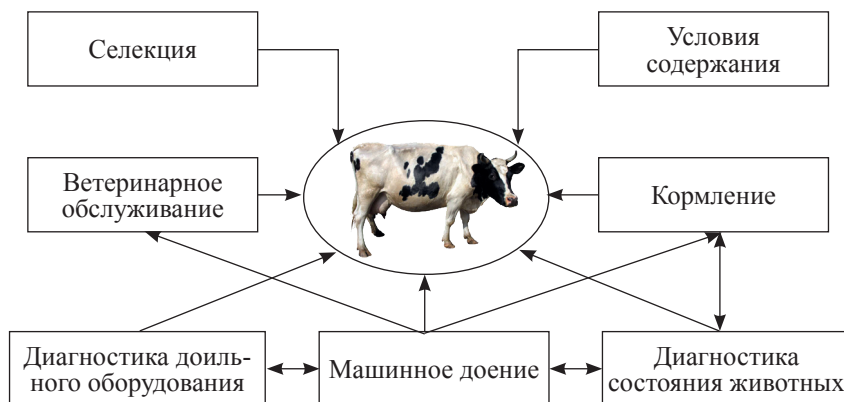


Рисунок 1. – Биотехническая система производства молока

Исходя из этого, в оборудовании, связанном с обеспечением условий преддоильного содержания и машинного доения, должны учитываться биологические закономерности синтеза молока и его выведения, физиологическое состояние и индивидуальные особенности животных.

Стандартные доильные аппараты работают в одном и том же жестком режиме, с постоянными, не изменяющимися в процессе доения параметрами, в них не учитывается закономерность процесса молокоотдачи, ее разнообразие у различных групп животных. При таком доении коровы часто испытывают непривычные, даже болевые ощущения, которые приводят к преждевременному торможению рефлекса молокоотдачи, задержке молока, неполному выдаиванию, заболеваниям вымени. Устранить эти недостатки может только оператор высокой квалификации за счет качественного и полного выполнения технологических операций, тщательного контроля потока молока, выводимого аппаратом из вымени, учета индивидуальных особенностей животного. К сожалению, соблюдение этих требований резко повышает затраты времени на процесс, снижает производительность оператора и практически невыполнимо.

В современных доильных машинах предусмотрена возможность автоматического включения стимуляции вымени при снижении молокоотдачи до определенного уровня, что позволяет сгладить, нивелировать отрезок времени и нарастить молочную продуктивность во время дойки, когда возникает риск сухого доения в начале дойки. Еще одна функция доильных машин – возможность отключения молочной камеры доильного стакана от источника вакуума в ситуации, когда в нее не поступает молоко. Такая ситуация характерна для конца доения в связи с неравномерностью развития четвертой молочной железы коровы и разным временем их доения. Измерение электропроводности молока и электронная

пульсация по четвертям вымени делают возможной реализацию функции отдельного отключения доения каждой четверти вымени. При этом пульсация управляется интенсивностью поступления молока из каждого соска с остановкой в такте сжатия до окончания доения остальных сосков. В Европе принято прекращать доение коров при двукратном доении с потоком молока 450 г/мин, при трехкратном доении – с потоком 700 г/мин. Доение вымени по отдельным соскам позволяет более полно выдаивать корову и не допускать сухого доения отдельных сосков вымени, обеспечить более полную автоматизацию процесса доения [2]. Перспективным направлением шадящего доения является адаптивное установление порога прекращения доения в зависимости от продуктивности коровы [3].

Если усовершенствовать процесс на всех стадиях доения коров в части обеспечения учета текущих физиологических потребностей каждой отдельной особи в стаде, то можно создать условия, соответствующие требованиям длительного содержания и обслуживания высокопродуктивных животных.

Данная задача может быть выполнена только на базе применения информационных управляющих систем, когда управление всей фермой осуществляется на базе непрерывного сбора, анализа и хранения большого количества индивидуальных данных о животных [1].

Современные системы управления стадом предусматривают идентификацию животных, контроль текущей молокоотдачи, индивидуальных удоев, параметров качества молока (содержание жира, белка, крови, соматических клеток, электропроводность), мониторинг двигательной активности, походки животных.

Электронные системы позволяют контролировать состояние здоровья животных, сигнализировать об отклонениях в процессах, выявлять охоту, управлять входными и выходными воротами, предоставлять информацию о состоянии производства и решать другие задачи.

В качестве критериев диагностики состояния здоровья животных наиболее широко используются следующие:

- *величина удоя*. Влияние болезней на величину удоя молочных коров – хорошо изученная проблема. С внедрением компьютеризированных счетчиков молока ежедневный мониторинг удоев отдельных коров стал важным инструментом оценки последствий заболеваний на производство молока;

- *время доения, скорость молокоотдачи*. Время доения зависит от обслуживания фермы, мастерства операторов, номера лактации коровы, стадии лактации, состояния вымени и сосков коров. Число соматических клеток в молоке коров с высокой или низкой скоростью доения выше, чем у коров с умеренной скоростью доения. Низкая скорость молокоотдачи может вызывать раздражение вымени и сосков, в то время как высокая скорость доения из-за слабого соска сфинктера может способствовать проникновению инфекции в вымя [4];

– *состав молока*. Многие факторы оказывают влияние на компонентный состав молока. К снижению процентного содержания молочного жира приводят болезни, чрезмерное волнение, возбуждение, жаркая погода, неполнота доения. Факторами, повышающими уровень жира, являются генетика, низкая производительность, поздние лактации, хорошее состояние тела, холодная погода, высокое потребление грубых кормов. Соотношение молочного жира и белка отражает состояние энергетического баланса коровы. Содержание лактозы в молоке является одним из показателей синтетической емкости эпителиальных клеток вымени. Содержание лактозы в молоке снижается при маститах и сильно зависит от кормления. В то же время по сравнению с молочным жиром и белком лактоза является стабильным компонентом молока.

Например, анализатор состава молока AfiLab фирмы «S.A.E Afikim», являясь интегрированным устройством, определяет состав и качество молока каждой коровы в режиме реального времени (рисунок 2).

Система производит измерения жира, белка, лактозы, числа соматических клеток, мочевины и крови в молоке;

– *число соматических клеток в молоке*. Молоко маститных коров имеет более высокую концентрацию соматических клеток (таблица 1). Эти клетки играют защитную роль против бактерий, вызывающих мастит [4].

Важнейшим показателем качества молока является содержание соматических клеток, которое четко связано с заболеванием коров маститом. Факторами, вызывающими это заболевание, кроме биологически обусловленных причин, могут быть технические: нестабильный вакуумный режим; передержка доильных аппаратов; техническое состояние исполнительных органов доильной машины (сосковая резина, пульсатор, вакуум-регулятор). Увеличение количества соматических клеток ведет к снижению качества молочной продукции и продуктивности животных [5];



Рисунок 2. – Молокомер Afimilk и анализатор состава молока AfiLab

Таблица 1. – Критерии оценки заболеваемости молочной железы коров в зависимости от количества соматических клеток в молоке

Состояние молочной железы	Содержание соматических клеток
Здорова	До 300 тыс./мл
Подозрение на субклинический мастит, вероятное поражение одной доли вымени	От 300 до 800 тыс./мл
Мастит, поражена по крайней мере одна доля	500–800 тыс./мл
Острая форма мастита	Более 1 млн/мл

– *электропроводность молока*. Первые исследования возможности обнаружения мастита у коров измерением электропроводности молока были проведены в начале 40-х годов. Молоко больных маститом коров имеет более высокую электропроводность. В середине семидесятых годов появились первые датчики проводимости, и с тех пор автоматические измерения проводимости в потоке стали практическим инструментом для обнаружения мастита. Данный метод диагностики на наличие клинического и субклинического мастита имеет высокую чувствительность и специфичность. Однако в процессе доения показатель электропроводности молока может существенно изменяться, что создает сложности при его использовании для диагностики состояния здоровья коров (таблица 2).

– *двигательная активность*. В середине пятидесятых годов было обнаружено, что во время охоты самки млекопитающих демонстрируют прогнозируемое увеличение физической активности. Более 20 лет спустя исследования, проведенные с помощью пedomетров, показали, что коровы в период половой охоты увеличивают свою двигательную активность в несколько раз. Пedomетры могут также использоваться в качестве средства для обнаружения нарушений в двигательной активности животных [4];

– *оценка упитанности и конституции тела* (body condition score – BCS). Метод оценки упитанности и конституции тела животных был раз-

Таблица 2. – Показатель электропроводности молока, измеренный в ходе доения коровы с использованием оборудования ОДО «Полиэфир»

Дата/время доения	Смена доения	Надой, г	Время доения, с	Электропроводность, мкСм/см
2015-03-18 07:38:02	1	6081	261	1821
2015-03-17 19:54:53	3	2274	251	7026
2015-03-17 14:16:54	2	2809	227	1790
2015-03-17 07:20:07	1	5340	250	7179
2015-03-16 19:49:26	3	2690	249	5488
2015-03-16 13:59:12	2	2394	200	6781
2015-03-16 07:13:03	1	5403	243	8735
2015-03-15 19:57:50	3	2489	251	6101
2015-03-15 14:13:07	2	2657	173	1578
2015-03-15 07:40:03	1	5239	232	8218
2015-03-14 19:54:46	3	2324	239	1696
2015-03-14 14:25:41	2	2983	225	6586
...	...	...	...	...
2015-03-12 13:05:33	2	3997	231	1821
2015-03-12 05:53:51	1	4800	258	8910
2015-03-11 18:34:02	3	2534	232	6862
2015-03-11 13:44:26	2	3984	332	1821
2015-03-11 06:39:39	1	5741	245	9347

работан в восьмидесятих годах прошлого века. BCS позволяет оценить питательный статус и изменения в энергетическом балансе коров на различных стадиях производственного цикла. BCS является хорошим показателем того, насколько рацион кормления отвечает энергетическим потребностям коров на каждом этапе производственного цикла. Недооценка или переоценка состояния тела может приводить к заболеваниям;

– *измерение живой массы тела животных*. Первые проходные весы для молочных коров были разработаны в 1979 году британскими учеными. Авторы предположили, что регулярный мониторинг массы тела отдельных коров в сочетании с ежедневной регистрацией надоев позволит улучшить стратегию кормления, а также может быть полезен с ветеринарной точки зрения. Следующий шаг к реализации этой концепции был сделан в Израиле. Авторы разработали оригинальные проходные весы и связали автоматическое взвешивание с системой идентификации коров для компьютеризованного управления в реальном времени. Измерения массы тела коров, производимые несколько раз в день, и дальнейший расчет средних суточных или недельных значений позволяют устранить погрешности, которые возникают во время однократного взвешивания. Регулярное ежедневное измерение массы тела позволяет проследить изменения энергетического баланса коров. Тенденция к увеличению массы тела после пикового дня надоя молока в начале лактации является признаком перехода от отрицательного к положительному балансу энергии. В это время вероятность успешного осеменения выше, чем во время непрерывного отрицательного энергетического баланса. Резкое снижение величины надоев, сопровождаемое резким увеличением живой массы тела, может указывать на нежелательное ожирение. В некоторых случаях значительному снижению массы тела может предшествовать падение величины надоев. Неожиданное снижение массы тела является предупреждением возникновения проблем со здоровьем и должно рассматриваться во взаимосвязи с другими предупредительными знаками;

– *измерение частоты сердечных сокращений и variability ритма*. В ветеринарных исследованиях частота сердечных сокращений, будучи относительно несложной для измерений, часто используется для оценки стресса и здоровья молочных пород коров. Во многих исследованиях описаны факторы, которые оказывают влияние на частоту сердечных сокращений (ЧСС). Variability ритма в сравнении с ЧСС позволяет делать более детальную оценку стресса у животных. Полагают, что variability ритма является значимым физиологическим индикатором стрессовой нагрузки у животных. Например, подвергание лабораторных крыс продолжительному шумовому стрессу приводило к изменениям в показателях variability ритма;

– *потребление концентратов, число визитов к кормушкам*. Эти показатели позволяют выявить симптомы отсутствия аппетита у животных. От-

сутствие или снижение аппетита может быть связано с низким качеством кормов; болезнью органов пищеварения; болезнью органов, не связанных с пищеварительной системой; инфекционными заболеваниями; с другими, менее значимыми факторами: незнакомыми кормами, нахождением в охоте, непривычной окружающей обстановкой [4].

Большой проблемой в молочном скотоводстве являются заболевания маститом. В среднем различными формами этого заболевания могут быть поражены от 30 до 60 % поголовья. Так, среди всего промышленного молочного поголовья республики маститы составляют 10–50 % от всех выявляемых патологий у данного вида животных. Основной удельный вес приходится на труднодиагностируемые субклинические маститы (71,7 %) или на такие формы, которые трудно поддаются лечению. Поэтому профилактика заболевания маститом и возможность его раннего обнаружения – одно из основных направлений совершенствования систем управления стадом [6].

Для диагностики маститов могут применяться различные методы. Один из диагностических методов основан на использовании разности инфракрасного излучения тела животного в здоровом и больном состоянии, которая может быть отслежена при помощи тепловизора. Проведенные исследования показали, что средняя температура тела болеющей маститом коровы на 24,6 % выше, чем средняя температура тела здоровой коровы. Полученные результаты указывают на возможность применения тепловизора для отслеживания развития заболевания мастита у коров, однако необходимо проведение дополнительных обследований для повышения достоверности получаемых результатов и отработки методики диагностики в условиях реальной фермы [7, 8].

Заключение

1. Совершенствование технологических процессов и оборудования является эффективным направлением повышения конкурентоспособности молочной отрасли страны.

2. Одним из важнейших технологических требований к доильным установкам является укомплектование их системами автоматизации для управления режимами выполнения технологических операций, адекватно согласованных с физиологическими режимами молоковыведения, состоянием вымени и молочной железы. Среди элементов системы автоматизации машинного доения коров важнейшая роль принадлежит средствам управления и контроля молокоотдачи, осуществления заключительного массажа вымени и автоматического выключения и отключения (снятия) доильных аппаратов после прекращения молокоотдачи. Кроме того, доильные установки должны содержать системы подготовки вымени, автоматической очистки молочных линий, учета индивидуального и группового надоев молока, контроля вакуумного режима [9].

3. Внедрение информационно-управляющих систем путем учета физиологического состояния и индивидуальных особенностей каждой особи позволяет решить две принципиально различных задачи:

– управление процессами преддоильного содержания, направленными на повышение эффективности молочной продуктивности стада. Индивидуализация процессов машинного доения на основе количественных и качественных результатов процесса доения позволяет непрерывно оценивать эффективность изменения рационов кормления, параметров содержания животных и выдавать рекомендации для проектирования оборудования для реализации сопряженных процессов и проведения своевременной ветеринарной профилактики;

– управление и создание оптимальных стереотипов машинного доения под любое поголовье коров, различающихся генетической породой, способами содержания и кормления животных, что позволяет существенно снизить удельные затраты при производстве молока и повысить рентабельность молочно-товарного производства без дополнительных инвестиций [1].

14.10.2015

Литература

1. Китиков, В.О. Стратегическое направление развития машинного доения коров / В.О. Китиков, А.Н. Леонов // Вести НАН Беларуси. Серия аграрных наук. – 2013. – № 4. – С. 91–104.
2. Курак, А.С. Физиологические свойства вымени, технологические нарушения и эффективность машинного доения коров / А.С. Курак, М.В. Шалак, М.И. Муравьева // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сб. науч. тр.: в 2 ч / Гл. редактор А.П. Курдеко. – Горки: БГСХА, 2013. – Вып. 16. – Ч. 1. – 429 с.
3. System and method for implementing an adaptive milking process: пат. WO 2011/156316 A1, МПК A01J 5/007 / George H. Jr. Tucker; David, A. Reid; Gary, C. Steingraber; Timothy, E. Blair; заявитель Technologies Holdings Corp. – Заявл. 07.06.2011; опубл. 15.12.2011.
4. Graphic monitoring of the course of some clinical conditions in dairy cows using computerized dairy management system [Electronic resource] / U. Moallem [and others]. – S.A.E. Afikim, Israel. – Mode of access: <http://afimilk.com>. – Date of access: 5.07.2013.
5. Оробинский, В.Ю. Влияние технического состояния доильного оборудования на качество молока / В.Ю. Оробинский, О.В. Милешина // Вестник ВНИИМЖ. – 2013. – №1. – С. 128–135.
6. Башура, А.В. Сравнительная патоморфологическая характеристика часто встречаемых форм маститов / А.В. Башура, В.В. Малашко // Современные технологии сельскохозяйственного производства: материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 17 мая, 7 июня 2013 г. – Гродно: ГТАУ, 2013. – Т. 1. – С. 184–186.
7. Горбачев, А.О. Инфракрасная диагностика заболевания маститом у КРС / А.О. Горбачев, А.С. Гордеев // Робототехника в сельскохозяйственных технологиях: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Мичуринск, 10–12 ноября 2014 г. – Мичуринск: Изд-во Мичуринского госагроуниверситета, 2014. – 327 с.
8. Development of a teat sensing system for robotic milking by combining thermal imaging and stereovision technique / A. Azouz [and others] // Computers and Electronics in Agriculture. – 2015. – № 1. – С. 162–170.
9. Морозов, Н.М. Система машин и машинных технологий для производства продукции животноводства на период до 2020 года / Н.М. Морозов // Вестник ВНИИМЖ. – 2013. – № 1. – С. 74–90.
10. Китиков, В.О. Научные основы создания технологического оборудования и физиологически щадящего процесса машинного доения коров: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / В.О. Китиков; УО БГАТУ. – Минск, 2015. – 46 с.

УДК 631.171:633/635

А.И. Пунько, А.А. Жешко

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

Д.В. Касперович

*(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

**ИССЛЕДОВАНИЕ
КОНСТРУКТИВНО-
РЕЖИМНЫХ
ПАРАМЕТРОВ
БУНКЕРА-ПИТАТЕЛЯ
ДЛЯ ДОЗИРОВАНИЯ
РАПСОВОГО ЖМЫХА**

Введение

Общемировая практика свидетельствует, что в рационе животных ощущается нехватка белка, а также низка усвояемость находящихся в кормах белков, особенно зернобобовых культур. В Республике Беларусь питание животных обеспечено белком только на 60–65 %. В связи с этим разрабатываются различные способы получения протеиновых добавок на основе зернобобовых, рапса, шрота, жмыха.

В технологии приготовления белково-витаминных добавок остается актуальным вопрос создания оборудования для приема исходных компонентов непосредственно из мобильных самосвалных транспортных средств, дозированной выдачи их в линию приготовления добавок [1, 2].

Результаты исследований

Обоснование параметров бункера-питателя-дозатора труднотранспортируемых материалов целесообразно начать с рассмотрения подающего устройства (питающего транспортера), поскольку его конструктивно-технологические параметры определяют параметры распределяющего устройства. Например, линейная скорость поперечного транспортера обуславливает характер его разгрузки, что, в свою очередь, влияет на геометрические параметры битеров и их расположение относительно транспортера [3].

Бесперебойная работа системы будет обеспечена при соблюдении условия:

$$П(t) \leq q(t), \quad (1)$$

где $П(t)$ – производительность питающего транспортера, $м^3/с$;

$q(t)$ – производительность распределяющих рабочих органов, $м^3/с$.

Условие (1) можно записать в виде:

$$S_{омп} \cdot v_{мп} \leq q(t),$$

где $S_{омп}$ – сечение потока материала на питающем транспортере, $м^2$;

$v_{мп}$ – линейная скорость планок питающего транспортера, $м/с$.

Производительность поперечного транспортера $П$ в случае непрерывной подачи можно определить через интеграл от текущего значения расхода $C_0(t)$ по известной зависимости:

$$\Pi = \int_t^{t+\Delta t} C_0(t)dt = \int_t^{t+\Delta t} S_{0III}(t) \cdot V_0(t)dt, \quad (2)$$

где $V_0(t)$ – средняя скорость в определяющем сечении, м/с.

В рассматриваемом случае сечение близко к прямоугольной форме, тогда

$$S_0 \approx b_{mn} \cdot h_c, \quad (3)$$

где b_{mn} – ширина поперечного транспортера, м;

h_c – высота слоя материала на подающем транспортере, м.

Учитывая выражение (3) и допуская, что средняя скорость в сечении $V_0(t)$ равна линейной скорости планки транспортера v_{mn} , формула (2) примет вид:

$$\Pi = k \cdot b_{mn} \cdot h_c \cdot v_{mn},$$

где k – поправочный коэффициент, который при расчете подающих рабочих устройств принимают $k = 0,95$.

Назначением битерного рабочего органа является отбрасывание излишков материала и рыхление трудносыпучих компонентов. На качество работы битеров существенное влияние оказывает ряд факторов, таких как частота вращения, радиус и количество лопастей, взаимное расположение оси ротора относительно оси подающего транспортера.

Радиус загрузки битера – это расстояние от центра вращения до рассматриваемой частицы, попавшей в межлопастное пространство. Чем меньше радиус загрузки, тем больший путь проходит частица, двигаясь в относительном движении вдоль лопасти, и тем большее приращение радиальной скорости она получает. С увеличением радиальной составляющей скорости возрастает и абсолютная скорость, сообщаемая частице лопастью битера, как следствие, увеличивается дальность отбрасывания. Кроме того, от радиуса загрузки существенно зависит угол разгрузки лопасти, поэтому определение радиуса загрузки имеет большое значение для обоснования параметров битера.

В поперечном сечении битера форму материала, поступившего в межлопастное пространство, можно рассмотреть как плоскую фигуру acd (рисунок 1). Данная фигура ограничена лопастью битера и двумя свободными поверхностями.

Абсолютная скорость v_{ads} частиц, попавших в межлопастное пространство, складывается из относительной скорости движения частиц вдоль лопасти v_r и переносной скорости v_τ :

$$\overline{v_{ads}} = \overline{v_r} + \overline{v_\tau}.$$

Когда сформированный в межлопастном пространстве «пакет» начинает свое относительное движение, частицы, принадлежащие дуге cd и находящиеся на максимальном расстоянии от центра вращения, покинут битер с минимальным приращением радиальной скорости v_r . Максимальную же скорость приобретет частица a , находящаяся в момент времени t ближе всего к центру вращения на расстоянии, определяемом радиусом загрузки ротора ρ_a .

Путь l , проходимый частицей a , участвующей в относительном движении, является рабочей длиной лопасти. Частица a покинет лопасть в момент времени $t + \Delta t$, определяемый углом схода β . Движение любой другой частицы b «пакета» происходит аналогично.

Следует отметить, что направления векторов скоростей, сообщаемых частицам лопастью бitera, различаются по модулю и направлению. Частицы отбрасываются ротором на различные расстояния, образуя тем самым рассев материала.

Таким образом, в течение промежутка времени $t + \Delta t$ (от момента вхождения до момента отбрасывания) лопасть бitera будет совершать свой рабочий ход. При этом частицы материала будут покидать лопасть веерообразным потоком по мере продвижения лопасти в секторе с центральным углом β (рисунок 1).

Для определения радиуса загрузки бitera рассмотрим частицу, влетающую в межлопастное пространство со скоростью v . За время t частица проходит путь $s = ef = vt$ (см. рисунок 1). На максимальную глубину будут проникать частицы, влетающие сразу после прохода одной из лопастей, до того момента, пока не соприкоснутся со следующей лопастью. Если обозначить угол расстановки лопастей как λ , то время t поворота лопасти на угол λ :

$$t = \frac{\lambda}{\omega} = \frac{30 \cdot \lambda}{\pi \cdot n}, \quad (4)$$

где λ – угол расстановки лопастей бitera, град.;
 ω – окружная скорость вращения бitera, рад./с;
 n – частота вращения бitera, мин⁻¹.

Для определения пути, проходимого частицей в межлопастном пространстве до момента ее соприкосновения с лопастью, с учетом формулы (4), получим:

$$S = \frac{30 \cdot \lambda \cdot v_q}{\pi \cdot n}, \quad (5)$$

где v_q – скорость частицы, влетающей в межлопастное пространство, м/с.

Поскольку материал до вхождения в межлопастное пространство перемещается по транспортеру, то $v_q = v_{mn}$. Учитывая, что радиус загрузки ρ представляет собой расстояние от оси бitera до рассматриваемой части-

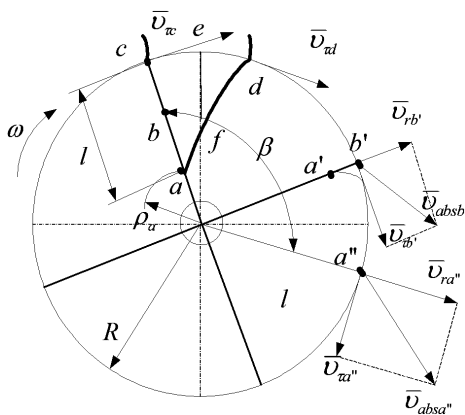


Рисунок 1. – Схема разгрузки битерного распределителя

цы, а также принимая, что к моменту соприкосновения частицы и лопасти $l \approx s = ef$, его можно определить через путь s как

$$\rho = R - s, \quad (6)$$

где R – радиус бitera, м.

Тогда с учетом зависимостей (5) и (6) для определения радиуса загрузки получим следующую формулу:

$$\rho = R - \frac{30 \cdot \lambda \cdot v_{mn}}{\pi \cdot n}. \quad (7)$$

Таким образом, мы установили теоретические зависимости, позволяющие определить глубину проникновения частиц в межлопастное пространство бitera (формула (5)) и отыскать радиус загрузки бitera (формула (7)).

Количество лопастей бitera существенно влияет на качество работы машины, и от выбора данного параметра зависит бесперебойное протекание рабочего процесса.

Секундный объем материала, подаваемого питающим транспортером, должен соответствовать объемной производительности бiterного рабочего органа. Для определения потребного количества лопастей воспользуемся следующей формулой:

$$z = \frac{60 \cdot b_{mn} \cdot v_{mn}}{s \cdot b \cdot n},$$

где s – глубина проникновения частиц в межлопастное пространство бitera, м;

b – ширина бitera, м.

С учетом формулы (5):

$$z = 2\pi \cdot b_{\text{тл}} / \lambda b.$$

Таким образом, для определения потребного количества лопастей необходимо по формуле (5) определить глубину проникновения частиц в межлопастное пространство бitera. Как показывают расчеты и экспериментальные исследования, глубина проникновения частиц составляет $s = 0,01$ м. С учетом того что лопасть бitera должна полностью захватывать материал, подаваемый питающим транспортером, ширина бitera должна быть равной ширине подающего транспортера.

Заключение

Разработанная методика расчета и полученные уравнения позволят повысить надежность приема и выдачи трудносыпучих материалов бункером-питателем-дозатором.

19.06.2015

Литература

1. Передня, В.И. Малозатратные технологические процессы – основа получения конкурентоспособной продукции: к 80-летию со дня рождения и к 55-летию творческой деятельности / В.И. Передня. – Минск: НППЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2013. – 132 с.

2. Передня, В.И. Комплект оборудования для производства белково-витаминно-минеральных добавок. / В.И. Передня, В.И. Хруцкий, А.М. Тарасевич // Сельскохозяйственная научно-техническая информация. – 2014. – № 1.
3. Жешко, А.А. Внесение мульчирующих материалов в приствольные полосы плодовых деревьев ротором с лопастями переменной высоты: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / А.А. Жешко. – Минск, 2008.

УДК 631.363:636.085

А.А. Романович

(УО «БГАТУ»,

г. Минск, Республика Беларусь)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАВИТАЦИИ ПРИ ГИДРОДИСПЕРГИРОВАНИИ ЗЕРНОФУРАЖА

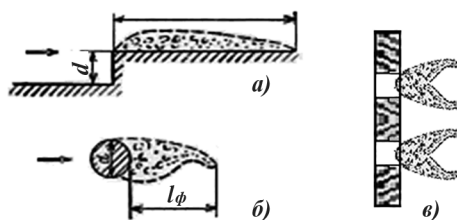
Введение

Повышение продуктивности животных, снижение затрат на единицу продукции немислимы без эффективного использования кормов. Для стабилизации полноценного кормления животных в мировой практике все больше применяют концентрированные корма на основе зерна. Однако переваримость зерна составляет всего 60–65 %. Для увеличения усвояемости применяют различные способы обработки зернофуража. В настоящее время наиболее эффективными являются влаготепловые способы, среди которых особого внимания как наименее энергоемкий заслуживает гидродинамический способ обработки зернофуража с использованием кавитации [1].

Результаты исследований

В процессе обработки зернового материала в гидродиспергаторе обрабатываемая среда подвергается механическому и гидродинамическому (кавитационному) воздействиям. Явление кавитации возникает в жидкости при понижении в ней давления до предела, при котором происходят разрывы потока. Наступление кавитации характеризуется появлением мельчайших парогазовых пузырьков, которые при соответствующем развитии кавитации образуют в потоке кавитационные пульсирующие каверны – факелы кавитации (рисунок 1).

Пузырьки захлопываются во время полупериодов сжатия, создавая кратковременные им-



а) при обтекании выступа;
б) при обтекании цилиндра;
в) при прохождении через отверстия

Рисунок 1. – Факелы кавитации

пульсы давления, с образованием точечных температур, способных разрушать даже весьма прочные материалы. Если кавитационные пузырьки замыкаются вблизи от твердого тела, то многократно повторяющиеся удары приводят к разрушению поверхности рядом находящегося твердого тела. Импульсы давления, возникающие в кавитационных пузырьках, обуславливают также мгновенные разрывы микроорганизмов и простейших, находящихся на твердых предметах и в водной среде. Вода, получившая порцию энергии в виде серии возмущений давления, начинает постепенно нагреваться [2]. Таким образом, можно утверждать, что при гидродинамической обработке зерна одновременно происходят три процесса: измельчение, смешивание и нагрев водно-зерновой массы.

Для переработки зерна в легкоусвояемую пастообразную массу был изготовлен экспериментальный гидродиспергатор, состоящий из емкости вместимостью 200 л, центробежного насоса производительностью $25 \text{ м}^3/\text{ч}$, трубопроводов и кавитатора, выполненного коническим.

Конический патрубок предназначен для увеличения давления жидкости до порогового значения, после которого, попадая в область атмосферного давления (в емкость аппарата), парогазовые пузырьки начинают захлопываться, разрушая при этом зерновые компоненты смеси.

Для определения рациональных параметров гидродиспергатора рассмотрим процессы, происходящие в коническом патрубке при движении жидкой кормосмеси (рисунок 2).

При работе установки жидкость движется по участку трубопровода от выхода из центробежного насоса до ускоряющего патрубка конической формы длиной L_1 и далее по коническому патрубку длиной L_2 .

Когда жидкость проходит через трубопровод диаметром D , она обладает давлением p_1 . При этом давление $p_1 = \text{const}$, так как это – создаваемое насосом давление. В процессе движения по коническому патрубку давление жидкости постепенно увеличивается, и на выходе из конического патрубка диаметром d она имеет давление p_2 .

Таким образом, для получения эффекта кавитации в рабочей емкости гидродиспергатора необходимо определить выходной диаметр ускоряющего патрубка d и давление p_2 , которое необходимо создать на выходе из конического патрубка.

Для определения данных параметров запишем уравнение:

$$V_1 p_1 = V_2 p_2,$$

где V_1 – условный объем жидкости в трубопроводе, м^3 , $V_1 = \frac{\pi D^2}{4} L_1$;

V_2 – условный объем жидкости в коническом патрубке, м^3 ,

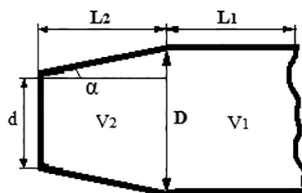


Рисунок 2. – Схема ускоряющего патрубка

$$V_2 = \frac{1}{3} \pi L_2 \left(\frac{D^2}{4} + \frac{d^2}{4} + \frac{Dd}{4} \right),$$

где D – диаметр трубопровода, м;

d – выходной диаметр ускоряющего патрубка, м;

L_1 – длина трубопровода от выхода из центробежного насоса до ускоряющего патрубка, м;

L_2 – длина конического патрубка, м.

Подставив выражения для нахождения объемов, получим:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\frac{\pi D^2 L_1}{4}}{\frac{1}{3} \pi L_2 \left(\frac{D^2}{4} + \frac{d^2}{4} + \frac{Dd}{4} \right)} = \frac{3D^2 L_1}{L_2 (D^2 + d^2 + Dd)}. \quad (1)$$

Выходной диаметр ускоряющего патрубка d можно выразить через угол наклона боковой поверхности α . Так как $\operatorname{tg} \alpha = \frac{D-d}{2L_2}$, то

$$d = D - 2L_2 \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

Подставив в формулу (1) значение (2), получим:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{3D^2 L_1}{L_2 (D^2 + (D - 2L_2 \operatorname{tg} \alpha)^2 + 4D(D - 2L_2 \operatorname{tg} \alpha))}. \quad (3)$$

Упростив выражение (3), имеем:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{3D^2 L_1}{6D^2 L_2 - 12DL_2^2 \operatorname{tg} \alpha + 4L_2^3 \operatorname{tg}^2 \alpha}. \quad (4)$$

Так как величина $p_1 = \text{const}$, то из выражения (4) выразим давление p_2 :

$$p_2 = \frac{3D^2 L_1 p_1}{6D^2 L_2 - 12DL_2^2 \operatorname{tg} \alpha + 4L_2^3 \operatorname{tg}^2 \alpha}.$$

Необходимым условием возникновения кавитации является понижение давления в потоке жидкости до давления парообразования, то есть кавитация возникает, когда абсолютное мгновенное давление p_A будет удовлетворять условию

$$p_A = p_2 - p_a \geq p_{кр},$$

где p_a – атмосферное давление, кПа;

$p_{кр}$ – критическое давление с учетом влияния выделяющегося воздуха из жидкости при кавитации и наличия твердых взвешенных частиц, кПа.

Обычно двумя последними факторами пренебрегают и принимают $p_{кр} \approx p_T$, где p_T – абсолютное давление паров жидкости, значение которого определяется по следующей зависимости:

$$p_T = 0,0001T^3 - 0,0034T^2 + 0,1138T + 0,36.$$

При повышении пульсаций давления в вихревом следе или при сносе кавитационных пузырьков в области повышенного давления пузырьки захлопываются (разрушаются). Если захлопывание происходит у твердой стенки, то материал ее подвергается значительным механическим ударным воздействиям. Эти воздействия при соответствующих условиях приводят к разрушению измельчаемого материала.

В качестве критерия, характеризующего кавитацию, обычно применяют коэффициент кавитации:

$$K = \frac{P_{\text{хар}} - P_{\text{кр}}}{\rho_{\text{п}} v_{\text{хар}}^2}, \quad (5)$$

где $P_{\text{хар}}$ – абсолютное давление вблизи обтекаемого тела без учета вызванных им возмущений;

$\rho_{\text{п}}$ – давление парообразования;

$v_{\text{хар}}$ – абсолютная скорость потока вблизи обтекаемого тела без учета вызванных им возмущений.

Так как разрушение зерновой массы происходит непосредственно после выхода жидкости из конического патрубка и до того момента, пока давление жидкости не станет равным давлению в емкости, принимаем его равным среднему значению:

$$P_{\text{хар}} = \frac{P_2 + P_a}{2}. \quad (6)$$

Абсолютную скорость потока вблизи обтекаемого тела без учета вызванных им возмущений можно определить по формуле:

$$v_{\text{хар}} = \frac{v_{\text{нас}} \cos \alpha + v_{\text{нас}}}{2}, \quad (7)$$

где $v_{\text{нас}}$ – скорость потока, создаваемая насосом, м/с.

Подставив в выражение (5) формулы (6), (7) и упростив выражение, получим искомое значение коэффициента кавитации:

$$K = \frac{\frac{P_2 + P_a}{2} - P_{\text{кр}}}{\rho_{\text{п}} \left(\frac{v_{\text{нас}} \cos \alpha + v_{\text{нас}}}{2} \right)^2} = \frac{P_2 + P_a - 2P_{\text{кр}}}{2\rho_{\text{п}} v_{\text{нас}}^2 \left(\frac{\cos \alpha + 1}{2} \right)^2}.$$

Значение параметра кавитации, соответствующее условиям возникновения кавитации, принято называть критическим и обозначать $K_{\text{кр}}$. Очевидно, кавитации не будет, когда

$$K > K_{\text{кр}}.$$

Значение $K_{\text{кр}}$ будет различным в зависимости от видов неровностей, встречаемых потоком. В данном случае будет иметь место сужение трубопровода. Для неровностей такого вида (пространственных выступов) рекомендуется принимать $K_{\text{кр}} = 2 \sin \alpha$ [3].

Параметром, характеризующим процесс, является степень развития (стадия) кавитации, которая определяется отношением:

$$\beta_k = \frac{K}{K_{kp}},$$

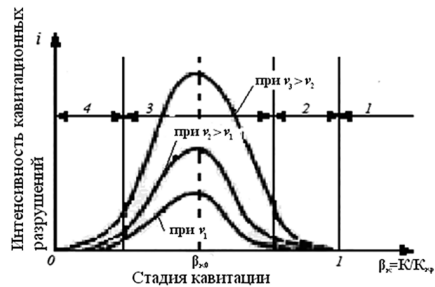
где K – коэффициент кавитации в данных условиях работы;

K_{kp} – коэффициент кавитации в условиях начала ее возникновения.

В зависимости от степени развития процесса различают начальную стадию кавитации, развившуюся кавитацию и суперкавитацию (рисунок 3).

Соответствующие им значения β для плохообтекаемых тел лежат в следующих границах: начальная стадия – $0,7 < \beta_k < 1,0$, развившаяся – $0,15 < \beta_k < 0,70$, суперкавитация – $\beta_k \geq 0,15$.

Кавитационные разрушения, их интенсивность зависят от формы и стадии кавитации, очертаний обтекаемого тела, содержания в воде воздуха, скорости потока, вида материала кавитируемого тела. При некотором значении $\beta_k = \beta_{k0}$ в стадии развившейся кавитации возникают максимальные кавитационные разрушения. В начальной же стадии и в стадии суперкавитации разрушения существенно меньшие или вообще могут отсутствовать, особенно при непродолжительных кавитационных воздействиях [4].



1 – бескавитационный режим; 2 – начальная стадия;
3 – развившаяся кавитация; 4 – суперкавитация

Рисунок 3. – Схематический график зависимости интенсивности кавитационных разрушений i от стадии кавитации $\beta = K/K_{kp}$

Заключение

Получены зависимости для определения условий возникновения кавитации при гидродиспергировании зернофуража. Исследования показали, что кавитационные разрушения, их интенсивность принимают свои максимальные значения в стадии развившейся кавитации.

15.09.2015

Литература

1. Государственная программа возрождения и развития села на 2005–2010 годы: Указ Президента Республики Беларусь, 23 марта 2005 г., № 150. – Минск: Беларусь, 2005. – С. 9–10.
2. Шестаков, С.Д. Основы теории процессов и аппаратов кавитационной дезинтеграции: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / С.Д. Шестаков. – М., 2001. – 128 с.
3. Идельчик, Е.И. Справочник по гидросопротивлениям / Е.И. Идельчик. – М.: Наука, 1992. – 354 с.
4. Башта, Т.М. Машиностроительная гидравлика / Т.М. Башта. – М.: Машиностроение, 1971. – 672 с.

УДК 636.087.6

В.В. Чумаков

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

ПОЛУЧЕНИЕ ПРОТЕИНОВОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ ИЗ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ МЕТОДОМ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ

Введение

Насыщение продовольственных рынков России и Беларуси высококачественными молочными и мясными продуктами собственного производства является одной из важнейших задач на ближайшую перспективу.

Существующее в Беларуси состояние комбикормового производства не позволяет в короткие сроки решить проблему растущих потребностей животноводческих, птицеводческих и рыбноводческих хозяйств в высококачественных комбикормах собственного производства. Требуется внедрение новых технологий и техническое переоснащение комбикормовых предприятий перспективным современным оборудованием.

Отрасль производства комбикормов не обеспечена белковым сырьем, различными белково-витаминно-минеральными добавками, крайне недостаточно перерабатывается предприятиями агропромышленного комплекса в компоненты комбикормов вторичных сырьевых ресурсов и отходов пищевой промышленности и сельского хозяйства.

Согласно среднестатистическим данным, суммарная масса отходов убоя и потрошения птицы составляет 25–30 % ее живого веса. Это перо, головы, лапы, пищеводы, кишки с содержимым и другие боенские отходы. Содержание белка в мякотных отходах составляет до 15–20 %, в пере – до 85 %. При современных объемах производства отходы составляют сотни тысяч тонн в год. Например, в ОАО «Агрокомбинат «Дзержинский» ежегодный объем вторичного сырья составляет 40–50 т.

Основная часть

Переработка непищевых отходов предполагает получение биологически ценного, безопасного и стойкого при хранении корма. Необходимое условие достижения этой цели – термообработка отходов, в процессе которой сырье обеззараживается и обезвоживается. От правильности ее проведения зависит качество получаемого корма.

Традиционно наиболее распространена многочасовая термообработка при повышенном давлении в аппаратах периодического действия, в частности в вакуумных котлах (котлах-утилизаторах Лапса), сухим (без контакта с острым паром или водой) или мокрым спо-

собою. В таких котлах сырье медленно нагревается до температуры 118–130 °С, при которой погибает основная масса бактерий, и стерилизуется в течение 30–60 минут при давлении 0,3–0,4 МПа. Затем разваренная масса сушится в течение нескольких часов под давлением 0,05–0,06 МПа при 70–80 °С. Из термообработанных отходов получают мяскокостную, мясную, кровяную, костную, перьевую муку.

Можно выделить следующие основные недостатки традиционных технологий:

- длительность процесса получения готового продукта (до 10–12 часов);
- многочасовая термообработка приводит к денатурации 70–75 % протеина, в результате снижается кормовая ценность продукта (он плохо усваивается птицей);
- высокая энергоемкость (для работы установок помимо электроэнергии необходимы газ, пар и горячая вода);
- загрязнение окружающей среды неприятнопахнущими и токсическими веществами (сероводородом, сернистым газом, меркаптанами и др.);
- образование жиросодержащих сточных вод, увеличивающих нагрузку на локальные очистные сооружения.

Для получения высококачественного кормового продукта, в котором максимально сохраняется биологическая ценность исходного сырья, необходимо свести к минимуму время термообработки. При этом желательно использовать экономичные и экологически чистые технологии.

К новейшим приемам переработки биологических отходов, соответствующим этим требованиям, относятся экструзионные технологии.

Экструзия (от латинского *extrudo* – выдавливание) – это процесс, заключающийся в термо-, гидро- и механохимической обработке сырья для получения продуктов с новой структурой и свойствами. Экструзионные технологии позволяют проводить быстро и непрерывно в одной машине (экструдере) ряд операций практически одновременно: перемешивать, сжимать, нагревать, стерилизовать, варить и формовать продукт. За короткое время в сырье происходят процессы, соответствующие длительной термообработке.

В современных экструдерах, в зависимости от характера обрабатываемого материала, температура может достигать 200 °С, а давление – 4–5 МПа. В то же время отрицательные эффекты обработки сводятся к минимуму, благодаря ее кратковременности. Обрабатываемый материал находится в экструдере не более 30–90 секунд [1].

Развитие экструзионной техники позволило предложить новые способы утилизации отходов пищевой промышленности, зверохозяйств, свиноводства и птицеводства.

Для этого измельченные отходы животного происхождения (в том числе падеж и конфискат СЭС) предварительно смешивают с растительным наполнителем. Таким образом уменьшают влажность массы, подаваемой

в экструдер, до 28–30 %. Полученную смесь подвергают экструзионной переработке, получая пригодный для кормления свиней, птицы и пушных зверей продукт. В качестве наполнителя могут быть использованы зерно, зерноотходы, отруби, шроты.

В результате экструдирования перевариваемость протеина достигает 90 %. Аминокислоты становятся более доступными вследствие разрушения в молекулах белка вторичных связей. Содержание доступного лизина достигает 88 %. В то же время полностью или значительно разрушаются антипитательные соединения, такие как уреазы, ингибиторы протеаз, трипсина. Крахмал желатинизируется, что облегчает его усвоение.

Метод экструзионной обработки позволяет получить ряд преимуществ:

- интенсифицировать производственный процесс;
- повысить степень использования сырья;
- получить готовые к применению пищевые продукты или создать для них компоненты, обладающие высокой сгущающей водо- и жиродерживающей способностью;
- снизить производственные затраты (расходы тепла, электроэнергии);
- снизить трудовые затраты;
- расширить ассортимент пищевых продуктов;
- повысить усвояемость;
- снизить микробиологическую обсемененность продуктов;
- уменьшить загрязнение окружающей среды.

Кроме того, в результате экструзии происходят существенные изменения и текстурирование не только на клеточном уровне, но и сложные химические, микробиологические (стерилизация), физические процессы и явления [2].

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» с целью сокращения объемов закупок белковых компонентов (рыбной муки), входящих в состав комбикорма, и необходимости рационального и эффективного использования имеющейся сырьевой базы птицефабрик разработал технологию и комплект оборудования для получения протеиновой кормовой добавки из боенских отходов и пера птицы.

Предлагаемая технология реализует принципиально новый подход к утилизации вторичных продуктов убоя птицы (пера, кишечного тракта и др.). Переработка боенских отходов предполагает получение высокобелковой, стойкой при хранении кормовой добавки. При этом перевариваемость белков, том числе протеина кератиносодержащих отходов, по результатам промышленных испытаний, проведенных государственным учреждением «Центральная научно-исследовательская лаборатория хлебопродуктов», может достигать 85 %.

Технологический процесс экструзионной переработки боенских отходов и пера птицы состоит из:

- измельчения боенских отходов и пера;
- смешивания измельченной массы с зерновым наполнителем;
- экструзии смеси;
- охлаждения.

Технологическая схема комплекта технологического оборудования представлена на рисунке 1.

В соответствии со схемой, боенские отходы и перо птицы из бункера цеха убой птицы шнековым транспортером 1 подаются в пастоприготовитель 2, где перемалываются.

Из пастоприготовителя порция размолотых боенских отходов шнековым транспортером 3 подается в смеситель 4.

После загрузки боенских отходов шнековым транспортером 5 из бункера наполнителя 6 в смеситель 4 для коррекции влажности подается порция зернового (или иного) наполнителя.

После перемешивания исходных компонентов полученная масса шнековым транспортером 7 подается в блок бункеров 8, из которого шнековыми транспортерами 9, 10 подается в питатели экструдера 13, 14. Далее исходная масса подается непосредственно в экструдеры 11, 12, где происходит процесс экструзии исходных компонентов.

Из экструдеров полученный экструдат шнековыми транспортерами 15 подается в охладитель экструдата 16.

Далее охлажденный экструдат по пневмопроводу 18 подается в дробилку 19, где осуществляется дробление материала до фракции 2–3 мм.

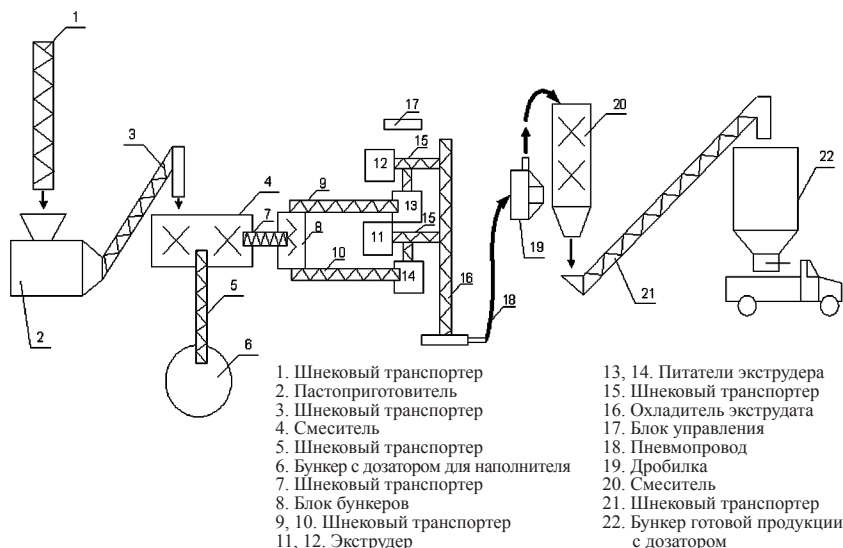


Рисунок 1. – Технологическая схема получения протениновой кормовой добавки

Из дробилки 19 измельченная масса подается в смеситель 20, где дополнительно происходит перемешивание экструдата до однородной массы.

Из смесителя 20 полученная протеиновая добавка шнековым транспортером 21 загружается в бункер готовой продукции с дозатором 22.

По данной технологии были проведены опыты экструдирования смеси с разным процентным соотношением отходов и зернового наполнителя. Показатели полученных протеиновых кормовых добавок приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Основные показатели протеиновых кормовых добавок

Наименование показателя	Смесь 1 (30 % – боенские отходы птицы; 10 % – перо; 60 % – дробленое зерно)	Смесь 2 (40 % – боенские отходы птицы; 10 % – перо; 50 % – дробленое зерно)	Смесь 3 (30 % – боенские отходы птицы; 20 % – перо; 50 % – дробленое зерно)
Сухое вещество, %	86	86	87
Сырой протеин, %	15...20	20...25	30...32
Сырая клетчатка, %	3	3	2,8
Кальций, %	2,0...2,5	2,0...2,5	2,0...2,5
Фосфор, %	0,6...0,7	0,6...0,7	0,6...0,7
Натрий, %	0,14...0,15	0,14...0,15	0,14...0,15
Лизин, %	0,9...1,07	0,9...1,07	0,9...1,07
Переваримость протеина, %	82...83	82...83	82...83

Заключение

При использовании метода экструзии для получения протеиновой кормовой добавки на основе боенских отходов и пера птицы достигается главная цель производства корма животного происхождения – изготовление высококачественного белкового продукта, содержащего комплекс незаменимых аминокислот. Также экструзионная обработка исходных компонентов эффективно повышает питательную ценность получаемой кормовой добавки и увеличивает ее усвояемость.

Анализируя полученные результаты, можно сказать, что потенциально возможные доходы птицефабрик от использования протеиновых кормовых добавок из отходов собственного производства могут быть сравнимы с доходами от реализации основных продуктов производства.

12.06.2015

Литература

1. Кадыров, Д. Экструзионная переработка биологических отходов в корма / Д. Кадыров, А. Гарзанов, В. Плитман // Птицеводство. – 2008. – № 7. – С. 51–54.
2. Магомедов, Г.О. Экструзионная технология пищевых продуктов / Г.О. Магомедов [и др.] // Пищевая промышленность. – 2003. – № 12

УДК 636.087.6

**В.В. Чумаков,
И.В. Барановский, Е.Л. Жилич**

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

ЭКСТРУДИРОВАННЫЕ КОРМА – НАЗНАЧЕНИЕ, ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

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 при несбалансированности комбикормов достигает 30–35 %, себестоимость ее возрастает в 1,5 раза, затраты кормов увеличиваются в 1,3–1,4 раза [1, 2, 3].

Поиск новых эффективных способов подготовки кормового сырья актуален для животноводческих и птицеводческих предприятий.

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

В настоящее время, наряду с увеличением объемов производства и повышения качества травяных кормов, необходимо расширять ассортимент и увеличивать производство комбикормов и довести их объем, в частности для молодняка крупного рогатого скота, до 2 млн тонн и выше. 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 выращиваются в Республике Беларусь.

В последнее время большое значение придается частично возделываемым в республике зерну кукурузы, богатому крахмалом, и бобам сои, богатым белком.

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 к.е. 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 скормливать его животным и птицам рекомендуется в смесях с другими культурами, богатыми протеином [4, 5].

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 % углеводов 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, 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 троекратным превышением содержания переваримого протеина и 8-кратным – жира, но также значительно большим содержанием сырой клетчатки и минеральных веществ [6].

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 %) [7].

В зерне сои имеются и антипитательные вещества (ингибиторы трипсина, лектины, олигопептид, уреазы, липоксигеназы).

Ингибиторы протеиназы являются самыми термоустойчивыми антипитательными компонентами соевых семян, активность которых необходимо снижать.

В современных условиях считается бесспорным, что одним из главных условий экономного и эффективного использования кормов, в том числе бобовых культур и зерна кукурузы, является подготовка их к скормливанию. На переработку зерна в организме животных затрачивается большое количество энергии, которая может использоваться на другие цели.

Подготовка кормов к скормливанию является одним из важных способов повышения их поедаемости, переваримости, усвоения и использования питательных веществ в организме животных. На сегодняшний день

наиболее эффективными способами подготовки зерновых кормов являются измельчение, плющение, ошелушивание, поджаривание, осолаживание, дрожжевание, проращивание, микронизация, гранулирование, увлажнение, влаготепловая обработка.

Все вышеперечисленные способы включают в себя методы повышения питательной и биологической ценности комбикормов. Применяемые в настоящее время способы в основном сводятся к изменению физической формы зерна путем дробления или плющения, что повышает усвоение питательных веществ, но не изменяет их структуру.

Негативно отражается на производстве комбикормов низкая обеспеченность отрасли белком животного происхождения, крайне недостаточно перерабатывается предприятиями агропромышленного комплекса компоненты комбикормов вторичных сырьевых ресурсов и отходов пищевой промышленности и сельского хозяйства.

Для получения высококачественного кормового продукта, в котором максимально сохраняется биологическая ценность исходного сырья, необходимо свести к минимуму время термообработки. При этом желательно использовать экономичные и экологически чистые технологии.

К новейшим приемам подготовки бобовых культур, зерна злаковых культур и зерна кукурузы, а также переработки биологических отходов относятся экструзионные технологии.

Метод экструдирования совмещает воздействие температуры с эффектом резкого перепада давления в момент выброса продукта из экструдера. Умеренный уровень теплового воздействия – 150 °С в конце процесса в течение 3–4 секунд (продолжительность всего процесса – 30–60 секунд), приводит к равномерной денатурации нативного белка, не нарушая первичные соединения аминокислот и тем самым сохраняя питательную ценность протеина. Активность ферментов (в первую очередь ингибиторов трипсина в сое) снижается до приемлемой нормы, обеспечивающей максимальную кормовую эффективность.

Экструдирование увеличивает доступность масла в сое за счет разрыва маслосодержащих клеток. Это происходит при резком перепаде давления (от 40–60 до 1 *атм.*) в момент выброса продукта. Поэтому экструдат представляет собой маслянистую гомогенную массу. При поджаривании этот эффект не достигается даже при самом мелком измельчении соевых бобов. Экструдат долгое время не прогоркнет из-за наличия лецитина, токоферолов и инактивации липооксидазы.

Экструзия способствует образованию комплексного соединения жира с крахмалом в зерне в соотношении 1:10, а также воздействует на клетчатку, изменяя ее плотность путем разрушения структуры под влиянием механических факторов и влаги.

Применение кормов экструзионной переработки в составе комбикорма ведет к повышению скорости роста животных и качества получаемой от них продукции. Метод экструзии позволяет даже на ранних стадиях раз-

вития животных заменять дорогие корма животного происхождения растительными белками экструдированных бобов сои.

При рекомендуемых режимах экструзии в зерне гибнет большая часть микрофлоры (бактерии, грибки). Это очень важно, если зерно поражается плесенью и имеет большую бактериальную обсемененность. В процессе экструзии в зерне кукурузы микроорганизмы погибают полностью из-за высокой температуры (130–160 °С) и давления (40–60 атм.).

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» в рамках Государственной научно-технической программы «Агропромкомплекс», 2013–2015 годы, подпрограмма «Агропромкомплекс – устойчивое развитие», разрабатывает технологию и оборудование для получения высокоусвояемого экструдированного корма на основе бобовых культур и зерна кукурузы.

Развитие экструзионной техники для получения белка животного происхождения позволило найти новые способы утилизации отходов птицеводства. Измельченные боенские отходы и перо птицы (в том числе падеж и конфискат СЭС) предварительно смешивают с растительным наполнителем с целью снижения влажности массы, подаваемой в экструдер, до 28–30 %. Из полученной смеси после экструзионной переработки получают пригодный для кормления животных и птицы продукт. В качестве наполнителя могут быть использованы зерно, зерноотходы, отруби, шроты, в том числе некондиционный материал.

В результате экструдирования перевариваемость белка достигает 90 %. Аминокислоты становятся более доступными вследствие разрушения вторичных молекулярных связей. Содержание доступного лизина возрастает до 88 %. В то же время полностью или значительно разрушаются антипитательные соединения: уреазы, ингибиторы протеаз и трипсина. Крахмал желатинизируется, что облегчает его усвоение.

Метод экструзионной обработки позволяет получить ряд преимуществ:

- интенсифицировать производственный процесс;
- повысить степень использования сырья;
- получить готовые к применению пищевые продукты или создать для них компоненты, обладающие высокой сгущающей водо- и жиroadерживающей способностью;
- снизить производственные затраты (расходы тепла, электроэнергии);
- снизить трудовые затраты;
- расширить ассортимент пищевых продуктов;
- повысить усвоение корма животными и птицей;
- снизить микробиологическую обсемененность продуктов;
- уменьшить загрязнение окружающей среды.

Кроме того, при экструзии происходят существенные изменения и текстурирование не только на клеточном уровне, но и сложные химические, микробиологические (стерилизация), физические процессы.

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» с целью сокращения объемов закупок белковых компонентов животного происхождения (рыбной муки), входящих в состав комбикорма, и необходимости рационального и эффективного использования имеющейся сырьевой базы птицефабрик разработал технологию и комплект оборудования для получения экструдированной протеиновой добавки (рисунок 1).



Рисунок 1. – Комплект оборудования для экструдирования



Рисунок 2. – Экструдированная протеиновая добавка

ООО «БелБройлер» на линии экструдирования, смонтированной на площадях филиала 1-й Минской птицефабрики в г.п. Ивенец, используя в качестве исходного сырья боенские отходы птицефабрик и мясоперерабатывающих предприятий, получает экструдированную протеиновую добавку (рисунок 2).

При получении белковой кормовой добавки на основе боенских отходов и пера птицы методом экструзии выполняется основное условие производства корма животного происхождения – получение высококачественного белкового продукта, содержащего аминокислотный комплекс. Экструзионная обработка исходных компонентов эффективно повышает питательную ценность белковой кормовой добавки и облегчает ее усвоение птицей.

Размер потенциально возможных доходов птицефабрик от использования белковых кормовых добавок из отходов собственного производства сопоставим с величиной доходов от реализации основных продуктов производства.

Заключение

При введении экструдированных компонентов растительного и животного происхождения в состав комбикорма на 10–30 % повышается их усвоение, на 20–30 % увеличиваются надой молока, на 15–30 % – среднесуточные привесы. При этом потребление корма уменьшается на 8–12 %. Экструдирование позволяет на 30 % уменьшить расход зерновых компонентов.

Накопленный на сегодняшний день опыт заставляет по-новому оценивать экономическую, питательную и энергетическую значимость зерновых и бобовых ресурсов, а также отходов сельскохозяйственного производства и место экструзионных технологий при производстве конкурентоспособных кормов, концентратов и добавок. Это необходимо для внедрения современных программ кормления с целью возрождения и интенсивного наращивания отечественного производства высококачественных мясных продуктов.

12.06.2015

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. Яцко, Н.А. Эффективность использования кормов в скотоводстве / Н.А. Яцко // Животноводство Беларуси. – 1998. – № 1. – С. 15.
3. Яцко, Н.А. Молочная продуктивность коров при включении в состав комбикормов энерго-протеиновой добавки / Н.А. Яцко, Е.В. Летунович // Зоотехническая наука Беларуси: сб. науч. тр. – Жодино, 2014. – Т. 49, ч. 2. – С. 224–234.
4. Князюк, О.В. Структура питательности / О.В. Князюк // Кукуруза и сорго. – 1990. – № 4. – С. 21–23.
5. Надточаев, Н.Ф. Кукуруза на полях Беларуси / Н.Ф. Надточаев; Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 412 с.
6. Соя в кормопроизводстве: (научно-производственное издание) / В.Ф. Баранов [и др.]; ред.: В.М. Лукомец, Л.Г. Горковенко; РАСХ, Гос. науч. учрежд. масличных культур им. В.С. Пустовойта, Гос. науч. учрежд. Северо-Кавказский НИИ животноводства. – Краснодар: [б.н.], 2010. – 365 с.
7. Физиологическое состояние и репродуктивная функция организма самок животных при скармливании кормов из сои: автореф. дис... канд. с.-х. наук: 03.00.13 / 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 631.22.01

**Ю.А. Башко, В.И. Хруцкий,
А.А. Кувшинов**

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

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПЕРЕДВИЖНЫХ КОМБИКОРМОВЫХ УСТАНОВОК

Введение

В последние годы в Республике Беларусь возросла мощность комбикормовых заводов и увеличилось производство комбикормов и кормовых смесей в хозяйствах. Однако как по количеству, так и по качеству достигнутый уровень производства комбикормов не удовлетворяет поставленным задачам производства животноводческой продукции. Из-за нехватки ингредиентов, а также из-за отсутствия технической и технологической базы хозяйства, производящие комбикорм, значительную часть кормового зерна используют в виде простейших смесей.

Кроме того, значительная часть оборудования в действующих комбикормовых цехах устарела, не отвечает современным требованиям, что приводит к необходимости реконструкции цехов и частичной или полной замены оборудования.

Современное животноводство может существовать и развиваться только на основе использования комбикормов. Известно, что для успешного ведения животноводства сбалансированность рационов стоит на первом месте, так как доля влияния кормового фактора на продуктивность животных составляет 60–70 %, генетического фактора – 25–30 % и около 10 % – условия содержания.

Основная часть

В условиях рыночных отношений на первый план в сельскохозяйственных предприятиях выходят проблемы организации рентабельного производства продукции животноводства, для чего определяющим фактором являются корма. Низкая эффективность кормления животных ведет к снижению продуктивности, к растягиванию периода выращивания и откорма и, как следствие, к увеличению производственных затрат на энергоресурсы, зарплату, амортизацию. В итоге производимая во многих хозяйствах животноводческая продукция становится убыточной и неконкурентоспособной.

Как видно из таблиц 1, 2, государственные предприятия не в состоянии удовлетворить растущую с каждым годом потребность в комбикормах. Если в 2005 году она составила 4,5 млн тонн, то к 2015 году объемы ее долж-

ны возрасти до 11 млн тонн. Комбикормовая промышленность с учетом имеющихся мощностей может выработать около 5 млн тонн комбикормов, остальную часть необходимо приготавливать непосредственно в хозяйствах.

Кроме того, приближение производства комбикормов и кормовых добавок к источникам сырья и местам потребления позволит более полно и рационально использовать сырье самих хозяйств.

Производство комбикормов непосредственно в хозяйствах также даст возможность сократить транспортные расходы на перевозку исходного сырья и готового продукта, из-за чего ежегодная экономия только на перевозках составляет 25–30 тыс. тонн топлива, бесперебойно обеспечить животных свежими, доброкачественными комбикормами заданной рецептуры.

Бытует мнение, что на хозяйственных комбикормовых заводах производят только измельчение зерна, получать качественные комбикорма нецелесообразно. Как показывает практика, на любом хозяйственном предприятии проще производить сбалансированные комбикорма, и не только для различных видов животных, но и для отдельных групп животных, что практически очень трудно осуществить на крупных заводах.

Таблица 1. – Общая потребность общественного животноводства в комбикормах по данным РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству»

Наименование	годы		
	2013	2014	2015
Прогнозируемое производство, тыс. <i>т</i> :			
– молока	8142,3	8990,4	10000
– говядины	772,0	820,0	870,0
– свинины	525,0	573,0	630,0
Требуется комбикормов, тыс. <i>т</i>	6795,8	7263,0	7790

Таблица 2. – Производство комбикормов и БВМД в республике Беларусь по данным РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству»

Наименование	годы		
	2013	2014	2015
Планируется произвести комбикормов, тыс. <i>т</i> :			
– комбикормовая промышленность	3968	4150	4500
– непосредственно в хозяйствах	2827,8	3113	3290
Требуется комбикорма, тыс. <i>т</i> , для производства:			
– молока	2790	2960	3244
– говядины	2166	2275	2410
– свинины	1915	2028	2145
Требуется БВМД, тыс. <i>т</i>	660	710	770
Требуется премиксов, тыс. <i>т</i>	82	99	108

В настоящее время в более чем 500 хозяйствах республики имеются только размольно-смесительные агрегаты, а значительная часть комбикормовых установок устарела и не отвечает современным требованиям. Назрела необходимость и есть возможность технического переоснащения хозяйственных комбикормовых цехов.

Как показывают аналитические исследования, в целях обеспечения средних и малых ферм, а также подсобных хозяйств сбалансированными комбикормами целесообразно разработать технологию, комплект оборудования и организовать серийное производство передвижных комбикормовых установок.

Технология получения полноценных комбикормов на таких установках должна предусматривать возможность их приготовления и балансирования с учетом максимального использования имеющихся сырьевых ресурсов и соответствия утвержденным рецептам. В комплект оборудования должно входить автономное энергообеспечение, необходима максимальная автоматизация технологических процессов.

Преимущества мобильных и передвижных комбикормовых агрегатов: меньшая себестоимость производимого комбикорма (комбикорм, приготавливаемый на передвижной установке самими хозяйствами и сбалансированный по питательной ценности для разных возрастных групп животных, на 25–30 % дешевле по сравнению с покупным); минимальное количество обслуживающего персонала (один оператор); эффективное использование собственного сырья; производство корма непосредственно в местах хранения сырья.

Мобильные комбикормовые установки, поставляемые из-за рубежа, в основном высокопроизводительные – 10 *т/ч* и более. Их использование при относительно небольшом производстве комбикормов экономически неоправданно, однако они используются в основном средними и мелкими потребителями на фермах КРС с количеством животных 400 и менее голов при максимальной потребности не более 5 тонн в сутки.

Таким хозяйствам выгоднее эксплуатировать менее производительные, но более загруженные комбикормовые установки, находящиеся в самих хозяйствах или группе хозяйств. Установки должны иметь меньшую энергоемкость, производить качественный и дешевый комбикорм и при необходимости – использоваться как стационарные цеха.

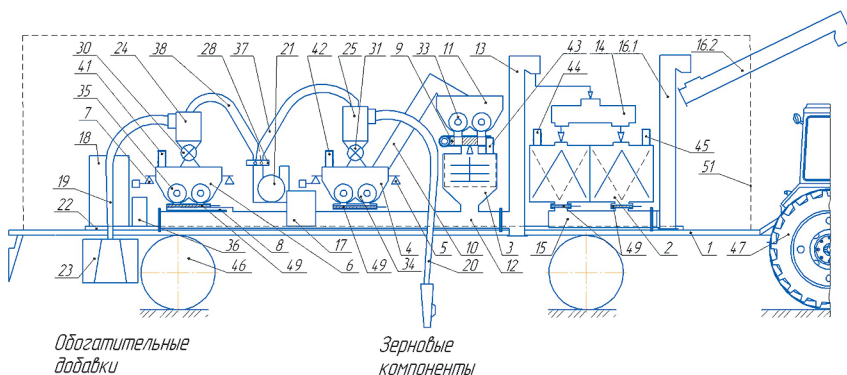
В РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана и прошла приемочные испытания в ГУ «Белорусская МИС» передвижная комбикормовая установка с автоматизированной системой управления. Технологическая схема установки представлена на рисунке 1.

Основные технические характеристики установки: производительность – 4 т/ч; номинальная мощность – 100 кВт; равномерность смешивания – $90 \pm 5\%$.

Технология приготовления полнорационных комбикормов на передвижной установке предусматривает поочередную пневмозагрузку, взвешивание, накопление и предварительное смешивание зерновых и других компонентов, требующих измельчения, а также поочередную пневмозагрузку, взвешивание, накопление и смешивание различных обогатительных добавок.

Затем требующие измельчения компоненты измельчаются, полученный продукт из дробилки выгружается на сборный конвейер, на который также выгружается отмеренная порция обогатительных добавок.

Потоки измельченных зерновых компонентов и обогатительных добавок накладываются друг на друга на сборном конвейере в виде слоеного



- 1 – прицеп; 2 – смеситель двухкамерный; 3 – дробилка; 4 – бункер-дозатор;
- 5, 7 – весы; 6 – смеситель-дозатор; 8 – конвейер винтовой из смесителя-дозатора;
- 9 – питатель дробилки; 10 – конвейер винтовой из бункера-дозатора; 11 – накопитель;
- 12 – конвейер винтовой сборный; 13 – конвейер винтовой вертикальный;
- 14 – конвейер винтовой реверсивный; 15 – конвейер винтовой из смесителя;
- 16.1 – конвейер винтовой выгрузной вертикальный; 16.2 – конвейер винтовой выгрузной поворотный; 17 – электрошкаф; 18 – блок автономного энергообеспечения;
- 19, 20, 37, 38 – пневмопроводы; 21 – пневмозагрузчик; 22 – рама; 23 – бункер;
- 24, 25 – циклоны; 28 – клапан; 30, 31 – затворы шлюзовые; 33, 34, 35 – рабочие органы;
- 36 – компрессор; 41, 42, 43, 44, 45 – фильтры-взрыворазрядители; 46 – ходовая часть;
- 47 – транспортное средство; 49 – задвижка; 51 – ограждение

Рисунок 1. – Технологическая схема комплекта оборудования мобильной комбикормовой установки МКОК-4

пирога в заданном соотношении, и общая масса подается в смеситель, что значительно ускоряет время смешивания, а главное – улучшает его качество.

Установка работает в непрерывном режиме, так как для измельчаемых компонентов и обогатительных добавок имеются свои накопительные емкости, а процесс смешивания осуществляется в двухсекционном смесителе.

Достоинством передвижного агрегата является также то, что его можно использовать и в стационарном исполнении.

Недостаточно решен вопрос для всех мобильных установок с загрузкой исходного сырья, состоящего порой из десяти и более компонентов, включая добавки, поскольку последние часто находятся на значительном расстоянии друг от друга. Для загрузки таких компонентов главным образом используют пневмотранспорт.

Практика показывает, что основной трудностью в расчете пневмопроводов (воздухопроводов) является определение потерь давления в пневмосистемах.

Исходными данными для расчета пневмотранспортных установок служат: длина и схема расположения пневмопроводов; производительность пневмоустановки по воздуху; величина концентрации транспортируемого компонента; вид компонента (зерно, мука, добавки) и его аэродинамические и физико-механические свойства (скорость витания частиц, насыпная плотность, эквивалентный диаметр).

Величина массовой концентрации зависит от размера частиц, насыпной плотности транспортируемого компонента, конфигурации трассы. Как показывают исследования, для зернистых компонентов $\mu = 5 \dots 9$, а для дерти, порошкообразных компонентов $\mu = 1,5 \dots 4$.

Требуемый расход воздуха для загрузки зерновых компонентов и обогатительных добавок можно определить по формуле:

$$Q_B = Q_K / 3,6\rho\mu, \quad (1)$$

где Q_K – требуемая производительность по компоненту;

ρ – плотность воздуха (поскольку длина пневмопроводов относительно небольшая, для упрощения расчетов можно принять $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$);

μ – концентрация компонентов в воздухопроводе.

Диаметр воздухопровода можно определить по формуле:

$$D = \sqrt{1,273Q_B / V}, \quad (2)$$

где D – диаметр воздухопровода, м;

V – скорость воздуха, м/с.

Потери давления (ΔP) в пневмопроводе целесообразно определять по следующему уравнению:

$$\sum \Delta P = \Delta P_{\text{осн}} + \Delta P_{\text{всп}}, \quad (3)$$

где $\Delta P_{\text{осн}}$ – потери давления в приемнике, в гибком трубопроводе и в циклоне;
 $\Delta P_{\text{всп}}$ – потери давления в таких вспомогательных элементах, как пылеотделители, отводы.

При подборе воздухоудвки следует иметь в виду, что физические свойства транспортируемого материала отличаются от принятых при расчете. Поэтому выбирать воздухоудвку следует не по расчетной величине перепада давления, а по давлению перемещенного воздуха:

$$P_{\text{вз}} = \Delta P_{\text{расч}} / (1 - 10^{-5} \Delta P_{\text{расч}}),$$

где $\Delta P_{\text{расч}}$ – общие потери давления в пневмосистеме не по расчетному расходу воздуха, а по общему расходу воздуха с учетом подсосов в отделителе, пылеотделителе и в других местах.

Количество воздуха общее будет равно:

$$Q_B = 1,05 (Q_{\text{расч}} + Q_{\text{подс}}).$$

Зная необходимую производительность транспортировки зерновых или мучнистых компонентов, массовую концентрацию, общие потери давления, можно подобрать воздухоудвку и диаметр пневмопроводов.

По результатам расчетов были построены графики теоретической производительности установки в зависимости от длины и диаметра трубопровода (рисунок 2), а также зависимость производительности от длины транспортирования для различных видов зерна (рисунок 3).

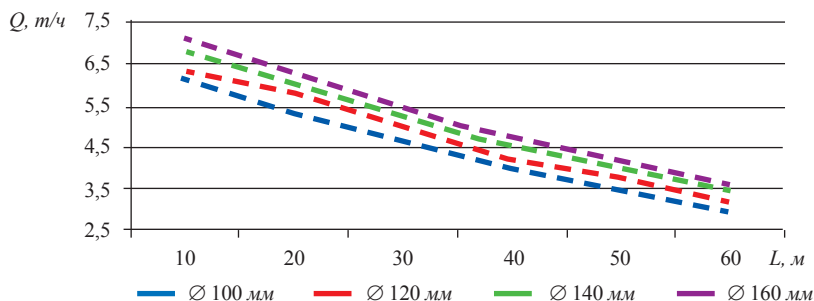


Рисунок 2. – Зависимость производительности от длины транспортирования для различных диаметров пневмопроводов при транспортировании пшеницы (при $N = 7,5 \text{ кВт}$)

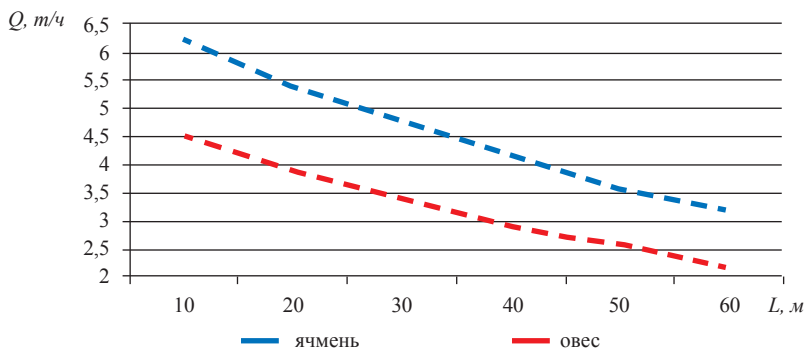


Рисунок 3. – Зависимость производительности от длины транспортирования для различных видов зерна (при $N = 7,5 \text{ кВт}$)

Благодаря расчетам, для установки была подобрана воздуходувка, обеспечивающая требуемую производительность на заданной длине пневмопроводов.

Выводы

Передвижная комбикормовая установка, разработанная в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», имеет следующие преимущества:

- позволяет производить более дешевый (на 18–25 %) полнорационный комбикорм;
- позволяет более эффективно использовать местное сырье при производстве комбикормов;
- можно устанавливать и производить комбикорм в любом удобном месте, не привязываясь к линиям электропередач;
- экономически выгодно заменять размольно-смесительные установки, имеющиеся в хозяйствах;
- позволяет производить адресные полнорационные комбикорма для отдельных групп животных.

23.06.2015

Литература

1. Пашков, Е.В. Промышленные механотронные системы на основе пневмопровода / Е.В. Пашков, Ю.А. Осинский. – М., 2007. – 395 с.
2. Володин, Н.П. Справочник по аспирации и пневмотранспортным установкам / Н.П. Володин, М.Г. Касторных, А.И. Кривошеин. – М.: Колос, 1983. – 288 с.
3. Спиваковский, А.О. Транспортирующие машины / А.О. Спиваковский, В.К. Дьячков. – М: Машиностроение, 1983. – 487 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ ПОЛЕТА ЧАСТИЦЫ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ ВО ВСТРЕЧНЫЙ ПОТОК СТЕБЕЛЬЧАТЫХ КОРМОВ

Введение

Снизить себестоимость скармливания кормов в виде сбалансированной по питательности кормосмеси можно путем внедрения на животноводческих фермах новой малозатратной механизированной технологии, которая позволяет исключить ряд энергоемких специальных операций и машин для их выполнения [1, 2, 3, 4].

Для реализации этой технологии разработан двухбункерный мобильный смеситель-раздатчик кормов. Данная машина обеспечивает дозированную выдачу стебельчатых и высокоэнергетических кормов, формирует из них кормосмесь без специальных энергоемких смешивающих рабочих устройств. Кормосмесь формируется за счет использования различных физико-механических свойств пересекающихся в воздухе потоков силосованных стебельчатых и высокоэнергетических кормов, выгружаемых на транспортер мобильного кормораздатчика.

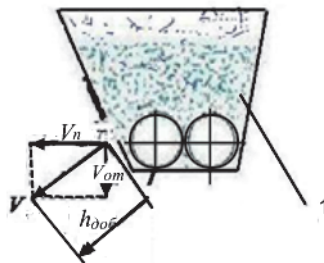
Основная часть

Важным параметром, характеризующим качество кормосмеси, является дальность полета частиц многокомпонентной высокоэнергетической добавки $h_{\text{доб}}$ (рисунок 1). Данный параметр зависит от скорости движения частиц, определить которую можно, разложив ее на две независимых – равномерное прямолинейное движение V_n и свободное падение с относительной скоростью $V_{\text{от}}$. Тогда абсолютную скорость движения частиц стебельчатых кормов можно определить по формуле:

$$V_{\text{ч}}^2 = V_n^2 + V_{\text{от}}^2. \quad (1)$$

В формуле (1) $V_n = h_{\text{зоп}} \varphi'$,

где $\varphi' = d\varphi/dt$ – угловая скорость перемещения частицы многокомпонентной добавки в течение промежутка времени, c^{-1} . При поступлении через выгрузное окно смесителя-дозатора V_n равна угловой скорости шнека;
 $h_{\text{зоп}}$ – расстояние перемещения частицы многокомпонентной добавки, м.



1 – смеситель-дозатор
многокомпонентной
высокоэнергетической добавки
Рисунок 1. – Схема к расчету
дальности полета частицы корма
в поток выгружаемых кормов

Относительную скорость перемещения частицы многокомпонентной высокоэнергетической добавки определим по формуле:

$$V_{от} = dh_{вер} / dt, \quad (2)$$

где $h_{вер}$ – высота падения частицы многокомпонентной высокоэнергетической добавки, м;

t – время перемещения частицы многокомпонентной высокоэнергетической добавки во взвешенном состоянии, с.

Тогда абсолютную скорость перемещения частицы многокомпонентной высокоэнергетической добавки можно определить по формуле:

$$V^2 = h_{гор}^2 \varphi'^2 + h_{вер}'^2. \quad (3)$$

Из формулы (3) определим расстояние перемещения частицы многокомпонентной высокоэнергетической добавки в горизонтальной плоскости. Для решения уравнения (2) воспользуемся уравнениями Лагранжа второго рода:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{доб}}{\partial h_{вер}'} \right) - \frac{\partial E_{доб}}{\partial h_{гор}} = Q_h; \quad (4)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{доб}}{\partial \varphi} \right) - \frac{\partial E_{доб}}{\partial \varphi} = Q_{\varphi}, \quad (5)$$

где Q_h, Q_{φ} – обобщенные силы, действующие на частицу многокомпонентной высокоэнергетической добавки, Н;

$E_{доб}$ – работа, затрачиваемая при перемещении частицы многокомпонентной высокоэнергетической добавки, кг·м²/с².

Преобразовав уравнения (4) и (5), получим:

$$Q_h = m_{\varphi} (h_{вер}'' - h_{гор} \varphi'^2); \quad (6)$$

$$Q_{\varphi} = m_{\varphi} (2 h_{гор} h_{вер}' \varphi'), \quad (7)$$

где m_{φ} – масса частицы многокомпонентной высокоэнергетической добавки, кг.

Работу, затрачиваемую при перемещении частицы корма на элементарном пути возможных перемещений, определим по формулам:

$$\delta T_h = Q_h \delta h_{гор} = (m_{\varphi} g - f N) \delta h_{гор};$$

$$\delta T_{\varphi} = Q_{\varphi} \delta \varphi = (N - m_{\varphi} g) h_{гор} \delta \varphi,$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

f – коэффициент трения многокомпонентной высокоэнергетической добавки по металлу.

Откуда

$$Q_h = m_{\varphi} g - f N; \quad (8)$$

$$Q_{\varphi} = (N - m_{\varphi} g) h_{гор}. \quad (9)$$

Так как в уравнениях (6), (7) и (8), (9) левые части равны, то справедливо равенство:

$$\begin{aligned} m_q (h''_{\text{вер}} - h'_{\text{зор}} \varphi'^2) &= m_q g - fN; \\ 2m_q h'_{\text{зор}} h'_{\text{вер}} \varphi' &= (N - m_q g) h'_{\text{зор}}. \end{aligned}$$

Или после преобразования получим:

$$h''_{\text{вер}} - h'_{\text{зор}} \varphi'^2 = g - fN m_q^{-1}; \quad (10)$$

$$2f h'_{\text{вер}} \varphi' = fN m_q^{-1} - gf. \quad (11)$$

Из уравнения (11) выразим $fN m_q^{-1}$, полученное значение подставим в уравнение (10). После преобразования получим:

$$h''_{\text{вер}} + 2f h'_{\text{вер}} \varphi' - h'_{\text{зор}} \varphi'^2 = g(1 - f). \quad (12)$$

Так как $\varphi = \omega_{\text{ш}} t$, а $\varphi' = \omega_{\text{ш}} = \text{const}$, уравнение (12) примет вид:

$$h''_{\text{вер}} + 2f h'_{\text{вер}} \omega_{\text{ш}} - h'_{\text{зор}} \omega_{\text{ш}}^2 = g(1 - f), \quad (13)$$

где $\omega_{\text{ш}}$ – угловая скорость шнекового транспортера, c^{-1} .

Полученное уравнение (13) является линейным неоднородным дифференциальным уравнением второго порядка с постоянными коэффициентами. Представим его как сумму частного и общего решения:

$$h_{\text{доб}} = h_{\text{част}} + h_{\text{общ}}. \quad (14)$$

Общее решение однородного уравнения примет вид:

$$h''_{\text{вер}} + 2f \omega_{\text{ш}} h'_{\text{вер}} - h'_{\text{зор}} \omega_{\text{ш}}^2 = 0. \quad (15)$$

Характеристическим уравнением дифференциального уравнения (15) будет

$$h_{\text{вер}}'^2 + 2f \omega_{\text{ш}} h'_{\text{вер}} - \omega_{\text{ш}}^2 = 0.$$

Корни уравнения

$$h_1 = \omega_{\text{ш}} \left(f + \sqrt{f^2 + 1} \right);$$

$$h_2 = \omega_{\text{ш}} \left(f - \sqrt{f^2 + 1} \right).$$

Тогда общее решение уравнения (15) выразится формулой:

$$h_{\text{общ}} = C_1 e^{h_1 t} + C_2 e^{h_2 t},$$

где C_1, C_2 – постоянные производные;

e – основание натурального логарифма.

Частное решение уравнения (13) имеет вид:

$$0 + 0 - \omega_{\text{ш}}^2 = g(1 - f),$$

откуда

$$C = -\frac{g(1-f)}{\omega_{\text{ш}}^2}.$$

Линейное неоднородное дифференциальное уравнение (14) будет иметь вид:

$$h_{\text{дог}} = C_1 e^{h_1 t} + C_2 e^{h_2 t} - \frac{g(1-f)}{\omega_u^2}. \quad (16)$$

Из начальных условий $t = 0$, $dh/dh = 0$ и $h' = 0$ находим постоянные:

$$h_0 = C_1 + C_2 - \frac{g(1-f)}{\omega_u^2};$$

$$h^1(0) = C_1 \omega_u (f + \sqrt{1+f^2}) + C_2 \omega_u (f - \sqrt{1+f^2}).$$

Решая систему относительно C_1 и C_2 , получим:

$$C_1 = \frac{g(1-f)}{\omega_u^2} \left(1 - \frac{f + \sqrt{1+f^2}}{2\sqrt{1+f^2}} \right);$$

$$C_2 = \frac{g(1-f)(f + \sqrt{1+f^2})}{2\omega_u^2 \sqrt{1+f^2}}.$$

Линейное неоднородное дифференциальное уравнение (16) будет иметь вид:

$$h_{\text{дог}} = \frac{g(1-f)}{\omega_u^2} \left(\left(1 - \frac{f + \sqrt{1+f^2}}{2\sqrt{1+f^2}} \right) e^{\omega_u t (f + \sqrt{1+f^2})} + \frac{(f + \sqrt{1+f^2})}{2\sqrt{1+f^2}} e^{\omega_u t (f - \sqrt{1+f^2})} - 1 \right). \quad (17)$$

Из формулы (17) следует, что в воздухе дальность полета частицы многокомпонентной высокоэнергетической добавки зависит от физико-механических свойств кормов, угловой скорости шнека и времени полета частицы корма. На основании данного уравнения получена зависимость дальности полета частицы высокоэнергетических кормов от времени ее полета и угловой скорости выгрузного шнека (рисунок 2).

Анализ зависимости позволил установить, что при расчетном времени полета частиц высокоэнергетических кормов (2–3 с) угловая скорость выгрузного шнека равна $\omega = 4,4 \text{ с}^{-1}$. При указанных параметрах дальность полета в слой стебельчатых кормов частицы многокомпонентной высокоэнергетической добавки равна 8 мм.

На основании теоретических исследований изготовлен мобильный смеситель-раздатчик кормов, применение которого снижает энер-



Рисунок 2. – Зависимость дальности полета частицы высокоэнергетических кормов от времени полета и угловой скорости шнека

гоемкость транспортных работ до 10,1 %. Смеситель-раздатчик внедрен в производство в ОАО «Бобруйскагромаш». Новизна конструкции смесителя-раздатчика кормов и его технических элементов защищена патентами Республики Беларусь.

Выводы

Дальность полета частиц высокоэнергетических кормов зависит от угловой скорости выгрузного шнека. С увеличением данного параметра длина пути перемещения частиц высокоэнергетических кормов в слой стельчатых кормов возрастает.

15.09.2015

Литература

1. Китун, А.В. Малозатратная технология машины для приготовления и раздачи кормов: монография / А.В. Китун. – Витебск: Витебская государственная акад. вет. медицины, 2005. – 188 с.
2. Китун, А.В. Механизация процесса приготовления и раздачи кормов на скотоводческих фермах на основе multifunctional модульных агрегатов: монография / А.В. Китун. – Минск: Белорусский государственный аграрный технический университет, 2009. – 207 с.
3. Китун, А.В. Энергосберегающая технология использования кормов на фермах крупного рогатого скота / А.В. Китун // Агропанорама. – 2004. – № 4. – С. 27–29.
4. Способ приготовления кормосмеси: пат. 14472 Респ. Беларусь, МПК7 С 1 А23К 1/16 / В.Г. Самосюк, В.И. Передня, А.В. Китун, А.Л. Тимошук, А.М. Тарасевич, А.А. Романович; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № а 200881547; заявл. 04.12.08; опубл. 10.03.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 1. – С. 74.

УДК 631.314.1

Н.С. Козлов

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

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ВЫСОКОСТЕБЕЛЬНЫХ КУЛЬТУР СПИРАЛЬНО-НОЖЕВИДНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Введение

После уборки длинностебельных культур (кукурузы, подсолнечника и других) на поле остается от 30 до 80 ц/га непродуктивной растительной массы [1]. Исследования показывают [2–6], что частицы длиной более 0,15–0,20 м не только плохо заделываются при пахоте, но и медленно минерализуются, ухудшают водно-воздушное питательное состояние почвы. Поэтому возникает необходимость послеуборочного измельчения пожнивных и корневых остатков с целью полной заделки или мульчирования ими поверхности почвы для удобрения и защиты ее от эрозии.

Методика исследований качества измельчения высокостебельных культур спирально-ножевидными рабочими органами

На основании анализа рабочих органов, используемых для послеуборочного измельчения растительных остатков, были определены рациональные конструктивные параметры спирально-ножевидного катка [7] и разработана экспериментальная установка (рисунок 1).

Техническая характеристика экспериментальной установки спирально-ножевидного рабочего органа представлена в таблице 1.

Исследования [8] измельчения растительных остатков проводились согласно ТКП 080–2007 (02150) на обработке стерни кукурузы, убранной на зерно.

Для определения показателя качества измельчения растительных остатков после прохода трактора с экспериментальной установкой, соглас-



**Рисунок 1. – Экспериментальная
установка спирально-ножевидного
катка**

**Таблица 1. – Технические параметры
спирально-ножевидного катка**

Наименование параметров	Значение
Ширина захвата, м	1
Рабочая скорость, м/с	1,4–5,2
Масса установки, кг	120
Количество ножей, шт.	10
Угол наклона ножа относительно продольной оси катка, град.	0
Угол наклона ножа относительно радиуса катка, град.	0
Диаметр катка, м	0,45–0,55

но методике проведения опытов, на каждом учетном участке в трехкратной повторности равномерно по ширине захвата установки накладывалась рамка размером 1×1 м. В пределах рамки собирались с поверхности обработанного слоя растительные остатки. Собранные растительные остатки измерялись и распределялись по длине резки на две фракции, имеющие длину измельченных остатков менее и более 0,15 м, каждая фракция взвешивалась. Долю фракций (качество резания) определяли в процентном соотношении массы i -ой фракции к общей массе пробы по формуле:

$$K_{рез} = \frac{m_i \cdot 10^2}{m}, \%,$$

где m_i – масса i -ой фракции в пробе, кг;

m – общая масса пробы, кг.

Для изучения влияния факторов, таких как скорость движения катка и диаметр катка, на качество измельчения растительных остатков проводилось их кодирование для перевода натуральных факторов в безразмерные величины (таблица 2). Далее составлялась матрица планирования эксперимента.

Таблица 2. – Уровни и интервалы варьирования факторов

Варьируемые параметры	ν	D
Единицы измерения	км/ч	мм
Кодовые обозначения факторов	x_1	x_2
Основной уровень ($x_i = 0$)	12	500
Интервал варьирования	3	50
Нижний уровень ($x_i = -1$)	9	450
Верхний уровень ($x_i = +1$)	15	550

Результаты исследований

Согласно матрице планирования эксперимента проводились опыты. По результатам исследований была составлена общая таблица результатов исследований и матрица планирования эксперимента (таблица 3).

После проведения опытов проверялась однородность полученных данных. Поскольку применялось одинаковое число повторностей опытов, по критерию Кохрена проведена проверка однородности дисперсий (формула (1)).

Дисперсии опытов однородны при соблюдении условия:

$$G_{расч} \leq G_{табл} = G_{0,05;N;f_u}, \quad (1)$$

где

$$G_{расч} = \frac{s_{i\max}^2}{\sum_{i=1}^N s_i^2},$$

где $\sum_{i=1}^N s_i^2$ – сумма всех дисперсий; $s_{i\max}^2$ – наибольшая дисперсия;

N – число опытов; f_u – число степеней свободы.

Таблица 3. – Матрица планирования и результаты опытов

№ п/п	Уровни факторов						Повторности			y_{cp}	s^2
	x_0	x_1	x_2	$x_1 \cdot x_2$	x_1^2	x_2^2	y_1	y_2	y_3		
1	1	-1	-1	1	0,3333	0,3333	24,1	23,8	24,2	24,03	0,04333
2	1	1	-1	-1	0,3333	0,3333	25,8	25,5	25,1	25,47	0,12333
3	1	-1	1	-1	0,3333	0,3333	21	19,4	19,7	20,03	0,72333
4	1	1	1	1	0,3333	0,3333	20,6	21,1	21,2	20,97	0,10333
5	1	-1	0	0	0,3333	-0,6667	23,5	23,2	23,4	23,37	0,02333
6	1	1	0	0	0,3333	-0,6667	27,8	27,5	27,6	27,63	0,02333
7	1	0	-1	0	-0,6667	0,3333	25,2	25,6	24,9	25,23	0,12333
8	1	0	1	0	-0,6667	0,3333	21,6	22,5	21,4	21,83	0,34333
9	1	0	0	0	-0,6667	-0,6667	27,1	26,4	26,5	26,67	0,14333

Тогда

$$G = \frac{0,723}{1,650} = 0,438 < G_{0,05;9;2} = 0,477.$$

При условии соблюдения однородности дисперсий вычислялась дисперсия воспроизводимости опытов:

$$s_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^N s_i^2}{N} = \frac{1,650}{9} = 0,183.$$

Для двухфакторного опыта полное квадратичное уравнение имеет вид:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2. \quad (2)$$

После вычисления коэффициентов регрессии уравнение (2) запишется:

$$y = 26,57 + 1,11 x_1 - 1,98 x_2 - 1,00 x_1^2 - 2,96 x_2^2 - 0,12 x_1 x_2.$$

До проверки адекватности уравнения регрессии проводилась проверка значимости полученных коэффициентов с помощью критерия Стьюдента. Коэффициенты будут оказывать существенное влияние на параметр оптимизации при соблюдении неравенства (3):

$$|b| > \Delta b = t_{0,05;f_y} \cdot s(b_i), \quad (3)$$

где Δb – доверительный предел;

f_y – число степеней свободы дисперсии воспроизводимости, равное

$$f_y = n(m_0 - 1);$$

$t_{0,05;18}$ – критерий Стьюдента при 5 %-ном уровне значимости ($t = 2,1$);

$s(b_i)$ – ошибка в определении i -го коэффициента регрессии, определяемая по формуле:

$$s(b_i) = +\sqrt{s^2(b_i)} = \sqrt{\frac{1}{m_0 N} s_y^2}.$$

Вычисленные коэффициенты регрессии и их доверительные пределы приведены в таблице 4.

Таблица 4. – Коэффициенты уравнения регрессии и их доверительные пределы

Переменная	x_0	x_1	x_2	$x_1 \cdot x_2$	x_1^2	x_2^2
Коэффициент b_i	26,57	1,11	-1,98	-0,12	-1,00	-2,96
Абсолютное значение коэффициента $ b_i $	26,57	1,11	1,98	0,12	1,00	2,96
Доверительный предел коэффициента Δb_i	0,52	0,64	0,64	0,78	1,10	1,10

После проведенного анализа коэффициентов регрессии на значимость согласно неравенству (3) и исключения незначимых уравнение регрессии имело следующий вид:

$$y = 26,57 + 1,11x_1 - 1,98x_2 - 2,96x_2^2. \quad (4)$$

Затем по критерию Фишера F определялась адекватность уравнения регрессии. Уравнение адекватно, если выполняется неравенство:

$$F_{\text{факт}} = \frac{s_{ad}^2}{s_y^2} \leq F_{0,05; f_{ad}; f_y}, \quad (5)$$

где $F_{0,05; f_{ad}; f_y}$ – критерий Фишера при степени значимости 0,05;

f_{ad} – число степеней свободы дисперсии адекватности,

$$f_{ad} = n - k - 1 = 9 - 2 - 1 = 6,$$

где k – число факторов;

s_{ad}^2 – дисперсия адекватности.

Дисперсия адекватности находилась по формуле:

$$s_{ad}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (y_p - y_{u.c.p.})^2}{f_{ad}} = \frac{0,471 + 0,116 + 0,162 + 0,390 + 1,180 + 0,939 + 0,117 + 0,050 + 0,012}{6} = 0,573. \quad (6)$$

Тогда критерий Фишера будет равен:

$$F_{\text{факт}} = \frac{0,573}{0,183} = 3,127 \leq F_{0,05; 6; 18} = 3,160.$$

Поскольку расчетное значение критерия Фишера оказалось меньше табличного, то уравнение регрессии (4) адекватно описывает экспериментальные данные.

Дальнейшая обработка экспериментальных данных проводилась графическим редактором «Statistica». С его помощью было выполнено построение поверхности отклика и линии уровня поверхности отклика (рисунки 2 и 3). На рисунках 2 и 3 изображены зависимости качества резания $K_{рез}$ от скорости движения катка v_k и диаметра катка D_k .

Анализ графических построений показывает, что с увеличением скорости движения катка v_k с 2 до 4 м/с увеличивается качество резания $K_{рез}$ с 24 до 27,6 %. Изменение начального диаметра катка D_k с 0,44 до 0,49 м

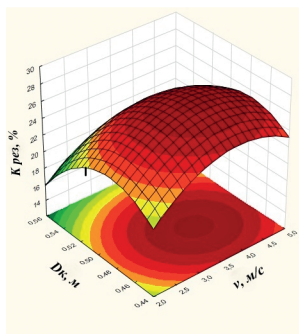


Рисунок 2. – Зависимость качества резания $K_{рез}$ от скорости движения катка v_k и диаметра катка D_k

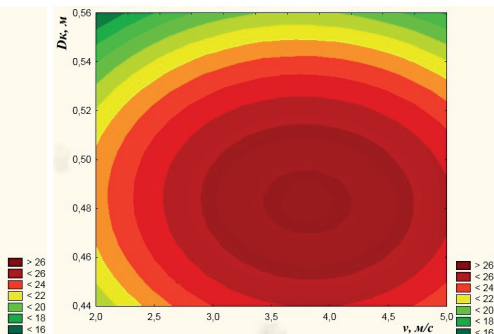


Рисунок 3. – Линии уровня поверхности отклика $K_{рез} = f(v_k; D_k)$

при скорости движения катка $v_k = 3,9$ м/с приводит к увеличению качества резания $K_{рез}$ с 25 до 27,6 %.

Анализ полученной поверхности отклика (рисунок 2 и 3) и уравнения регрессии (4) позволил выявить, что из варьируемых факторов максимальное влияние на качество резания стеблей $K_{рез}$ оказывает диаметр катка D_k . Это связано с тем, что увеличение диаметра катка D_k с 0,52 до 0,55 м приводит к увеличению расстояния между ножами катка, а следовательно к увеличению длины резки растительных остатков.

Заключение

Разработанная в виде спирально-ножевидного катка установка позволила провести исследования качества измельчения растительных остатков стерни кукурузы, убранный на зерно.

На основании полученных экспериментальных данных установлены оптимальные значения параметров и режимов работы: $v_k = 3,9$ м/с, $D_k = 0,485$ м, позволяющие получать качество резания в пределах, допустимых агротребованиями.

27.05.2015

Литература

1. Спирин, А.П. Мульчирующая обработка почвы / А.П. Спирин. – М.: ВИМ, 2001. – 135 с.
2. Канивец, И.Д. Комбинированный агрегат для измельчения и запашки пожнивно-корневых остатков / И.Д. Канивец // Кукуруза. – 1973. – № 10. – С. 12–14.
3. Михновская, А. Заделка пожнивных остатков / А. Михновская // Земледелие. – 1972. – № 8. – С. 29.
4. Рыженко, И. Обработка почвы после подсолнечника и кукурузы / И. Рыженко, А. Убоженко, В. Вировец // Техника в сельском хозяйстве. – 1972. – № 9. – С. 26–28.
5. Кочев, В.И. Комбинированная машина / В.И. Кочев // Земледелие. – 1977. – № 9. – С. 47–49.

6. Способы заделки пожнивных остатков кукурузы в почву // Земледелие. – 1978. – № 12. – С. 56.
7. Козлов, Н.С. Обоснование конструктивной схемы спирально-ножевидного рабочего органа / Н.С. Козлов // 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. 61–65.
8. Машины и орудия для поверхностной и мелкой обработки почвы. Порядок определения функциональных показателей: ТКП 080–2007. – Введ. 21.01.2008. – Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2008. – 39 с.

УДК 631.363

**И.М. Лабоцкий,
С.Н. Конончук**

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

ПОЛУПРИЦЕПЫ САМОСВАЛЬНЫЕ ТРАКТОРНЫЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 15 И 20 ТОНН НА УНИФИЦИРОВАННЫХ ДВУХОСНОМ И ТРЕХОСНОМ ШАССИ

Введение

Рост объемов производства продукции неизбежно влечет за собой увеличение объемов перевозок сельскохозяйственных грузов. При этом затраты на транспортные, транспортно-технологические, погрузочно-разгрузочные работы варьируют в пределах от 20 до 30 процентов [1]. Вопросам повышения эффективности работы транспорта сельскохозяйственного назначения, снижения себестоимости перевозок и повышения производительности труда придается большое значение.

В условиях ограниченных трудовых ресурсов поставленная задача решается путем увеличения грузоподъемности и энергонасыщенности, а также снижения стоимости транспортных и транспортно-технологических систем за счет применения унифицированных быстросменных узлов и агрегатов (кузовов, шасси, рабочих органов, гидросистем и др.).

Системой машин для комплексной механизации сельхозпроизводства для перевозки сельскохозяйственных грузов предусматривается создание и применение свыше 20 типов тракторных прицепов и полуприцепов, в том числе 6 типов специальных [2]. Следует отметить, что техническое оснащение хозяйств республики для выполнения транспортных работ не превышает 60 % от технологической потребности, особенно недостает специальных транспортных и транспортно-технологических систем, кроме того, необходимо указать на техническое несовершенство применяемых систем: низкую грузоподъемность, маневренность и высокую затратность ресурсов на выполнение работ.

Анализ парка транспортных и транспортно-технологических систем, а также оценка объемов выполняемых грузоперевозок показывают, что сегодня порядка 45 % сельскохозяйственных грузов перевозится тракторными транспортными системами. Объясняется это небольшим радиусом перевозок грузов, а также спецификой грузов и условиями применения. Например, с помощью тракторных транспортных агрегатов перевозится: в Норвегии – 95 %, Германии – 80 %, Венгрии – 77 %, Чехии – 55 % сельскохозяйственных грузов [3].

С учетом специфики сельскохозяйственных грузов, характеристик и особенности условий применения специальных транспортных и транспортно-технологических систем настоящая работа посвящена созданию специальных полуприцепов грузоподъемностью 15 *t* и свыше 20 *t*, включая унифицированные двухосное и трехосное шасси.

Состояние вопроса

Широкая номенклатура и разнообразие свойств сельскохозяйственных грузов существенно осложняют выбор и обоснование основных параметров транспортных и транспортно-технологических систем. Здесь необходимо учитывать влияние ряда основных специфических особенностей (свойств), характеризующих грузы, таких как: физико-механические и биохимические свойства; срочность и периодичность перевозок; условия перевозок; способы погрузки-разгрузки; количество и виды в рамках агротехнических сроков одновременно перевозимых грузов; использование грузоподъемности транспортных средств [4, 5].

Разнообразие специфических особенностей сельскохозяйственных грузов обусловило создание и применение в сельскохозяйственном производстве ряда транспортных и транспортно-технологических систем, а именно:

- полуприцепов самосвалных тракторных для приема, перевозки и выгрузки насыпных грузов;
- полуприцепов специальных со сменными адаптерами для приема с доуплотнением, транспортировки и выгрузки силосной и сенажной массы, а также зерна, комбикорма, корнеплодов, жома и других сыпучих кормов и материалов;
- полуприцепов для транспортировки и внесения твердых, полужидких и жидких органических удобрений внутрисочвенно и поверхностно;
- полуприцепов с манипуляторами для погрузки, перевозки и складирования рулонов, тюков и других штучных грузов, а также для разбора скирд и доставки кормов на фермы;

- полуприцепов кормораздатчиков для приема, транспортировки и раздачи кормов на фермах и кормовых площадках;
- полуприцепов кормосмесителей для приема, приготовления и раздачи кормосмесей на фермах и кормовых площадках;
- полуприцепов перегрузчиков зерна для накопления и перегрузки зерна от комбайнов;
- полуприцепов платформ для перевозки животных.

Перечисленные системы применяются в соответствующие агротехнические сроки, сезонно и связаны с агротехническими сроками проведения работ по вывозке и внесению удобрений, посевных и уборочных работ. Кроме того, характерна неравномерность грузопотоков в связи с различными сроками созревания, колебания урожайности и погодными условиями. Перечисленные системы не имеют круглогодочного применения. Значение их годовой нормативной загрузки варьирует в пределах от 250 до 500 часов [6].

Проведенный нами анализ конструкций показывает, что применяемые транспортные и транспортно-технологические системы содержат общий узел – ходовую платформу (шасси) и смонтированное на ней технологическое оборудование (рисунок 1).



Рисунок 1. – Конструктивные схемы транспортных и транспортно-технологических систем, монтируемых на двухосные и трехосные ходовые платформы (шасси)

Сопоставление стоимости шасси и технологического оборудования показало, что у отдельных систем стоимость шасси и технологической части одинаковые и несколько ниже стоимость шасси у сложных систем (таблица 1).

Среди рассмотренных транспортных и транспортно-технологических систем наибольшее распространение получили полуприцепы тракторные самосвальные с автоматически открываемыми бортами, преимущественно задними. Эти машины обладают высокой маневренностью, низкими затратами времени на выгрузку груза и обеспечивает его высокую сохранность. Проведенные патентные исследования и анализ технических характеристик зарубежных аналогов показали, что лучшими зарубежными аналогами являются транспортные системы фирм Bergmann (Германия), Annaburger (Германия), Joskin (Бельгия), Stronga (Германия) [7, 8, 9, 10].

Системы содержат унифицированные многоосные (двухосные или трехосные) шасси и быстросъемное технологическое оборудование, при этом на унифицированные шасси имеется возможность установки разных транспортно-технологических систем, например разбрасывателей органических удобрений, разбрасывателей минеральных удобрений, емкостей и оборудования для внесения полужидких и жидких органических удобрений, перегрузчиков зерна, кормораздатчиков и других.

Исходя из принятой в республике системы ведения сельского хозяйства, номенклатуры и количества сельскохозяйственных грузов, наиболее применяемыми являются полуприцепные самосвальные транспортные средства грузоподъемностью 15 тонн и свыше 20 тонн. В этом случае поставленная задача имеет реальное техническое решение с использованием унифицированных элементов ходовых систем, гидроприводов, транспортирующих устройств и т. п. Не вызывает проблем выбор агрегируемого энергосредства, в качестве которого можно использовать энергонасыщенные тракторы «Беларус» класса от 2 *м.с.* до 5 *м.с.* В республике имеется тракторов класса 2 *м.с.* 9912 штук, класса 3 *м.с.* 1246 штук, а класса 5–6 *м.с.* 6767 штук [11].

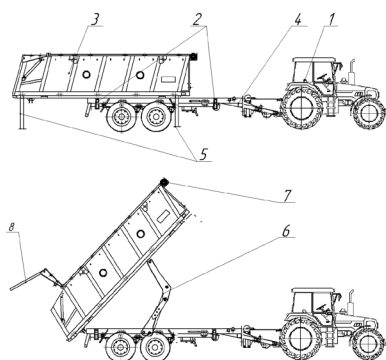
В рамках задания Р.1.3.11.2 разработаны технические требования, конструкторская документация, изготовлены силами ОАО «Вороновская сельхозтехника» экспериментальные образцы полуприцепов самосваль-

Таблица 1. – Стоимость шасси и технологического оборудования прицепов специальных

Наименование узлов	Стоимость шасси и оборудования по маркам полуприцепов, млн руб.				
	ПТ-14С	ПСС-10	ПСС-15	ПСС-20	ПСС-25
Полный комплект, в т.ч. шасси	215 364 372	256 431 655	295 758 517	517 516 260	522 042 503
Технологическая часть	64 609 311	76 929 496	88 727 555	155 254 878	156 612 750
Ходовая часть	150 755 060	179 502 158	207 030 961	362 261 382	365 429 752
Число осей	две	две	две	три	три

ных тракторных грузоподъемностью 15 тонн и свыше 20 тонн, монтируемых на двухосное и трехосное шасси (рисунок 2, 3 и 4).

Технологический процесс работы полуприцепов состоит в следующем: после загрузки сельскохозяйственного груза полуприцеп трактором транспортируется к месту назначения для разгрузки, при разгрузке полуприцепа открывается клапан, включается механизм подъема кузова, в результате чего масса, находящаяся в нем, высыпается. Совершив операцию разгрузки, тракторист возвращает кузов в исходное положение и закрывает клапан.



1 – энергосредство; 2 – механизм смены технологической части; 3 – кузов;
4 – шасси; 5 – опора; 6 – механизм подъема кузова; 7 – тент; 8 – клапан

Рисунок 2. – Схема полуприцепа тракторного самосвального грузоподъемностью 15 т ПТ-15С

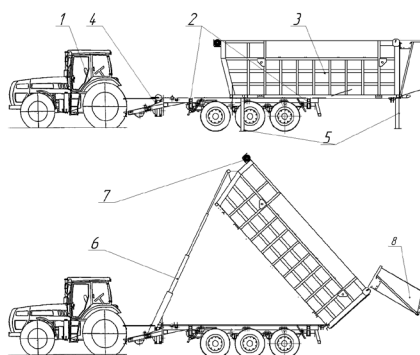


Рисунок 3. – Схема полуприцепа тракторного самосвального грузоподъемностью 20 т ПТ-20С



а)



б)

Рисунок 4. – Общий вид экспериментальных образцов полуприцепов самосвальных тракторных грузоподъемностью (а) 15 тонн, (б) свыше 20 тонн на двухосном и трехосном шасси

Для снятия и замены кузова полуприцеп необходимо установить на твердой ровной площадке. Отсоединяется механизм подъема от кузова, и четыре гидроцилиндрами, расположенными по периметру шасси, кузов приподнимается. После установки опор гидроцилиндры смены технологического оборудования опускают, технологическое оборудование остается на опорах, а шасси отгоняется трактором. При постановке кузова на шасси все работы осуществляются в обратном порядке.

Экспериментальные образцы содержат быстросъемную технологическую оснастку: цельнометаллические кузова с автоматически открываемыми задними бортами, которые устанавливаются на шасси двухосное или трехосное.

Проведенные исследовательские испытания экспериментальных образцов показали, что они соответствуют техническим требованиям по основным показателям назначения (таблица 2).

Таблица 2. – Показатели назначения экспериментальных образцов полуприцепов тракторных

Наименование показателя	ПТ-15С	ПТ-20С
Агрегатирование, класс трактора	3	5
Тип полуприцепного шасси	двухосное	трехосное
Рабочая скорость, км/ч	20	20
Транспортная скорость, км/ч	25	25
Грузоподъемность, т, не менее	15	20
Габаритные размеры:		
– длина, мм, не более	10200	13200
– ширина, мм, не более	2500	2700
– высота, мм, не более	3500	3800
Масса полуприцепа, кг	7250	9300
Продолжительность смены технологической части, мин	7,2	9,3

С учетом полученных положительных результатов разработаны и утверждены заказчиком исходные требования от 09.04.2015 г. и техническое задание от 13.04.2015 г. на создание опытных образцов полуприцепов тракторных.

Заключение

Проведенные исследования доказывают необходимость и актуальность данной разработки.

В результате проведения НИОКР созданы экспериментальные полуприцепы самосвальные тракторные грузоподъемностью 15 тонн и свыше 20 тонн и унифицированные двухосное и трехосное шасси. Полуприцепы

предназначены для приема, перевозки и выгрузки силосной и сенажной массы, зерна, комбикормов, корнеплодов, жома и др. Обеспечивают увеличение производительности по сравнению с полуприцепом ПТ-14С в 1,2 раза.

Полуприцепы самосвальные тракторные агрегатируются с тракторами класса 3,0...5,0. Рабочая скорость – до 20 км/ч, грузоподъемность – 15 и свыше 20 т, удельный расход топлива за час основного времени – 0,8 кг/т.

Унифицированные шасси можно использовать в составе других транспортно-технологических систем, при этом от 30 до 50 % можно снизить инвестиции на приобретение систем.

Результаты исследовательских испытаний использованы для разработки исходных требований и технического задания на создание опытных образцов, которые утверждены заказчиком.

02.07.2015

Литература

1. Измайлов, А.Ю. Развитие транспортной инфраструктуры АПК с учетом требований экологии земледелия / А.Ю. Измайлов, А.А. Артюшин, Н.Е. Евтюшенков, М.Н. Ерохин // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. – № 1.
2. Федоренко, В.Ф. Технологии и технические средства для заготовки кормов: каталог-справочник / В.Ф. Федоренко, Н.Ф. Соловьева. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – С. 184.
3. Бейлис, В.М. Концепция разработки инновационного развития и модернизации комплексной механизации АПК на период до 2025 года / В.М. Бейлис, Н.М. Антышев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2012. – № 11.
4. Федоренко, В.Ф. Новая техника для агропромышленного комплекса России: каталог. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 256 с.
5. Особов, В.И. И в России есть машины для заготовки классных кормов / В.И. Особов // Животноводство России. – 2002. – № 2. – С. 34–35.
6. Техника сельскохозяйственная. Показатели надежности. Порядок определения показателей: СТБ 1616–2011. – Введ. 2011.09.01. – Государственный стандарт Республики Беларусь, 2011. – С. 4.
7. Полуприцеп тракторный самосвальный фирмы «Bergmann» Vario 400. Технические характеристики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.bergmann-goldenstedt.de/front_content.php?idcat=50. – Дата доступа: 01.07.2015.
8. Модульная система фирмы Annaburger. Технические характеристики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.annaburger.de/rus/WechselsystemMultiLandPlus.html>. – Дата доступа: 01.07.2015.
9. Концепция Карго «Joskin». Технические характеристики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.joskin.com/?page=cargo_concept&user_lang=ru. – Дата доступа: 01.07.2015.
10. Транспортно-технологические системы «Stronga». Технические характеристики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stronga.co.uk/Swap-Module-System/SwapLoada.php>. – Дата доступа: 01.07.2015.
11. Оптимизировать структуру машинно-тракторного парка сельскохозяйственных организаций республики в зависимости от их специализации и уровня производства продукции с целью снижения ее ресурсоемкости: отчет о НИР (заключ.) / Национальная академия наук Беларуси. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; рук. темы В.И. Володкевич. – Минск, 2015. – № ГР 20132457.

УДК 629.1

В.Е. Тарасенко

*(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

А.А. Жешко

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

АНАЛИЗ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОХЛАЖДЕНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ РАДИАТОРОВ

Введение

Материалы, применяемые для изготовления радиаторов, должны отвечать основным требованиям, а именно: эффективно передавать теплоту, обеспечивать прочность и надежность конструкции, технологичность изготовления деталей и радиатора в целом, экономичность.

Радиаторы автотракторные имеют, как правило, трубчато-пластинчатую конструкцию сердцевины. Такая конструкция определена и принята для мобильных машин, работающих в условиях повышенной запыленности, так как благодаря ей меньше засоряются наружные поверхности сердцевины. Основными теплопередающими элементами радиатора являются охлаждающие трубки и охлаждающие поверхности – пластины или ленты.

Конструкция трубок должна обеспечивать эффективную передачу теплоты от жидкости к поверхностям охлаждения. В этой связи для изготовления автотракторных радиаторов наиболее применимы плоскоовальные трубки. Толщина материала трубок выбирается из технологической и экономической целесообразности – обеспечить технологичность формирования трубки и максимально уменьшить массу радиатора. Охлаждающие поверхности – пластины или ленты, выполняются из латуни Л63 для условий умеренного климата и из меди МЗ для условий тропиков. Теплота передается через стенки трубок и охлаждающих пластин потоку воздуха. В этой связи применяемые материалы и конструкция сердцевины влияют на способность радиатора передавать теплоту воздуху. Пластины и ленты по поверхности контакта с трубками припаиваются. Трубки перед сборкой радиатора подвергаются лужению, пайка охлаждающих пластин к трубкам осуществляется припоем ПОССу30-2. От качества пайки зависит плотность контакта и эффективность передачи теплоты от материала трубок к пластинам или лентам.

Основная часть

Радиатор состоит также из верхнего и нижнего бачков. В процессе теплопередачи от наружных поверхностей бачков теплота отводится окружающим воздухом путем конвекции. Количество отводимой теплоты от бачков незначительно, поэтому при расчете радиаторов эта теплота не учитывается. Масса бачков в общей массе радиатора составляет около 18 %. С целью экономии цветных металлов бачки могут изготавливаться из альтернатив-

ных материалов, одним из которых является полипропилен. Полипропилен имеет максимальную рабочую температуру 140 °С, коэффициент линейного расширения $1,1 \cdot 10^{-4} \frac{1}{K}$, коэффициент теплопроводности $0,88 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ и удельную теплоемкость $1,93 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$. Изготовленные методом литья верхний и нижний бабки применяются в сборных конструкциях радиаторов тракторов «Беларус-80.1». Детали радиаторов, обеспечивающие жесткость конструкции и являющиеся каркасом радиаторов, изготавливаются из черных металлов, эти детали не участвуют в процессах теплопередачи и не влияют на температурный режим системы охлаждения.

Основными материалами для изготовления автотракторных радиаторов являются медь, латунь и алюминий, из них изготавливаются охлаждающие трубки и поверхности охлаждения. По теплотехническим свойствам радиаторы из меди более эффективны и используются в условиях с более высокой температурой окружающей среды, также из меди изготавливаются радиаторы, габаритные размеры и масса которых ограничены компоновочными размерами моторного отделения. Зависимость коэффициента теплопередачи трубчато-пластинчатых радиаторов тракторов «Беларус» представлена на рисунке 1 [1].

Альтернативными материалами для изготовления радиаторов являются алюминиевые сплавы. В мировом автомобилестроении радиаторы из алюминиевых материалов широко применяются для охлаждения двигателей, однако на тракторах алюминиевые радиаторы этого назначения не получили применения вследствие недостаточной их прочности и надежности в эксплуатации. Актуальность использования алюминиевых радиаторов для охлаждения двигателей сохраняется. Так, теплопроводность алюминиевого сплава АМц в 1,5 раза больше медно-цинкового Л90, масса радиатора из алюминиевого сплава мень-

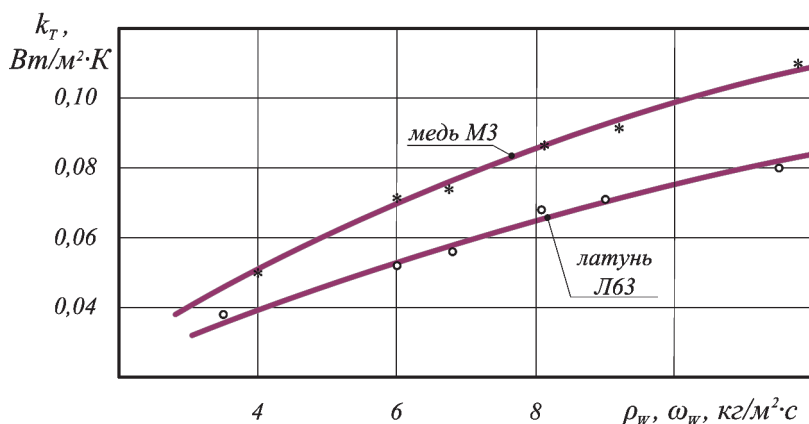


Рисунок 1. – Коэффициент теплопередачи трубчато-пластинчатых радиаторов тракторов «Беларус-80.1»

ше. Алюминиевые радиаторы паяной конструкции имеют массу меньше на 30–35 % по сравнению с медными и латунными.

Широкое использование алюминиевых радиаторов на автомобилях привело к созданию водяных и масляных радиаторов, жидкостно-масляных теплообменников для систем охлаждения тракторов. На тракторах алюминиевые радиаторы используются для охлаждения смазочного масла двигателя и в системах обеспечения температуры воздуха на рабочем месте тракториста в кабинах тракторов. К недостаткам алюминиевых радиаторов следует отнести активное взаимодействие со щелочными растворами, что исключает их применение при удалении накипи; наличие механических повреждений поверхности приводит к местной коррозии, ее развитие вызывает сквозное разрушение материала трубок и течи; в эксплуатации течи радиаторов трудноисправимы, ремонтпригодность их низкая. Из алюминиевых сплавов для охлаждения двигателей тракторов «Беларус» были разработаны опытные конструкции трубчато-пластинчатых и трубчато-ленточных радиаторов из оребренных круглых труб и плоских пластин. Радиаторы успешно прошли полный комплекс стендовых моторных исследований и испытаний на тракторах в рядовой эксплуатации. Результаты испытаний ряда конструкций алюминиевых радиаторов положительные. Однако решение об их применении на серийно выпускаемых тракторах не принято.

Физико-механические свойства материалов, применяемых для изготовления радиаторов, приведены в таблице 1 [1].

Совершенствование радиаторов и теплообменных аппаратов осуществляется путем создания новых конструкций на основе наукоемких технологий и из материалов, обладающих высокой тепловой эффективностью и малой материалоемкостью. Медь, олово, свинец, цинк – это металлы, используемые при изготовлении тракторных и других радиаторов. Разведанные запасы этих металлов ограничены, стоимость их высока, поэтому снижение материалоемкости радиаторов имеет важнейшее значение. Альтернативой этим металлам является алюминий, разведанные запасы которого сегодня превышают потребности. Теплотехнические свойства (см. таблицу 1) алюминиевых сплавов выше, чем медных материалов, они

Таблица 1. – Физико-механические свойства материалов, используемых для изготовления радиаторов

Материал	Плотность, г/см^3	Теплопроводность, $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$	Теплоемкость, $\text{Дж/кг}\cdot\text{К}$	Температура плавления, $^{\circ}\text{C}$	Предел прочности, МПа
Медь МЗ	8,93	384	391	1083	240–450
Томпак Л90	8,80	108	381	1070	260
Латунь Л62	8,50	72	380	905	360
АМц	2,73	162	–	650	130–160
АМг	2,67	108	–	–	200–250
Припой ПОС30	9,7	45	–	256	33

технологичны при обработке, обладают рядом положительных качеств, их использование для изготовления радиаторов актуально и перспективно, в том числе и для тракторных систем охлаждения.

Теплопередающую способность поверхности охлаждения от жидкости к воздуху характеризует коэффициент теплопередачи. Коэффициент теплопередачи является функцией $k_T = f(\alpha_v, \alpha_w, \delta_{TP}, \delta_{ПЛ}, \lambda, \dots)$, где α_v – коэффициент теплоотдачи от охлаждающей жидкости к стенке трубки, $Bm/(m^2 \cdot K)$; α_w – коэффициент теплоотдачи от стенки трубок воздуху, $Bm/(m^2 \cdot K)$; δ_{TP} – толщина стенки трубки, м; $\delta_{ПЛ}$ – толщина стенки пластины, м; λ – коэффициент теплопроводности, $Bm/(m \cdot K)$. Коэффициент теплопередачи зависит от материала и конструктивных параметров трубок и охлаждающих пластин или лент, от физико-технических параметров охлаждающей жидкости и воздуха. Коэффициент теплопередачи от жидкости к стенкам трубок, без учета термического сопротивления накипи во внутренних полостях и отложений на наружных поверхностях, и к потоку воздуха определяется по формуле:

$$k_T = \frac{1}{\kappa_{OP} \frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_{TP}}{\lambda_{TP}} + \frac{1}{\alpha_w}}, \quad (1)$$

где κ_{OP} – коэффициент оребрения (для трубчато-пластинчатых радиаторов $\kappa_{OP} = 7,5-10$);

λ_{TP} – коэффициент теплопроводности стенки трубки, $Bm/(m \cdot K)$.

Коэффициент теплоотдачи от жидкости к стенкам трубок радиаторов α_v рекомендуется рассчитывать по известной формуле Крауссольда и коэффициент теплоотдачи от пластин и трубок потоку воздуха α_w – по формуле Н.Б. Марьямова. В общем виде коэффициент теплопередачи трубчато-пластинчатого радиатора с учетом конструктивных параметров предлагается [2] рассчитать по формуле:

$$k_T = \frac{1,03}{\frac{1}{\alpha_w} + \frac{3,1}{\alpha_v}}. \quad (2)$$

Приняв, что при существующих скоростях течения жидкости в трубчато-пластинчатых радиаторах коэффициент теплоотдачи от жидкости к стенкам $\alpha_v \approx 2,32 \text{ } Bm/m^2 \cdot K$, в формуле (2) будет учтен коэффициент теплоотдачи от поверхности охлаждения к воздуху. Она примет более простой и удобный для расчетов вид:

$$k_T = \frac{1,03}{\frac{1}{\alpha_w} + 1,34}.$$

Коэффициент теплопередачи поверхности охлаждения радиаторов, выполненных из меди, выше, чем радиаторов, выполненных из латуни. Из графической зависимости коэффициента теплопередачи радиаторов тракторов «Беларус-80.1» от массовой скорости воздуха (рисунок 1) следует, что во всем

диапазоне расхода воздуха коэффициент теплопередачи радиаторов из меди МЗ выше, чем радиаторов из латуни, на 22–28 %. С увеличением массовой скорости воздуха во всех случаях коэффициент теплопередачи увеличивается.

Из графиков зависимости коэффициента теплопередачи от массовой скорости воздуха трубчато-пластинчатых радиаторов из латуни и алюминиевых сплавов (рисунок 2) следует, что во всем диапазоне расхода воздуха коэффициент теплопередачи алюминиевых радиаторов выше аналогичных по конструкции сердцевин с поверхностью охлаждения из латуни Л-63 на 17–19 %. При увеличении расхода воздуха коэффициент теплопередачи алюминиевого радиатора увеличивается более интенсивно.

Параметры системы охлаждения дизеля Д-243 трактора «Беларус-80.1» в комплектации системы охлаждения радиаторами из латуни Л63 и алюминиевого сплава приведены в таблице 2 [1].

Предположим, что коэффициент теплопередачи от охлаждающей жидкости потоку воздуха увеличен, например, путем турбулизации потока воздуха, проходящего через сердцевину радиатора. Запишем уравнения состояния системы при изменении коэффициента теплопередачи в виде:

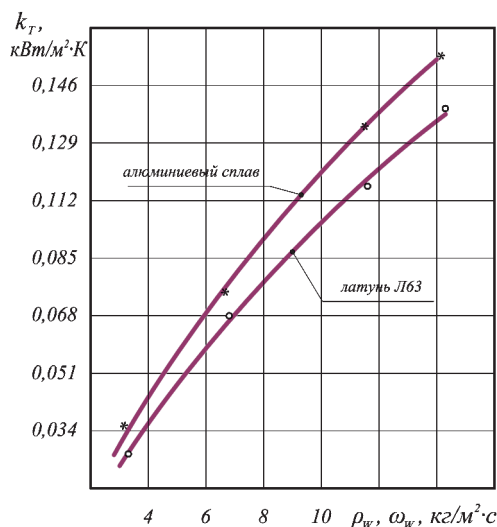


Рисунок 2. – Коэффициент теплопередачи трубчато-пластинчатых радиаторов из ленты латунной Л63 и алюминиевого сплава

Таблица 2. – Параметры системы охлаждения трактора «Беларус-80.1»

Тип радиатора	Расходы теплоносителей, кг/с		Поверхность охлаждения, м ²	Теплоотдача в охлаждающую жидкость, кВт/с	Коэффициент теплопередачи, кВт/м ² ·К	Температура воды, °С	
	вода	воздух				на выходе из дизеля	на входе в дизель
Трубчато-пластинчатый, 4-рядный, латунный	1,58	1,06	12,6	33,23	0,0685	96	91
Трубчато-пластинчатый, 4-рядный, алюминиевый	1,47	1,02	12,01	31,04	0,0733	91	86
Трубчато-ленточный, 4-рядный, алюминиевый	1,42	1,11	14,33	29,89	0,055	93	88

$$Q_F = k_T F (\bar{t}_V - \bar{t}_W). \quad (3)$$

$$Q_F^* = (k_T \pm \delta k_T) F (\bar{t}_V^* - \bar{t}_W), \quad (4)$$

где Q_F^* – теплоотдача от поверхности охлаждения при изменении коэффициента теплопередачи;

$\bar{t}_V^*$ – средняя температура охлаждающей жидкости при изменении коэффициента теплопередачи.

Уравнение (3) определяет количество теплоты, передаваемое поверхностью охлаждения при установившемся температурном режиме и условии обеспечения заданного значения температурного режима. При воздействии внешних факторов температура охлаждающей жидкости изменяется, температурный режим переходит в нестационарный.

Предположим, что восстановление температурного режима осуществляется изменением тепловой эффективности радиатора путем увеличения коэффициента теплопередачи. В этом случае теплоотдача от радиатора будет иметь вид, представленный уравнением (4), в котором знак (+) имеет место при увеличении коэффициента теплопередачи и знак (–) – при уменьшении коэффициента теплопередачи. Примем условие, что $Q_F^* = Q_F$ и $\bar{t}_W = const$, уравнения (3) и (4) приравняем и запишем в виде:

$$k_T F (\bar{t}_V - \bar{t}_W) = (k_T \pm \delta k_T) F (\bar{t}_V^* - \bar{t}_W).$$

Переменным параметром при изменении коэффициента теплопередачи в этом случае будет температура охлаждающей жидкости. При увеличении коэффициента теплопередачи средняя температура жидкости будет уменьшаться ($\bar{t}_{V2}^* < \bar{t}_{V2}$), при уменьшении коэффициента – увеличиваться ($\bar{t}_{V2}^* > \bar{t}_{V2}$). Уравнения изменения показателей системы охлаждения при изменении коэффициента теплопередачи запишем на основании уравнений работы [3]. Средняя температура жидкости при увеличении коэффициента теплопередачи изменится на некоторую величину, которая определяется по формуле [1]:

– при увеличении коэффициента теплопередачи

$$\Delta \bar{t}_V^* = \Delta \bar{t}_{V-W} \left[1 - \frac{1}{(1 + \beta_{KT})} \right],$$

где Δt_{V-W} – разность температуры охлаждающей жидкости и потока воздуха на входе в радиатор;

– при уменьшении коэффициента теплопередачи

$$\Delta \bar{t}_V^* = \Delta \bar{t}_{V-W} \left[\frac{1}{(1 - \beta_{KT})} - 1 \right],$$

где $\beta_{KT} = \frac{\delta k_T}{k_T}$ – относительное изменение коэффициента теплопередачи.

Тогда температура охлаждающей жидкости на выходе из двигателя при увеличении коэффициента теплопередачи будет рассчитываться по уравнению:

$$t_{v2}^* = \bar{t}_v - \Delta \bar{t}_{v-w} \left[1 - \frac{1}{(1 + \beta_{KT})} \right] + \frac{\Delta t_v}{2} \quad (5)$$

и на выходе из радиатора – по уравнению:

$$t_{v1}^* = \bar{t}_v - \Delta \bar{t}_{v-w} \left[1 - \frac{1}{(1 + \beta_{KT})} \right] - \frac{\Delta t_v}{2} . \quad (6)$$

Соответственно, запишем уравнения температуры охлаждающей жидкости при уменьшении коэффициента теплопередачи:

$$t_{v2}^* = \bar{t}_v + \Delta \bar{t}_{v-w} \left[\frac{1}{(1 - \beta_{KT})} - 1 \right] + \frac{\Delta t_v}{2} \quad (7)$$

и

$$t_{v1}^* = \bar{t}_v + \Delta \bar{t}_{v-w} \left[\frac{1}{(1 - \beta_{KT})} - 1 \right] - \frac{\Delta t_v}{2} .$$

Из уравнений (5) и (7) решим обратную задачу и определим, как должен измениться коэффициент теплопередачи при изменении температуры охлаждающей жидкости на входе в радиатор (t_{v2}). При условии, что средняя температура жидкости уменьшается ($t_{v2}^* > t_{v2}$), при решении уравнения (7) получим формулу для определения коэффициента теплопередачи:

$$k_T^* = \frac{k_T}{1 + \frac{t_{v2}^* - t_{v2}}{\Delta \bar{t}_{v-w}}} . \quad (8)$$

Для случая, когда средняя температура охлаждающей жидкости увеличивается ($t_{v2}^* < t_{v2}$), формула (8) записывается в виде:

$$k_T^* = \frac{k_T}{1 - \frac{t_{v2}^* - t_{v2}}{\Delta \bar{t}_{v-w}}} . \quad (9)$$

В общем виде уравнения (8) и (9), определяющие закономерности изменения коэффициента теплопередачи радиатора при изменении температуры охлаждающей жидкости на входе в радиатор, запишем в виде:

$$k_T^* = \frac{k_T}{1 \pm \frac{\pm t_{v2}^* \mp t_{v2}}{\Delta \bar{t}_{v-w}}} , \quad (10)$$

где знаки вверх принимаются при ($t_{v2}^* > t_{v2}$) и вниз – при ($t_{v2}^* < t_{v2}$).

Приняв $k_T = \frac{Q_F}{F \Delta \bar{t}_{v-w}}$, уравнение (10) запишем в виде:

$$k_T^* = \frac{Q_F}{F \Delta \bar{t}_{v-w} \left[1 \pm \frac{\pm t_{v2}^* \mp t_{v2}}{\Delta \bar{t}_{v-w}} \right]} .$$

После преобразования это уравнение примет вид:

$$k_T = \frac{Q_F}{F \left[\Delta \bar{t}_{v-w} \pm (t_{v2}^* \mp t_{v2}) \right]} .$$

Отношение $\frac{k_T^*}{k_T} = f(t_{v2})$ назовем регулировочной характеристикой коэффициента теплопередачи в зависимости от температуры жидкости на выходе из двигателя. Функциональное отношение этой характеристики запишем в виде:

$$\frac{k_T^*}{k_T} = \frac{1}{1 \pm \frac{\pm t_{v2}^* \mp t_{v2}}{\Delta t_{v-w}}}$$

Удельное количество теплоты от поверхности охлаждения при увеличении коэффициента теплопередачи увеличивается, соответственно, увеличивается и количество отводимой поверхностью теплоты. Количество теплоты, отводимое поверхностью охлаждения, при изменении коэффициента теплопередачи рассчитывается по формуле:

$$Q_F^* = Q_F (1 \pm \beta_{KT}),$$

где знак (+) будет иметь место при увеличении и знак (–) – при уменьшении коэффициента теплопередачи, графическая зависимость имеет прямолинейный характер (рисунок 3).

Примем для последующего рассмотрения трубчато-пластинчатый латунный и трубчато-пластинчатый алюминиевый радиаторы. Коэффициент теплопередачи системы охлаждения в комплектации с латунным радиатором 70У-13.01.010 равен 0,0685 $\kappa\text{Дж}/\text{м}^2\cdot\text{К}$ и в комплектации с алюминиевым 70АЛ-13.01.020-Б – 0,073 $\kappa\text{Дж}/\text{м}^2\cdot\text{К}$. По результатам экспериментальных исследований температурный режим систем охлаждения с указанными радиаторами составляет:

- радиатор 70-13.01.010 – температура воды на входе в радиатор – 96 °С и на выходе из радиатора – 91 °С, соответственно, перепад воды на входе и выходе радиатора – 5° и средняя температура воды – 93,5 °С;

- радиатор 70АЛ-13.01.020-Б – температура воды на входе в радиатор – 91 °С и на выходе из радиатора – 86 °С, соответственно, перепад воды на входе и выходе радиатора – 5° и средняя температура воды – 88,5 °С.

Выполним расчет температуры охлаждающей жидкости на

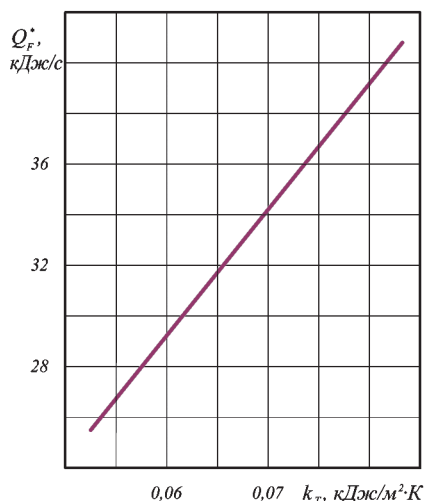


Рисунок 3. – Теплоотдача поверхности охлаждения радиатора трактора «Беларус-80.1» в зависимости от коэффициента теплопередачи

выходе из двигателя при изменении коэффициента теплопередачи. Графики зависимостей $t_{v2} = f(k_T)$, рассчитанные по формуле (10), системы охлаждения с радиаторами из латуни и алюминиевых сплавов трактора «Беларус-80.1» представлены на рисунке 4. Графическая зависимость показывает, что характер изменения температуры жидкости от коэффициента теплопередачи для разных материалов одинаков и с увеличением коэффициента теплопередачи температурный режим системы охлаждения снижается. Общей закономерностью является непрямолинейность графиков функции. Температура жидкости латунного радиатора выше алюминиевого на 2–3° [1].

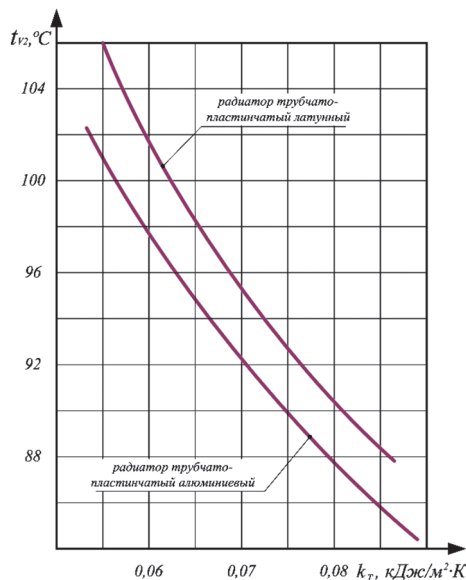


Рисунок 4. – Температура охлаждающей жидкости трактора «Беларус-80.1» в зависимости от коэффициента теплопередачи

Заключение

Коэффициент теплопередачи поверхности охлаждения в совокупности с параметрами системы позволяет регулировать тепловое состояние двигателя в заданных пределах. Уменьшение или увеличение коэффициента теплопередачи приводит к изменению температуры охлаждающей жидкости. При этом увеличение коэффициента уменьшает значение температурных показателей системы охлаждения. Коэффициент теплопередачи охлаждающих поверхностей является одним из регулировочных параметров температурного режима системы охлаждения.

17.03.2015

Литература

1. Якубович, А.И. Системы охлаждения двигателей тракторов и автомобилей. Исследования, параметры и показатели / А.И. Якубович, Г.М. Кухаренок, В.Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2014. – 300 с.
2. Якубович, А.И. Системы охлаждения двигателей тракторов и автомобилей. Конструкция, теория, проектирование / А.И. Якубович, Г.М. Кухаренок, В.Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2011. – 436 с.
3. Тарасенко, В.Е. Параметры и показатели системы охлаждения при воздействии возмущающих факторов / В.Е. Тарасенко, А.А. Жешко // 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. 19–28.

УДК 629.1

В.Е. Тарасенко

(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь)

А.А. Жешко

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

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА

Введение

На температурный режим дизеля влияет множество факторов. Часть из них учитывается при разработке системы, другая задается граничными условиями. К граничным условиям относятся температура окружающей среды ($+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ для умеренного климата, $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ – для тропического), режим нагрузки дизеля – максимальная эксплуатационная мощность $N_{e\text{ max}}$.

Тепловое состояние дизеля при определенном сочетании этих факторов может нарушаться, что приводит к переохлаждению или перегреву – к нестационарному температурному режиму. Процесс перегрева дизеля означает превышение допустимой температуры. При заправке системы охлаждения водой, избыточном давлении в жидкостном контуре $0,05\text{--}0,07\text{ МПа}$ оптимальная рабочая температура находится в пределах $93\text{--}98\text{ }^{\circ}\text{C}$, тепловое состояние дизеля находится в устойчивом равновесии, в системе охлаждения сохраняется баланс передачи теплоты.

При этой температуре эффективные показатели дизеля принимают наибольшие значения, удельный эффективный расход топлива становится наименьшим. Допустимая температура $[T_{j2}] \leq 105\text{ }^{\circ}\text{C}$, температурный напор составляет $\Delta T_{\nu} = 5 \pm 0,5^{\circ}$.

Основная часть

Способность системы устранить влияние отрицательных факторов и вернуться в устойчивое тепловое состояние и есть результат тепловой эффективности системы охлаждения. Правильно спроектированная система охлаждения должна обеспечивать устойчивое равновесное тепловое состояние дизеля при заданных расчетных значениях поверхности охлаждения радиатора и расходах теплоносителей – потока жидкости и воздуха. Превышение поверхности охлаждения выше расчетной приводит к уменьшению удельного количества теплоты с 1 м^2 поверхности, уменьшается эффективность потока воздуха при превышении его расхода. Одновременно увеличиваются расход материалов на изготовление радиатора и затраты мощности на привод вентилятора.

Основной задачей при разработке системы охлаждения является принятие таких параметров радиатора, расхода жидкости и потока воздуха, чтобы обеспечивалось условие теплового баланса при передаче теплоты системой. Непременным при этом, в отличие от проектирования других

агрегатов и узлов трактора, является проведение *теплового расчета*. Тепловой расчет проводится по математическим моделям на основе законов термодинамики, теплопередачи, гидродинамики и аэродинамики.

Условием соответствия системы охлаждения заданным тепловым параметрам выбранного дизеля является тепловой баланс $\Delta Q_V = \Delta Q_F = \Delta Q_W$. Только при равенстве составляющих теплоты система охлаждения способна надежно функционировать в условиях эксплуатации. Технические или иные решения обеспечения тепловой эффективности системы охлаждения предполагают обеспечение способности системы безотказно функционировать при воздействии неучтенных возмущающих факторов. К таким факторам относятся температура окружающей среды, нагрузочный режим дизеля в эксплуатации, накипь на внутренних и отложения на внешних поверхностях охлаждения радиатора и др.

При проектировании системы охлаждения параметрического ряда тракторов и достаточном количестве данных по системе охлаждения выбор параметров компонентов проектируемой системы можно с большой вероятностью соответствия проводить по удельным показателям. Такой метод вполне приемлем при проектировании систем охлаждения модификаций тракторов «Беларус» [1].

Обеспечение тепловой эффективности системы охлаждения предполагает, что система разработана в соответствии с законами теплопередачи и при отсутствии возмущающих факторов обеспечивает заданный тепловой режим дизеля в заданных условиях. При невыполнении указанных условий спроектировать работоспособную систему охлаждения не представляется возможным, требуются технические решения повышения тепловой эффективности для обеспечения заданного теплового состояния дизеля. Например, охлаждающая поверхность радиатора ниже требуемой, в этом случае $\Delta Q_F < \Delta Q_V$. Обеспечить заданный температурный режим дизеля можно при выборе другого радиатора, с большей поверхностью охлаждения или интенсификацией теплопередачи охлаждающих поверхностей радиатора, т. е. путем увеличения коэффициента теплопередачи k_r .

Проектирование системы охлаждения на первоначальном этапе предполагает предварительный расчет системы и согласование ее параметров с параметрами и показателями выбранного дизеля. Этот этап проектирования включает шаги, представленные на блок-схеме (рисунок 1) алгоритма выбора и согласования дизеля. *Цель согласования* состоит в том, чтобы параметры и показатели принимаемого дизеля позволили обеспечить баланс передаваемой теплоты от дизеля в охлаждающую жидкость и разработать эффективную систему охлаждения для вновь проектируемого трактора.

Применение приведенного алгоритма рассмотрим на примере следующей задачи.

Выбрать дизель и разработать систему охлаждения для вновь проектируемого трактора. Последовательность шагов решения задачи следующая:

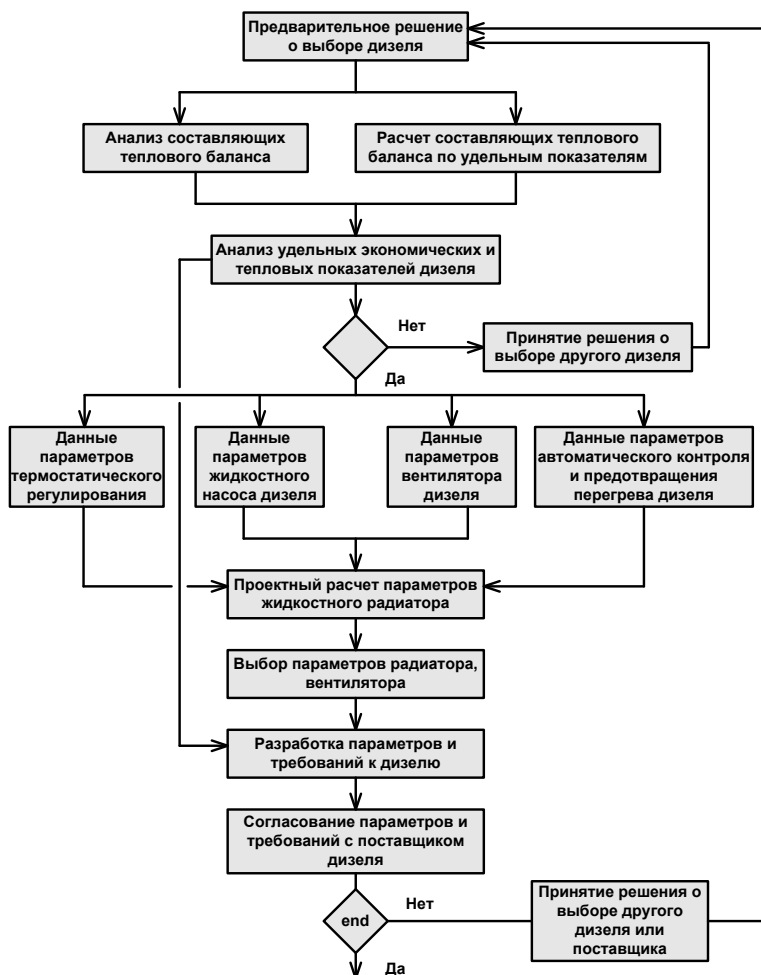


Рисунок 1. – Блок-схема последовательности выбора и согласования дизеля при проектировании системы охлаждения

1. Выбирается дизель из числа имеющихся на рынке, основными техническими показателями выбора являются номинальная мощность (N_e) и частота вращения (n_e), предусмотренные техническим заданием на проектируемый трактор.

Примечание: другие заданные требования к дизелю, например масса, габаритные размеры, показатели токсичности и т. д., нами не рассматриваются.

2. Запрашиваются у производителя следующие показатели и параметры дизеля: составляющие теплового баланса, эффективный КПД (η_e), удельный расход топлива (g_e), параметры жидкостного насоса (G_p), венти-

лятора (G_w, n_e, N_e, i_e, D_e), данные термостатического регулирования, данные параметров автоматического контроля и предотвращения перегрева дизеля.

3. Выполняется расчет удельных показателей по составляющим теплового баланса, эффективных показателей, проводится анализ заявленных и расчетных показателей.

При соответствии заявленных показателей расчетным (допускается отклонение 7–8 %) требованиям ТЗ на трактор проводится следующий шаг согласования. При невыполнении этих требований принимается решение о выборе другого дизеля.

4. По данным удельной теплоты, поступающей в охлаждающую жидкость, параметров жидкостного насоса, вентилятора выполняется расчет составляющих баланса теплоты $\Delta Q_V = \Delta Q_F = \Delta Q_w$.

При отсутствии данных теплоты баланса дизеля, а такие данные разработчики представлять не желают, удельное количество теплоты, поступающей в охлаждающую жидкость системы охлаждения, определяется согласно методу базовой точки по заявленной мощности дизеля [2, 3].

5. Выполняется расчет общей поверхности охлаждения радиатора, прогнозируемого температурного режима дизеля при воздействии различных факторов в эксплуатации, предельной температуры окружающей среды, обеспечивающей работу дизеля без перегрева; уточняются параметры вентилятора.

6. При необходимости по результатам расчетов и анализа разрабатываются дополнительные требования по технико-экономическим показателям, параметрам жидкостного насоса (G_V) и вентилятора (G_w, n_e, N_e, i_e, D_e) и представляются разработчику дизеля.

7. Заключительное согласование технико-экономических и других требований с поставщиком дизеля.

Решение о выборе дизеля принято, согласованы технико-экономические показатели, параметры системы охлаждения проектируемого трактора. Следующим этапом работ являются компоновка воздушного контура, капота моторного отделения, проектирование или выбор из числа существующих радиатора охлаждения дизеля.

Предложенная последовательность выбора и согласования дизеля проектируемого трактора позволяет на этом этапе выполнить работы, обеспечивающие разработку эффективной системы охлаждения.

Расчет системы охлаждения и радиаторов без достаточных специальных знаний является сложной задачей. Проведенные работы показали, что нет необходимости считать по существующей методике каждый радиатор для каждого нового проектируемого и модернизируемого трактора. Специфика работы каждого сельскохозяйственного трактора одинакова, отличительной является мощность дизеля, и если дизели выполнены по одной схеме, являются модификациями базовой модели, то закономерности тепловыделения в систему охлаждения в целом сохраняются.

Создание баз данных систем охлаждения, определение удельных показателей, коэффициентов входящих в базу систем и на этой основе создание методики расчета системы охлаждения и радиаторов по удельным показателям и коэффициентам позволят проводить согласование дизеля, расчеты, анализ и оценку системы охлаждения начинающему конструктору.

Алгоритм проектирования системы охлаждения. Тепловое состояние двигателя – показатель комплексный, зависящий от конструктивных особенностей, параметров как самого двигателя, режимов его работы, так и системы охлаждения, ее компоновки на тракторе, а также условий эксплуатации. Тепловое состояние двигателя существенно влияет на его экономичность и надежность, в этой связи система охлаждения оценивается параметрами и показателями:

- функциональными параметрами, определяющими работоспособность системы;
- конструктивными параметрами, определяющими габариты и массу составляющих компонентов, их компоновку на тракторе;
- эксплуатационными показателями, определяющими надежность.

В качестве критерия оценки этих требований принят параметр, оценивающий тепловое состояние двигателя – температурный режим охлаждающей жидкости и смазочного масла.

Сформулируем отмеченные основные требования, предъявляемые к системе охлаждения двигателей тракторов при ее проектировании, в развернутом виде. Система охлаждения должна обеспечивать:

- минимальные габаритные и массовые параметры радиаторов, теплообменников и других узлов;
- минимальные затраты мощности на привод обслуживающих систему агрегатов;
- достаточный перенос теплоты от двигателя к радиатору в жидкостном тракте и возможно большую равномерность температуры цилиндров и поршней;
- высокую эффективность радиаторов по передаче теплоты при максимальной компактности и небольшом аэродинамическом сопротивлении;
- наименьшее аэродинамическое сопротивление воздушного тракта при максимальном использовании его возможностей для обеспечения передачи теплоты радиаторами потоку воздуха;
- удобство обслуживания и ремонта агрегатов и узлов системы;
- высокую экологическую чистоту системы (при эксплуатации не должны выделяться пары и просачиваться низкотемпературные жидкости).

Критерий оценки этих требований – функциональная работоспособность системы в заданных условиях при минимальных экономических затратах на изготовление и в эксплуатации, достаточная надежность.

Срок службы системы охлаждения должен быть равным сроку службы трактора. При этом необходимо обеспечить эксплуатационно-техниче-

ский запас системы по тепловой эффективности без увеличения массы поверхности охлаждения радиаторов, т. е. за счет повышения эффективности вспомогательных узлов и компоновки воздушного тракта.

На производительность и другие показатели тракторного агрегата в значимой степени влияют параметры систем моторной установки, в том числе и системы охлаждения. Поэтому одно из направлений работ по повышению технического уровня тракторов – совершенствование конструкции и выбор оптимальных параметров этих систем.

Основные принципы проектирования систем охлаждения тракторов заключаются в следующем:

- использование проектируемых систем охлаждения как на базовой модели, так и на модификациях всего семейства или подсемейства тракторов в заданном диапазоне мощности;

- обеспечение высоких технико-экономических показателей тракторов и их модификаций при использовании разрабатываемых систем на прогнозируемый период производства;

- возможность повышения технического уровня тракторов путем совершенствования систем на основе достижений науки и техники;

- технологическая и производственная преемственность с системами и их узлами параметрического мощностного ряда тракторов.

Проектирование системы охлаждения представляет собой многоэтапный процесс. Каждый из этапов характеризуется своими целями и определяется решаемыми задачами. Основными этапами создания системы являются:

1. Анализ ТЗ на трактор, параметров устанавливаемого на трактор двигателя, поиск аналогов систем охлаждения, разработка технического задания на систему.

2. Расчет, оптимизация параметров системы охлаждения, ее составляющих компонентов.

3. Согласование параметров системы охлаждения и двигателя.

4. Компоновка системы охлаждения, ее составляющих компонентов.

5. Разработка конструкторской документации.

6. Изготовление деталей, сборка макетного образца системы в составе с двигателем.

7. Испытание макетного образца системы в тепловой камере на стенде в составе с двигателем.

8. Доработка КД по результатам испытаний, изготовление деталей.

9. Сборка опытного образца системы охлаждения в составе с трактором.

10. Эксплуатационные испытания, проверка работоспособности и надежности.

11. Доработка КД и ее выдача в подготовку производства.

Особое значение имеет первый этап. На этом этапе определяется перечень внешних факторов, действующих на систему, в том числе назначение

трактора, основные агрегатируемые с ним сельскохозяйственные машины и орудия, условия окружающей среды, в которых будет эксплуатироваться трактор. Определяются и учитываются численные значения внешних факторов, действие которых возможно на проектируемую систему охлаждения. По данным принятого для установки на трактор двигателя – мощности, частоте вращения коленчатого вала, расходу топлива, определяются численные значения количества теплоты, которое необходимо отвести системой охлаждения, чтобы обеспечить требуемый температурный режим двигателя. На этом этапе обосновываются показатели эффективности, надежности и долговечности, их количественные значения. Если разрабатываемый трактор является базовой моделью, проводится анализ планируемых к разработке модификаций. При разработке системы охлаждения трактора, входящего в параметрический мощностной ряд, рассматриваются модели тракторов, мощность которых меньше на 30...50 % по сравнению с разрабатываемыми, и прогнозируемое увеличение их мощности в последующем.

На этом этапе рассматриваются общие требования к системам охлаждения тракторов, регламентирующие численные значения температуры теплоносителей, удельные показатели водяного насоса, вентилятора, радиатора и других теплообменников, допустимые затраты мощности на привод энергопотребляющих узлов системы.

Полученные данные позволяют определить модели тракторов и автомобилей, системы охлаждения которых могут быть приняты в качестве аналогов проектируемой системе.

По результатам проведения работ первого этапа разрабатывается техническое задание на проектирование системы охлаждения. К техническому заданию прилагается пояснительная записка, содержащая сведения о разработанных и используемых системах охлаждения, анализ результатов исследований систем, перспективы модернизации разрабатываемой системы, обоснование показателей эффективности и надежности, по которым предполагается оценивать качество системы, и количественные требования к ней. В записке указываются конструкторские подразделения, которые необходимо привлечь к созданию системы охлаждения.

На втором этапе проектирования разрабатывается структурная схема системы охлаждения, определяются основные составляющие компоненты, их взаимодействие с конструктивными особенностями двигателя и внешнего строения трактора. Рассматриваются варианты компоновки радиатора и его взаимодействия с установленным на двигателе вентилятором.

На этом этапе проектирования проводится расчет теплотехнических параметров системы охлаждения, определяющих численное значение количества теплоты, которое необходимо отвести от двигателя, требуемый расход жидкого теплоносителя для отвода теплоты от цилиндров и расход потока воздуха для отвода теплоты от радиатора. Полученные данные позволяют провести расчет поверхности охлаждения радиатора. Расчет

проводится по математическим моделям систем охлаждения, которые основаны на фундаментальных законах термодинамики и теплотехники. В качестве математической модели расчета рекомендуется принимать приведенный метод линейного моделирования процессов в системе охлаждения. Качественное отличие его от других математических моделей и методик в том, что приведенный метод расчета позволяет рассматривать и анализировать принимаемые основные параметры системы – поверхность охлаждения, расход теплоносителей во взаимосвязи, и видеть динамику их изменения на строящихся графических моделях.

Следующим шагом расчета является определение значений температур теплоносителей и поверхности охлаждения, их перепадов, а также возможного увеличения температуры охлаждающей жидкости при увеличении температуры окружающей среды, снижении расхода воздуха через радиатор и влиянии других внешних факторов на функционирование системы охлаждения. В качестве математической модели расчета рекомендуется принимать приведенный метод линейного моделирования процессов в системе охлаждения. Качественное отличие его от других математических моделей в том, что приведенный метод расчета позволяет рассматривать и анализировать принимаемые основные параметры системы – поверхность охлаждения, расход теплоносителей, во взаимосвязи и видеть динамику их изменения, влияния на температуру жидкости на строящихся графических моделях. По результатам расчета и моделирования системы охлаждения принимаются окончательные значения расходных параметров теплоносителей и поверхности охлаждения проектируемой системы.

По полученным данным расчета рассматриваются варианты исполнения радиатора, принимается тип охлаждающей поверхности (ленточный или пластинчатый), выполняются расчеты конструктивных параметров охлаждающих трубок и их компоновки в сердцевине, охлаждающей поверхности и ее компоновки, проводится выбор материала для поверхности охлаждения. Окончательный вариант исполнения радиатора принимается с учетом возможности обеспечения заданного температурного режима двигателя в соответствии с техническим заданием.

По расчетным данным требуемого расхода теплоносителей рассчитываются параметры производительности водяного насоса и вентилятора, затраты мощности на их привод. Полученные данные позволяют оценить соответствие расходных параметров установленных на двигатель водяного насоса и вентилятора требуемым, расчетным. При необходимости готовится предложение разработчику или поставщику двигателя по корректировке параметров водяного насоса и вентилятора, входящих в комплектацию двигателя.

Согласование параметров двигателя и системы охлаждения выполняется на следующем этапе проектирования, где рассматриваются параметры термостатического регулирования, тип применяемого термостата; конструктивное исполнение рубашки охлаждения, компоновка и устано-

вочные параметры водяного насоса, подача насоса и давление нагнетания, а также компоновочные параметры вентилятора, его привод и способ регулирования потока воздуха. По результатам выполненных работ двигатель согласовывается, или предлагается рассмотреть двигатель заданных мощностей и экономических показателей другого производителя.

Компоновочные работы, выполняемые на следующем этапе, предшествуют разработке КД узлов и деталей системы охлаждения. При компоновке система охлаждения согласовывается с двигателем и внешним строением моторного отделения. На этом этапе проектирования системы особое внимание должно быть уделено определению установочных параметров вентилятора, их оптимальное значение позволяет без материальных и энергетических затрат обеспечить максимальный расход воздуха через воздушный тракт. Конструкция капота, его установка на тракторе должны обеспечивать обдув наружных поверхностей двигателя, выход воздуха из моторного отделения. Компоновка системы охлаждения позволяет разработать конструкторскую документацию и приступить к изготовлению деталей.

Следующим важным этапом проектирования является изготовление физического макетного образца системы. Макетирование системы целесообразно проводить на тормозном стенде, на котором установлен применяемый на тракторе двигатель. Макетная установка включает двигатель, систему охлаждения и капот, устанавливаемый на тракторе. На макетах, как правило, действующих, проверяют оптимальность установочных параметров вентилятора, радиатора, проходных сечений по воздуху лобовой решетки облицовки, выходных сечений воздуха из-под капота моторной установки. Система охлаждения в полной имитации моторного отделения трактора подвергается испытанию в тепловой камере. Тепловая камера обеспечивает создание условий умеренного климата ($+35^{\circ}\text{C}$) и тропического ($+45^{\circ}\text{C}$). На специальных стендах при исследованиях вентиляторных установок, аэродинамических характеристик воздушного тракта, капотов, жидкостного тракта имитируют режимы и условия, близкие к эксплуатационным. Основная цель испытаний заключается в определении функциональной работоспособности системы охлаждения, определении температуры охлаждающей жидкости при максимальной температуре окружающей среды. При исследованиях макетных моторных установок в тепловой камере определяют функциональную работоспособность, критическое состояние узлов, агрегатов и деталей, обеспечение заданных требований. На этом этапе, как правило, проводят сравнительные исследования нескольких вариантов конструктивного исполнения проектируемой системы охлаждения для определения наиболее эффективного варианта, выявляют зависимости между параметрами отдельных узлов и деталей контура охлаждения двигателя. Техничко-экономические показатели двигателя определяются при его торможении в полной комплектации с системой охлаждения.

Стендовые исследования и испытания систем охлаждения моторных установок позволяют выявлять недостатки системы и устранять их в ходе проектирования, сокращают сроки отработки конструкции в 2...3 раза. Макетирование и испытание макетного образца системы охлаждения в тепловой камере были применены и отработаны при создании универсально-пропашных тракторов класса 1,4–2,0 на Минском тракторном заводе.

В последующем разработанная система охлаждения устанавливается на трактор для проведения эксплуатационных испытаний. По результатам испытаний при необходимости дорабатывается конструкторская документация и выдается в подготовку производства.

Метод оценки совершенства конструкции системы охлаждения.

По результатам проведенных исследований и анализа работ других исследователей по этой тематике сформулируем основные приоритетные положения, которые следует учитывать при проектировании системы охлаждения:

- ◀ конструкции моторного отделения и капота должны обеспечивать циркуляцию потоков воздуха вдоль поверхностей блока дизеля, создавать минимальное аэродинамическое сопротивление, обеспечивать свободный выход воздуха из-под капота;

- ◀ установка вентилятора относительно радиатора в поперечной и продольной плоскостях должна обеспечивать наибольшую ометаемость охлаждающих поверхностей радиатора и наибольший расход воздуха;

- ◀ установка радиатора относительно капота должна полностью исключать перетекание нагретого воздуха из моторного отсека в предрадиаторную зону воздушного контура;

- ◀ тепловыделяющие и другие узлы в предрадиаторной зоне должны быть установлены таким образом, чтобы поток воздуха, поступающий к сердцевине радиатора, был сплошным и равномерно распределялся по фронту радиатора;

- ◀ передние сетки элементов маски капота должны иметь минимальное аэродинамическое сопротивление и обеспечивать максимальное задержание пыли, растительных остатков.

Эти рекомендации являются пассивными, т. е. не требуют увеличения мощности на привод вентилятора, расхода материалов, и выполняются при компоновке системы охлаждения.

Представленная на рисунке 2 блок-схема содержит перечень задач, с помощью которых можно обеспечить эффективность системы охлаждения. Далее систематизируются возможные варианты технических решений задач. Таким образом, поставленная цель может достигаться множеством подходов.

Структура блок-схемы представляет собой дерево целей для поиска возможного направления обеспечения эффективности системы охлаждения или для устранения перегрева дизеля. Одновременно эта блок-схема

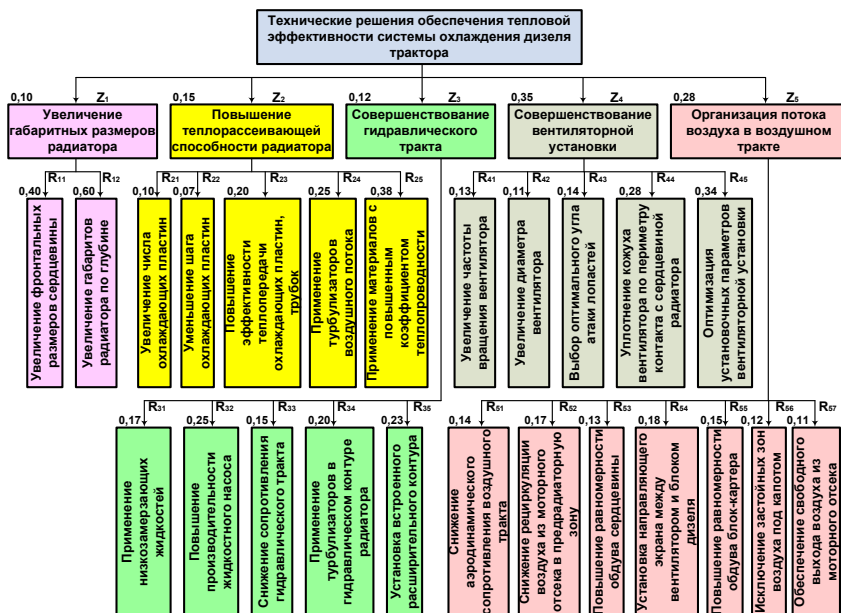


Рисунок 2. – Блок-схема нормативной оценки обеспечения эффективности системы охлаждения

описывает и систематизирует возможные технические решения поставленных задач. В таком виде данное дерево целей носит описательный характер и никак не позволяет оценить эффективность каждого направления.

В работе [4] Joseph P. Martino описывает нормативный метод оценки каждой задачи с помощью *коэффициентов относительной важности*. Воспользуемся этим методом и оценим каждую из задач, исходя из технологических возможностей, прогнозируемого увеличения материалоемкости компонентов системы и возможного увеличения энергетических затрат на привод жидкостного насоса и вентилятора. Коэффициент относительной важности каждой из задач, соответственно, равен 0,1; 0,15; 0,12; 0,35 и 0,28. Отметим, что сумма коэффициентов всех задач равна единице.

Каждая из задач может иметь различные технические решения. Оценим эти решения по тем же критериям и присвоим им также значение *коэффициента относительной важности*. Сумма коэффициентов технических решений каждой задачи, соответственно, равна единице (рисунок 2).

Поставленная цель может быть достигнута при реализации одного из технических решений. Нормативной оценкой каждой из задач является произведение коэффициентов по вертикали. Большее значение коэффи-

циента свидетельствует о важности и эффективности по принятым критериям решения задачи. Например, эффективность системы охлаждения можно обеспечить увеличением охлаждающих поверхностей радиатора (Z_1) путем увеличения фронтальных габаритов (R_{11}) или числа рядов трубок по глубине (R_{12}). Произведения коэффициентов в каждом из подходов, соответственно, равны $0,1 \cdot 0,4 = 0,04$ и $0,1 \cdot 0,6 = 0,06$. Из этого следует, что подход R_{12} важнее и эффективнее подхода R_{11} .

Аналогичным образом оценим возможные решения задач, представленных на блок-схеме рисунка 2. Результаты расчета по одному из возможных технических решений представлены в таблице 1.

Из анализа по приведенным коэффициентам следует, что более рационально обеспечение эффективности системы охлаждения путем оптимизации установочных параметров вентиляторной установки, так как это техническое решение позволяет увеличить расход воздуха через радиатор без увеличения материалоемкости и энергетических затрат. Вторым мероприятием по эффективности является организация циркуляции потока воздуха в воздушном контуре моторного отсека под капотом.

Предлагаемый вероятностный метод позволяет производить оценку принимаемых технических решений по заданным коэффициентам относительной важности. Вместе с тем такой анализ решения технических задач может быть полезен при выборе одного варианта подхода из множества, но признавать его безусловно точным нельзя, т. к. в этом методе существует субъективный фактор при назначении коэффициентов относительной важности.

Назначение и выбор коэффициентов по качественным критериям или совокупности статистических данных позволит создать программный продукт анализа и оценки прогнозируемых решений, исключив из него субъективность принимаемого решения.

Применение программных средств и компьютерных технологий при разработке системы охлаждения по предлагаемым методикам приведет к

Таблица 1. – Расчет оценки возможных технических решений

Задача	Оценочный коэффициент принимаемого технического решения				
	R_{11}	R_{22}	R_{32}	R_{45}	R_{54}
Z_1	0,04				
Z_2		0,0105			
Z_3			0,018		
Z_4				0,119	
Z_5					0,0476

сокращению сроков проведения проектных работ. Методы оптимизации, линейного моделирования, оценки применяемых технических решений позволят проводить расчеты с достаточной степенью точности и получать результаты, обеспечивающие рабочие процессы системы охлаждения в соответствии с требованиями по заданным данным, создавать надежные и безотказные системы охлаждения.

Заключение

Согласование параметров проектируемой системы охлаждения и двигателя является важным этапом системного проектирования охлаждения двигателя трактора. Приведенные этапы алгоритма согласования позволяют на стадии проектирования принимать обоснованные решения и увязывать их с характеристикой двигателя, что значительно сокращает сроки и стоимость создания систем, обеспечивает безотказность и надежность работы системы в эксплуатации.

Разработан алгоритм создания конструкции системы охлаждения моторной установки трактора. Основные этапы – разработка ТЗ на систему, расчет, моделирование, макетирование, стендовые и эксплуатационные испытания – имеют обратную связь, позволяющую корректировать исходные данные, создавать многовариантность проверяемых решений, что дает возможность на этапе проектирования принимать обоснованные технические решения.

Предложен вероятностный метод, позволяющий проводить оценку принимаемых технических решений по заданным коэффициентам относительной важности, что способствует принятию наиболее оптимальных решений при проектировании и совершенствовании систем охлаждения.

17.03.2015

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. Тарасенко, В.Е. Обеспечение температурного режима системы охлаждения дизеля сельскохозяйственного трактора совершенствованием жидкостного и воздушного контуров: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / В.Е. Тарасенко. – Минск, 2009. – 179 л.
3. Тарасенко, В.Е. Метод расчета количества теплоты, поступающей в жидкостный теплоноситель системы охлаждения в обобщенных переменных по базовой точке / В.Е. Тарасенко // Двигатели внутреннего сгорания: актуальные проблемы и пути решения: материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 60-летию автотрак. фак. и 50-летию кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» БНТУ, Минск, 24–28 окт. 2011 г. / Белорус. национ. техн. ун-т; редкол.: Г.М. Кухаренок [и др.]. – Минск, 2011. – С. 175–182.
4. Мартино, Дж. Технологическое прогнозирование / Дж. Мартино; пер. с англ. Technological Forecasting for Decisionmaking NEW YORK, 1972. – М.: Прогресс, 1977. – 592 с.

УДК 621.317.385: 662.17

**В.Г. Мироненко,
Н.В. Веремейчик**

*(ННЦ «Институт механизации и
электрификации сельского хозяйства»,
п.г.т. Глеваха, Киевская обл., Украина)*

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ГРАНУЛИРОВАННОГО БИОТОПЛИВА НА РАЗНЫХ ТИПАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

Введение

Возобновляемая энергетика – это динамично развивающийся в мире сектор экономики. В настоящее время доля возобновляемых источников энергии в общей поставке первичной энергии в мире составляет около 13 %, в том числе биомассы – 10 % (в Украине – 1,2 %). В планах Европейского союза на 2020 год предусмотрено довести долю возобновляемой энергетике до 20 %. Таким образом, одним из факторов эффективности сельского хозяйства Украины в дальнейшем будет освоение нового уровня производства и использования биотоплива непосредственно в месте расположения растительной биомассы.

Исследованием вопроса альтернативных источников энергии занимались Г.Г. Гелетука, Г.М. Калетник, В.А. Дубровин, В. Мироненко, А. Голуб, Я.Б. Блюм и другие ученые.

Целью проведенных авторами настоящей статьи исследований явилось повышение эффективности производства гранулированного биотоплива из местного биосырья в условиях сельских территорий.

На основе метода интегрального критерия расстояния до цели сравнивалась эффективность выбора стационарной и мобильной линий по производству гранулированного биотоплива исходя из четырех критериев: капитальных затрат, затрат на производство, затрат на сырье и удельных энергозатрат.

Основная часть

Эффективность использования того или иного оборудования может быть определена с помощью одного из эвристических методов, который не дает абсолютной оценки вариантов, но позволяет определить направления приближения к идеальному варианту – метод интегрального критерия расстояния до цели. Этот метод дает возможность в виде круговой диаграммы взаимосвязанных показателей оценивать преимущества и недостатки сравниваемых вариантов, при этом по направлению к центру показатели улучшаются [1, 2].

Рассмотрим эффективность работы мобильной и стационарной линий гранулирования твердого биотоплива с помощью четырех критериев: X1 – капитальных расходов; X2 – затрат на производство; X3 – затрат на сырье и X4 – удельных энергозатрат.

Капитальные расходы – расходы на приобретение, создание, совершенствование, расширение активов, техническое переоснащение, реконструкцию уже имеющихся и приобретение новых (ранее не использованных) основных средств.

Для стационарной линии производительностью 5 т/ч:

– Аренда или покупка земельного участка. Средняя цена 0,01 га земельного участка в 100 км от областного центра примерно 10000 грн. Для строительства завода мощностью 5 т/ч необходимо 800 м². Таким образом, в настоящее время это будет стоить 80 тыс. грн.

– Строительство помещения. Не существует строго регламентированных требований к зданию завода по производству биотоплива. Цена 1 м² с учетом дверей и всех строительных материалов – 3500 грн/м² (1050,0 тыс. грн).

– Приобретение оборудования. Цена оборудования завода мощностью 5 т/ч составляет примерно 7 млн грн. Стоимость базового инжиниринга без проектирования завода составляет 50 тыс. грн, установка и запуск оборудования этой же компанией составляет еще примерно 7 % совокупных расходов на оборудование (7490,0 тыс. грн).

Таким образом, общие капитальные затраты на создание стационарной линии производства топливных гранул производительностью 5 т/ч составляют 8620 тыс. грн.

Для мобильной линии производительностью 0,5 т/ч ориентировочная стоимость оборудования с прицепом составляет 350 тыс. грн.

Следовательно, если исходить из одинаковой производительности, 5 т/ч, то общие капитальные затраты для стационарной линии могут составлять около 8600 тыс. грн, а мобильной линии – 3500 тыс. грн.

Затраты на производство – представляют собой любые расходы за отчетный период, обусловленные приобретением и использованием различных ресурсов в процессе осуществления производственно-хозяйственной деятельности.

Для стационарной линии:

– Электроэнергия. Тарифы на электроэнергию для потребителей 2-го класса с учетом НДС составляют 1,68 грн/кВт·ч. Исходя из того, что выбранный завод потребляет 1200–1336 кВт·ч в сутки, работает 20 часов в сутки с производительностью 5 т/ч, получаем стоимость электроэнергии, затраченной на тонну продукции, 20 грн/т.

– Вода. Тариф на водоснабжение и водоотведение с учетом НДС составляет 13,87 грн. за м³. Пеллетное оборудование потребляет около 80 ли-

тров воды на каждую тонну произведенных пеллет, то есть стоимость воды, затраченной на производство тонны гранул, составляет 1,1 *грн/т*.

– Расходные материалы. Срок эксплуатации линии составляет 10 лет, работает она 240 дней в году, тогда затраты на расходные материалы составят 3,6 *грн/т*.

– Оплата труда. Для работы требуется 4 квалифицированных специалиста (2+2 в две смены). Предполагаем, что зарплата составляет 4470 *грн* для каждого рабочего в месяц, то есть затраты на оплату труда могут составлять 8,9 *грн/т*.

Для мобильной линии:

– Аренда трактора. Оборудование монтируется на трактор МТЗ-80 класса 1,4. Предприниматель, фермер или хозяин может быть владельцем трактора или арендовать его. Аренда осуществляется в соответствии с Законом Украины об аренде государственного и коммунального имущества от 23.12.1997 г. № 768/97-ВР [3]. Если арендная плата составляет 10 *грн/ч*, то стоимость аренды на единицу продукции составляет 20 *грн/т*.

– Расход топлива. При почасовом расходе топлива на производство пеллет 7 литров в час и стоимости дизельного топлива 20 *грн/л* стоимость топлива на единицу продукции составит 280 *грн/т*.

– Оплата труда. Принимаем месячную зарплату 2 работников по 2500 *грн*. Тогда оплата труда на единицу продукции составит 60 *грн/т*.

Таким образом, общие затраты на производство пеллет на стационарной линии составляют 33,6 *грн/т*, а для мобильной линии – 360 *грн/т*.

Затраты на сырье:

Для стационарной линии:

– Закупка сырья. Для линии производительностью 5 *т/ч* лучше иметь плантацию собственного сырья. Если такой плантации нет, можно закупать тюкованную солому, древесные отходы и другое сырье по цене примерно 1000 *грн/т*.

– Стоимость доставки сырья. Если считать, что объем кузова грузовика составляет 40 *м³* (включая объем прицепа), удельный вес сырья – 0,3 *т/м³*, рациональная зона доставки сырья – 50 *км*, расход топлива – 40 литров топлива на каждые 100 *км*, а стоимость солярки составляет 20 *грн/л*, то общие расходы на доставку будут составлять 33,3 *грн/т*.

Для мобильной линии:

– Заготовка сырья. Создание мобильной линии предполагает ее использование для производства гранулированного топлива в личных и фермерских хозяйствах, где хозяева используют подготовленное сырье в основном из отходов собственного хозяйства (остатки соломы, отходы ку-

курузы и подсолнечника, обрезки деревьев и кустов и т. д.). Поэтому считаем, что в таком случае сырье является бесплатным.

– Живой труд по заготовке сырья. Виды работ и их тарифные разряды при заготовке сырья приведены в [4]. При оплате работы по заготовке 5 тонн сырья одним работником в течение месяца по первому разряду в размере +1218 *грн* и соответствующих коэффициентах других разрядов усредненная оплата составит 260 *грн/т*.

– Сооружение для хранения сырья. Стоимость 1 m^2 пленки – 7 *грн*. Из расчета укрытия 5 тонн сырья тентом 50 m^3 в течение 5 лет стоимость укрытия составит 14 *грн/т*.

Таким образом, общие затраты на сырье для стационарной линии составляют 1033,3 *грн/т*, а для мобильной линии – 274 *грн/т*.

Удельные энергозатраты – на основных рабочих процессах сушки сырья и гранулирования:

Для стационарной линии:

– Затраты на сушку. Для наших расчетов принимаем, что удельные энергозатраты на сушку составляют 650 *кДж/кг*.

– Затраты энергии на производство. Определяются как соотношение установленной мощности электродвигателей на прессе к производительности машины. Завод производительностью 5 *т/ч* имеет мощность 350 *кВт*, или 1260000 *кДж*. Таким образом, удельные энергозатраты составляют 252 *кДж/кг*.

Для мобильной линии:

– Затраты энергии на производство. Гранулирование предварительно высушенного сырья на мобильной линии производительностью 0,5 *т/ч* и мощностью 50 *кВт* имеет удельные энергозатраты 360 *кДж/кг*.

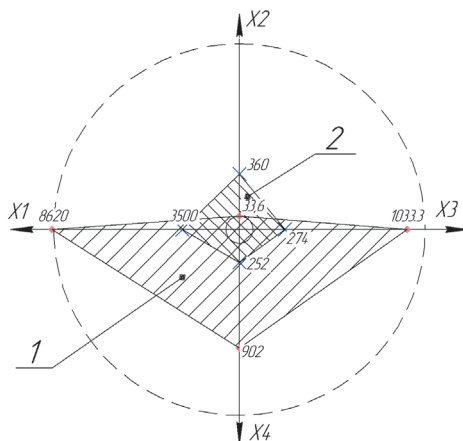
Таким образом, общие удельные энергозатраты на гранулирование для стационарной линии составляют 902 *кДж/кг*, а для мобильной линии – 252 *кДж/кг*. Анализ полученных расчетных данных (таблица 1), а также сравнение интегральных показателей рассмотренных вариантов гранулирования твердого биотоплива (рисунок 1) показывают, что мобильная линия гранулирования экономически более эффективна – 157,9 против

Таблица 1. – Сводные данные затрат производства топливных гранул на разных линиях гранулирования

Название линии гранулирования	Капитальные затраты, тыс. <i>грн</i>	Затраты на производство, <i>грн/т</i>	Затраты на сырье, <i>грн/т</i>	Удельные энергозатраты, <i>кДж/кг</i>
Стационарная	8620	33,6	1033,3	902
Мобильная	3500	360	274	252

4076,1 условных единиц площади (или в 25,8 раз выше). Ее использование обеспечит создание новых рабочих мест в сельской местности и будет способствовать повышению уровня защиты окружающей среды.

Кроме того, есть резерв повышения эффективности использования мобильной линии за счет уменьшения затрат на производство гранул. Это может быть достигнуто, например, при подключении мобильной линии к широко распространенным электрическим сетям 220 В.



1 – стационарная линия; 2 – мобильная линия

Рисунок 1. – Диаграмма интегральной оценки эффективности стационарной и мобильной линий производства топливных гранул

Вывод

Использование мобильной линии гранулирования твердого биотоплива для теплоснабжения производственных и бытовых нужд сельских потребителей имеет существенные энергетические и экономические преимущества. Кроме того, способствует созданию дополнительных рабочих мест в сельской местности, повышению качества жизни сельского населения и повышению уровня защиты окружающей среды.

Предложенная методика дает возможность наглядно и просто определить целесообразность применения того или иного технического оборудования по производству гранулированного биотоплива, оценить эффективность выбранных вариантов технологического процесса и определить возможные пути ее повышения.

04.09.2015

Литература

1. Мюллер, И. Эвристические методы в инженерных разработках / И. Мюллер. – М.: Радио и связь, 1984. – 142 с.
2. Мироненко, В. Методика раціонального вибору обладнання для виробництва біопалив / В. Мироненко, В. Поліщук, Г. Захарків // Наук. вісник Нац. університету біоресурсів і природокористування України. – Київ, 2011. – № 166. – Ч. 2. – С. 148–152.
3. Закон України про оренду державного та комунального майна від 23.12.97 р. № 768/97-ВР.
4. Тарифікація механізованих та ручних робіт у сільському господарстві / В.В. Вітвіцький [та ін.]. – К.: НДІ «Укراгропромпродуктивність», 2009. – 128 с. – (Б-ка спеціаліста АПК «Економічні нормативи»).

Введение

Одной из нерешенных научно-технических проблем в сельском хозяйстве является подача в биореакторы органической массы в широких пределах ее физико-механических свойств одним типом машин. Особенно это касается подачи органической массы низкой влажности ($W = 76\text{--}82\%$) в закрытые био-конверсные установки с нижней подачей. Активно ведутся научно-исследовательские работы с органической массой высокой влажности ($W = 85\text{--}99\%$), в результате исследований предложены высокоэффективные агрегаты.

Однако обоснование выбора технологической схемы агрегата для подачи органической массы в настоящее время проводят лишь отдельные исследователи, и то в части ее удаления из животноводческих помещений.

Существующие средства для подачи органической массы в биореакторы получили широкое использование в сельском хозяйстве. Среди них шнековые, винтовые, центробежные, осевые, вакуумные, поршневые насосы [1, 2, 3].

Результаты исследований установок для подачи органической массы показывают, что использование поршневого насоса для подачи органической массы низкой влажности целесообразно, хотя на практике мало исследовано.

На основе этого для интенсивной непрерывной подачи предлагается установка с двумя плунжерными парами [4, 5].

Были сформулированы цели исследования: разработать и изготовить экспериментальный образец установки для подачи органической массы в ферментер; провести экспериментальные исследования влияния конструктивных параметров и режимов работы установки для подачи органической массы на показатель удельной энергоемкости; определить оптимальные параметры экспериментальной установки для подачи органической массы.

Основная часть

Для исследования процесса подачи органической массы по криволинейному трубопроводу в ферментер в фермерском хозяйстве «Тимошевское» Черкасской области Каменского района разработана и изготовлена экспериментальная установка (рисунок 1).

Экспериментальная установка состоит из корпуса 1, над которым расположен бункер 2 и внутри которого размещен поршневой насос 3 (функциональная схема поршневого устройства для подачи органической массы показана на рисунке 2), винта 4, к корпусу подключен трубопровод 5, направляющий для переработки органическую массу в ферментер 6.

Установка для подачи органической массы работает следующим образом: органическая масса (жидкая, сыпучая или вязкая) из бункера попадает в рабочие камеры поршневого насоса. Далее поршень направляет органическую массу по трубопроводу в ферментер. Общий вид ферментера и установки для подачи органической массы представлены на рисунке 3.

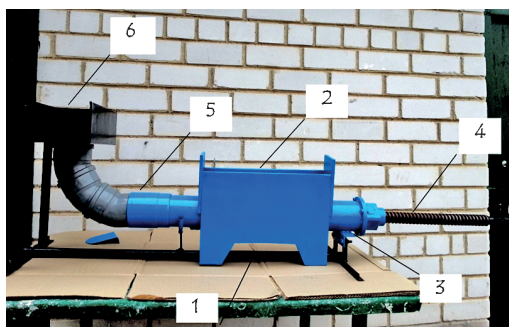
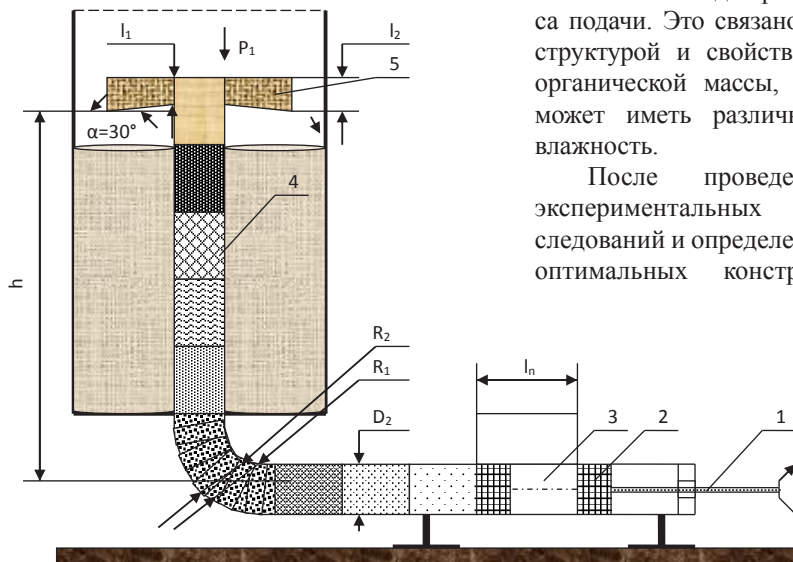


Рисунок 1. – Экспериментальная установка для подачи органической массы



1 – винт; 2 – поршень; 3 – поршневая камера; 4 – трубопровод;
5 – распределитель органической массы

Рисунок 2. – Функциональная схема поршневого устройства для подачи органической массы

Эксперименты по определению конструктивных и режимных параметров установки для подачи органической массы проводились с использованием методики планирования трехфакторных экспериментов [6–15].

Конструктивные и кинематические параметры установки для подачи органической массы оказывают значительное влияние на ход процесса подачи. Это связано со структурой и свойствами органической массы, она может иметь различную влажность.

После проведения экспериментальных исследований и определения оптимальных конструк-

ционных и режимных параметров установки для подачи органической массы определяли параметры энергоемкости и качества работы установки с фиксацией конструкционно-режимных параметров поршня на оптимальных уровнях.

Анализ результатов экспериментальных исследований установок для подачи органической массы показал, что на интенсивность данного процесса значительное влияние оказывают влажность органической массы, объем поршневой камеры загрузки и продолжительность цикла подачи органической массы.

Для определения регрессионной модели использовался D-оптимальный план Бокса-Бенкина. Трехуровневые планы Бокса-Бенкина по сравнению с ортогональными и рототабельными планами более экономичны по числу опытов, но они обладают их свойствами, а некоторые рототабельные планы близки к D-оптимальным.

Основным из преимуществ D-оптимальных планов является то, что они минимизируют общую дисперсию.

С экспериментальной точки зрения D-оптимальные планы заслуживают довольно пристального внимания, так как предлагают варьирование факторов (для описания поверхности отклика полиномом второго порядка) только на трех уровнях, что позволяет сократить время проведения экспериментов и повысить точность результатов экспериментального исследования.

В качестве изучаемых факторов приняты влажность органической массы W , объем поршневой камеры V , продолжительность цикла подачи органической массы t . Мы задались следующими уровнями варьирования факторов (таблица 1).

Таблица 1. – Уровни варьирования факторов

Уровни варьирования	Факторы		
	Влажность органической массы W , %	Объем поршневой камеры V , m^3	Продолжительность цикла подачи органической массы t , с
	x_1	x_2	x_3
Верхний (+1)	85	0,0085	15
Основной (0)	80	0,0075	10
Нижний (–1)	75	0,0065	5
Интервал варьирования ε	5	0,001	5



Рисунок 3. – Ферментер и установка для подачи органической массы

Для определения влияния факторов x_1-x_3 на критерии оптимизации проводили эксперимент с трехуровневой матрицей оптимального плана Бокса-Бенкина (B_3) для трех исследуемых факторов [16].

В результате обработки экспериментальных данных трифакторного эксперимента с помощью стандартного программного пакета Maple удалось получить следующие математические модели второго порядка для каждой из функций отклика и построить поверхности отклика удельной энергоёмкости процесса подачи органической массы (рисунки 4, 5, 6):

$$\eta = 267,9 - 6,3W - 2531,05V + 0,7864t + 10,9VW - 7,5Vt - 0,007Wt + 0,038W^2 - 0,003t^2 + 1,1 \cdot 10^5 V^2. \quad (1)$$

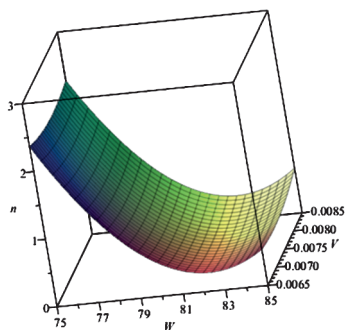


Рисунок 4. – Зависимость удельной энергоёмкости от объема поршневой камеры и влажности при продолжительности цикла подачи органической массы $t = 5$ с

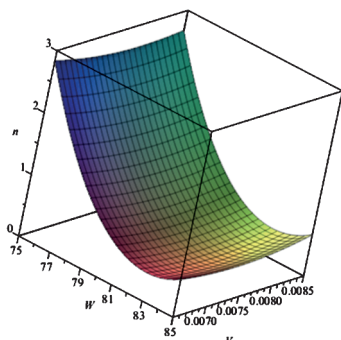


Рисунок 5. – Зависимость удельной энергоёмкости от объема поршневой камеры и влажности при продолжительности цикла подачи органической массы $t = 10$ с

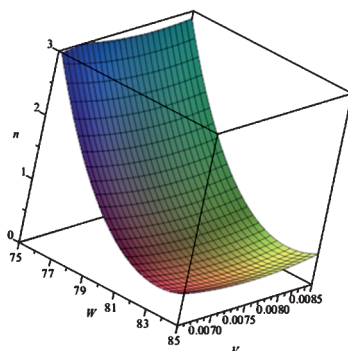


Рисунок 6. – Зависимость удельной энергоёмкости от объема поршневой камеры и влажности при продолжительности цикла подачи органической массы $t = 15$ с

Для поиска оптимального значения параметров по уравнению регрессии находим частные производные, приравниваем их к нулю и составляем систему уравнений:

$$\frac{d\eta}{dW} = -6,3 + 10,9V - 0,0007t + 0,076W;$$

$$\frac{d\eta}{dV} = -2531,05 + 10,9W - 7,5t + 2,2 \cdot 10^5 V;$$

$$\frac{d\eta}{dt} = 0,7864 - 7,5V - 0,007W - 0,006t.$$

При решении системы уравнений и определении неизвестных в программе Maple получаем оптимальные значения при глобальном экстремуме: влажность органической массы $W = 82,8 \%$, объем поршневой камеры $V = 0,0075 \text{ м}^3$, время цикла подачи органической массы $t = 10 \text{ с}$, удельная энергоёмкость $\eta = 0,34 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{т}$.

Заключение

На основе уравнения (1) установлено, что для процесса подачи органической массы в ферментер показатель удельной энергоёмкости с учетом надежности выполнения технологического процесса установкой для подачи органической массы приобретает минимальное значение при влажности органической массы $W = 82,8 \%$, объеме поршневой камеры $V = 0,0075 \text{ м}^3$, времени цикла подачи органической массы $t = 10 \text{ с}$, что существенно влияет на производительность установки для подачи органической массы.

По результатам аналитических и экспериментальных исследований были получены оптимальные параметры процесса подачи органической массы. Физико-механические свойства органической массы определяются переходящим от текучего к полужидкому состоянию.

13.08.2015

Литература

1. Андреев, В.А. Использование навоза свиней на удобрение / В.А. Андреев, М.Н. Новиков, С.М. Лукин. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 94 с.
2. Бацанов, И.Н. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих комплексах / И.Н. Бацанов, И.И. Лукьяненко. – М.: Россельхозиздат, 1977. – 160 с.
3. Бекер, М.Е. Биотехнология / М.Е. Бекер, Г.К. Лиепиньш, Е.П. Райпулис. – М.: Агропромиздат, 1990. – 344 с.
4. Єрмоленко, В.О. Біологічно активні добрива: технологія виробництва // К.: Наук.-вироб. центр СТ «Вібір», 2002. – 152 с.
5. Установка для подачі органічної маси: патент № 483220 кл. України. C02F11/04; C02F3/00. / Л.О. Рудик, О.М. Зайченко, В.О. Єрмоленко. – № u200910448; заяв. 15.10.2009; опубл. 10.03.2010. // Промислова власність.
6. Математическая статистика: учебник / В.М. Иванова [и др.]. – 2-е изд, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1981. – 371 с.
7. Барабашук, В.И. Планирование эксперимента в технике / В.И. Барабашук, Б.П. Креденцер, В.И. Мирошник; под. ред. Б.П. Креденцера. – К: Техніка, 1984. – 200 с.
8. Математическая теория планирования эксперимента / Под. ред. С.М. Ермакова. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 392 с.
9. Асатурян, В.И. Теория планирования эксперимента: учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1983. – 248 с.
10. Хайліс, Г.А. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: навч. посібник / Г.А. Хайліс, Д.М. Коновалюк. – К.: НМК ВО, 1992. – 320 с.
11. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер; под. ред. Э.К. Лецкого. – М.: Мир, 1977. – 541 с.
12. Гайдадин, А.Н. Использование метода композиционного планирования эксперимента для описания технологических процессов. Методические указания / А.Н. Гайдадин, С.А. Ефремова. – Волгоград, 2008. – 16 с.

13. Статистика. Словник термінів і позначення. Ч. 3: Планування експерименту: ДСТУ ISO 3534-3:2005. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 36 с.
14. Новик, Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304 с.
15. Винарский, М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – К.: Техніка, 1975. – 168 с.
16. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Колос. Ленингр. отделен., 1980. – 168 с.

УДК 634.437.8

В.В. Азаренко

*(Национальная академия наук
Республики Беларусь,
г. Минск, Республика Беларусь)*

А.Л. Мисун, А.Ю. Ларичев

*(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь,
e-mail: LLM_90@mail.ru)*

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОПЕРАЦИЯМИ НА КЛЮКВЕННОМ ЧЕКЕ

Введение

Клюква крупноплодная американская – стелющийся кустарник высотой до 15–30 см. В отличие от других видов, у клюквы крупноплодной ярко выражены два типа побегов – стелющиеся и прямостоячие.

Особенностью технологии промышленного выращивания крупноплодной клюквы, предусматривающей выполнение на чеке таких механизированных работ, как обрезка и расчесывание стелющихся горизонтальных побегов клюквы, опрыскивание посадок, уборка ягод на искусственно затопленном водой клюквенном чеке, является то, что эти механизированные работы осуществляются в условиях изменяющихся параметров производственной среды, а сама высокочувствительная ягодная культура, продукция которой способствует выведению радионуклидов из организма человека, может плодоносить десятки лет на землях, непригодных для сельскохозяйственного производства – выработанных торфяниках, которых в Республике Беларусь образовалось более 300 тысяч гектаров.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследований предложена методика, базирующаяся на результатах ранее проведенных исследований [1–5] и включающая пять основных этапов (рисунк 1):

1. Определение условий проведения исследований.
2. Оценка эксплуатационно-технологических показателей, качества и безопасности механизированного ухода за клюквенником и уборки ягод.

3. Подбор экспертов для оценки показателей приспособленности технических средств к технологическим регулировкам.

4. Экспертная оценка удобства, доступности и безопасности выполнения технологических регулировок.

5. Определение частоты выполнения регулировок рабочих органов технических средств для ухода за клюквенником и уборки ягод на чеке.

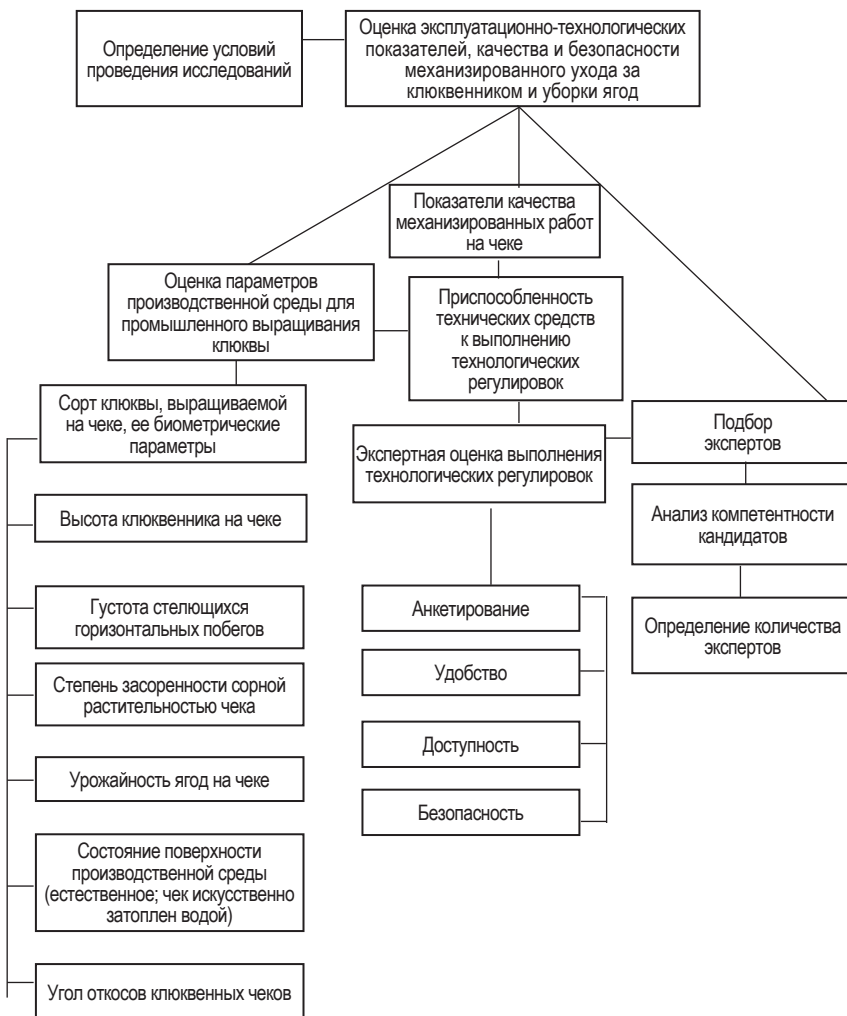


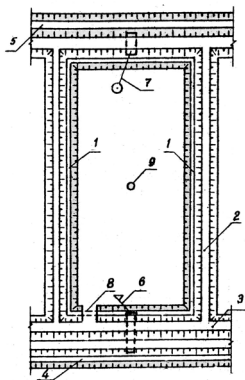
Рисунок 1. – Схема проведения исследований приспособленности технических средств для промышленного выращивания клюквы к безопасному управлению технологическими операциями

Результаты и их обсуждение

Для определения качественных показателей выполнения технологических операций на клюквенном чеке (ухода за клюквенником и уборки ягод) (таблица 1) проводилась серия предварительных опытов. Количество повторностей каждого из них устанавливалось таким, чтобы относительные ошибки средних выборочных не превышали 5 % [6]. Полученные данные обрабатывались с целью определения потребного количества повторности каждого опыта.

Исследования, заключающиеся в обосновании условий их проведения, определении эксплуатационно-технологической оценки механизированного ухода за клюквенником и уборки ягод, показателей качества и безопасности выполнения работ, проводились в 2012–2014 гг. в ОАО «Полесские журавины» Пинского района Брестской области.

Участок для проведения исследований (рисунок 2) выбирается площадью около одного гектара (промышленный чек крупноплодной клюквы 50 x 200 м).



- 1 – чековый обводной канал;
- 2 – чековая дамба;
- 3 – дамба-дорога;
- 4 – сбросной канал;
- 5 – водоподводящий канал;
- 6 – водоспуск из чека;
- 7 – водоспуск в чек;
- 8 – труба-переезд;
- 9 – наблюдательный колодец

Рисунок 2. – Схема чека крупноплодной клюквы

Таблица 1. – Показатели качества механизированных работ на клюквенном чеке

Наименование показателей	Значение показателей
Полнота обрезки стелющихся побегов в плодоносящем ярусе, %, не менее	75,0
Повреждение плодоносящего яруса клюквенника за один проход по чеку МТА, %, не более	5,0
Количество уничтоженных сорняков за один проход МТА, расположенных выше культурных растений (через 14 дней после обработки раствором гербицида), %, не менее	85,0
Средневзвешенная длина скошенных и измельченных частиц сорной растительности, мм, не более	35,0
Полнота отделения ягод от побегов (за два прохода МТА), %, не менее	90,0
Повреждение ягод при уборке (за два прохода МТА), %, не более	5,0

Для него указывается:

- место проведения исследований;
- вид работы;
- культура;
- состав машинно-тракторного агрегата;
- характеристика участка плантации (чека) крупноплодной клюквы (тип почвы и название по механическому составу, рельеф, микрорельеф, влажность почвы в слое 0...15 см (%), твердость почвы в слое 0...15 см (МПа); характеристика насаждений крупноплодной клюквы (фаза развития, возраст насаждений (лет), высота клюквенника (см), длина горизонтальных побегов в плодоносящем ярусе (см), густота плодоносящих побегов (шт./м²));
- характеристика сорной растительности (высота сорняков (см), количество сорняков (шт./м²)).

Тип почвы, название по механическому составу, рельеф, микрорельеф, влажность и твердость определяются по ГОСТ 20915–75 [7].

Доверительный интервал математического ожидания определяется из выражения:

$$I_{(\bar{x})} = \left(\bar{x} - t_{\gamma, v} \frac{s}{\sqrt{n}}; \bar{x} + t_{\gamma, v} \frac{s}{\sqrt{n}} \right),$$

где $\bar{x}$ – оценка математического ожидания (среднее выборочное);

$t_{\gamma, v}$ – значение t -распределения Стьюдента при доверительной вероятности γ и числе степеней свободы $v = n - 1$;

n – объем выборки.

Предельная абсолютная ошибка ($\Delta/\gamma; \vartheta$) (и предельная относительная ошибка ($\sigma/\gamma; \vartheta$) рассчитываются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \Delta_{\gamma, v} &= t_{\gamma, v} \frac{s}{\sqrt{n}}; \\ \delta_{\gamma, v} &= t_{\gamma, v} \frac{s}{\bar{x} \sqrt{n}} = t_{\gamma, v} \frac{v_2}{\sqrt{n}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где v_2 – эмпирический коэффициент вариации [8];

s – среднее квадратическое отклонение.

Представив табулированные значения $t_{\gamma, v}$ интерполированным многочленом $F_{\gamma(n-1)}$, из выражения (1) получим:

$$\sqrt{n} = F_{\gamma(n-1)} \frac{v_2}{\delta_{\gamma, v}}.$$

Интерполированный многочлен $F_{\gamma(n-1)}$ при достоверности аппроксимации $R^2 \approx 0,99$ может иметь вид $3 \cdot 10^{-5}x^4 - 0,0023x^3 + 0,055x^2 - 0,5742x + 4,3915$ в интервале степеней свободы от 1 до 25 включительно [9].

Полнота обрезки стелющихся горизонтальных побегов крупноплодной клюквы (или полнота скашивания сорной растительности выше яруса клюквенника, или полнота отделения ягод от побегов) (Π_r , %) определяется по формуле:

$$\Pi_r = 100 \cdot \left(1 - \frac{H_r}{O_r} \right),$$

где H_r – количество или необрезанных стелющихся горизонтальных побегов культурного растения крупноплодной клюквы, или сорняков, или неубранных ягод, *шт./м²*;

O_r – количество или стелющихся горизонтальных побегов, или сорняков, или неубранных ягод, *шт./м²*.

Повреждение плодоносящих побегов или стелющихся горизонтальных побегов, или ягод (Π_k , %) рассчитывается по формуле:

$$\Pi_k = \frac{П}{O_k} \cdot 100,$$

где $П$ – количество поврежденных горизонтальных и вертикальных побегов, *шт./м²*;

O_k – общее количество стелющихся горизонтальных и плодоносящих вертикальных побегов крупноплодной клюквы или ягод, *шт./м²*.

При статистической обработке исходной информации определяются параметры аналитического выражения. Отсевание грубых погрешностей результатов наблюдений проводится из условия [8]:

$$\left| \frac{x_{iz} - x_{cp}}{s_c} \right| \geq \gamma_{табл},$$

где x_{iz} – наблюдение, содержащее грубую погрешность;

x_{cp} – среднее арифметическое значение изучаемой величины, вычисленное по остальным измерениям (кроме сомнительного);

s_c – среднее квадратическое отклонение изучаемой величины, вычисленное по остальным измерениям (кроме сомнительного);

$\gamma_{табл}$ – величина, значения которой зависят от числа n проведенных измерений и выбранного значения доверительной вероятности $\alpha = 0,05$ [8].

Результаты экспериментов обрабатываются с использованием дисперсионного анализа. При этом определяются:

– общая дисперсия:

$$\sigma_{общ}^2 = \frac{C_{общ}}{v_{общ}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (y_{ij} - \bar{y}_{общ})^2}{nk - 1};$$

– дисперсия вариантов:

$$\sigma_{\text{вар}}^2 = \frac{C_{\text{вар}}}{\nu_{\text{вар}}} = \frac{\sum_{j=1}^k (\bar{y}_j - \bar{y}_{\text{общ}})^2 n}{k-1};$$

– дисперсия повторений:

$$\sigma_{\text{повт}}^2 = \frac{C_{\text{повт}}}{\nu_{\text{повт}}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \bar{y}_{\text{общ}})^2 k}{n-1};$$

– остаточная дисперсия (ошибки):

$$\sigma_{\text{ош}}^2 = \frac{C_{\text{ош}}}{(k-1) \cdot (n-1)} = \frac{C_{\text{общ}} - (C_{\text{вар}} + C_{\text{повт}})}{(k-1) \cdot (n-1)},$$

где y_{ij} – значение изучаемой величины;

$$\bar{y}_{\text{общ}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij}}{nk} \text{ – среднее значение изучаемой величины по опыту;}$$

k – количество вариантов;

$$\bar{y}_j = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ij}}{n} \text{ – среднее значение изучаемой величины по вариантам;}$$

$$\bar{y}_i = \frac{\sum_{j=1}^k y_{ij}}{k} \text{ – среднее значение изучаемой величины по повторностям.}$$

Оценка различий между дисперсиями в степени вариации признаков оценивается путем сравнения дисперсии вариантов $\sigma_{\text{вар}}^2$ с дисперсией ошибки $\sigma_{\text{ош}}^2$ по критерию Фишера:

$$F = \frac{\sigma_{\text{вар}}^2}{\sigma_{\text{ош}}^2}.$$

Вычисленное значение критерия Фишера F сравнивается с табличным F_{α} для уровня значимости $\alpha = 0,05$ (доверительная вероятность $P_{\text{д}} = 95 \%$). Если различия между сравниваемыми дисперсиями несут существенны, нулевая гипотеза об их равенстве не отвергается, то есть подтверждается предположение, что все выборочные средние являются оценками одной генеральной средней при выполнении следующего условия:

$$F < F_{\alpha}.$$

Для характеристики точности опыта и существенности частных различий определяются:

– ошибка опыта:

$$\sigma_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{\sigma_{\text{ош}}^2}{n}};$$

– точность опыта, %:

$$\sigma_{\bar{y}\%} = \frac{\sigma_{\bar{y}}}{\bar{y}_{\text{общ}}} 100;$$

– ошибка разности средних:

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{2\sigma_{\text{ош}}^2}{n}};$$

– наименьшая существенная разность:

$$HCP_{05} = t_{05}\sigma_d,$$

где t_{05} – значение критерия Стьюдента, принятого для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и числа степеней свободы остаточной дисперсии.

Для проверки гипотезы об однородности построчных дисперсий используется критерий Кохрена (при одинаковом числе повторностей n во всех опытах). Дисперсии однородны при выполнении следующего условия:

$$G = \frac{\sigma_{j\max}^2}{\sum_{j=1}^k \sigma_j^2} < G_{kp},$$

где $\sigma_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_j)^2}{n-1}$ – дисперсия, характеризующая рассеивание результатов в j -м опыте (построчная дисперсия);

$\sigma_{j\max}^2$ – наибольшая из построчных дисперсий;

G_{kp} – табличное значение критерия Кохрена при уровне значимости $\alpha = 0,05$, числе опытов k и числе степеней свободы каждого опыта $n-1$.

Адекватность полученного уравнения регрессии проверяется с помощью критерия Фишера.

Адекватность имеет место при выполнении следующего неравенства [6]:

$$F = \frac{\sigma_{\text{ад}}^2}{\sigma_{\text{г}}^2} < F_{\text{табл}},$$

где $\sigma_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{j=1}^k (y_j^{\text{расч}} - \bar{y}_j)^2}{k - n_{\phi} - 1}$ – дисперсия адекватности;

$y_j^{расч}$ – расчетное значение отклика в j -м опыте по полученному уравнению регрессии;

$\sigma_{\epsilon}^2 = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \sigma_j^2$ – дисперсия воспроизводимости;

$F_{табл}$ – табличное значение критерия Фишера при заданном уровне значимости ($\alpha = 0,05$), числе степеней дисперсии адекватности ($k - n_{\phi} - 1$) и числе степеней свободы дисперсии воспроизводимости ($k(n - 1)$);

n_{ϕ} – число факторов.

Доверительный интервал Δx определяется по формуле:

$$\Delta x = \frac{t_{табл} \sigma_j}{\sqrt{n}},$$

где $t_{табл}$ – значение коэффициента Стьюдента, выбираемое в зависимости от доверительной вероятности ($\alpha = 0,05$) и числа степеней свободы $n - 1$ [6].

Коэффициент вариации равен:

$$v = \frac{\sigma_j}{\bar{x}_j} \cdot 100.$$

Оценка безопасности выполнения на клюквенном чеке технологических операций проводится в соответствии с ГОСТ 12.2.11–85 [10], ГОСТ 12.2.002–91 [11], а эксплуатационно-технологическая оценка – согласно ГОСТ 24055–88–24057–88 и результатам ранее проведенных исследований [12–13]. Основные эксплуатационные показатели определяются после проведения исследований с учетом технологических регулировок на оптимальный режим работы рабочих органов технических средств.

Для отбора кандидатов в эксперты (трактористов-машинистов, механизаторов), имеющих различный практический стаж работы, используется их анкетирование. Анкета включает в себя вопросы, касающиеся непосредственного выполнения и контроля уровня 29 основных технологических регулировок технических средств для ухода за клюквенным покровом чека и уборки ягод. В качестве экспертов могут выступать кандидаты, показавшие знание всех регулировок, указанных в анкете, то есть профессиональную компетентность.

Для проведения экспертной оценки удобства, доступности и безопасности выполнения механизаторами технологических регулировок технических средств для ухода за клюквенником и уборки ягод все регулировки

делятся на оперативные и установочные. К оперативным отнесены технологические регулировки, выполнение которых не требует прерывания технологического процесса работы машины, либо регулировки, выполняющиеся неоднократно в течение рабочей смены с прерыванием технологической операции (с остановкой машины, выключением рабочих органов и т. д.). Установочными считаются регулировки, выполнение которых производится не чаще одного раза в смену и требует прерывания технологической операции.

С учетом вышеизложенного и положений ГОСТ 26026–83 [14] разработана методика, в основу которой положена оценочная шкала от одного до пяти баллов: пять баллов означают высокую приспособленность средства механизации к проведению технологических регулировок, а в один балл оценивалась крайне низкая приспособленность регулировки рабочего органа для качественного выполнения технологической операции.

Для оценки удобства проведения регулировки учитывается положение тела и рук механизатора в ходе ее выполнения (таблица 2). Так, регулировка, при выполнении которой механизатор сидит, держа руки перед собой на уровне груди, оценивается в пять баллов. Этот вариант встречается при регулировании режимов работы рабочего органа средств механизации из кабины трактора. При работе механизатора с объектом регулирования сидя, с поворотом или наклоном туловища до 90°, регулировка оценива-

Таблица 2. – Исходные данные для оценки удобства выполнения технологических регулировок

№ п/п	Положение механизатора	Положение рук	Баллы
1.	Стоя или сидя	Перед собой на уровне груди	5
2.	То же, что п. 1	Над головой	4
3.	Стоя или сидя с поворотом или наклоном туловища до 90°	То же, что в п. 1	4
4.	В приседе	То же, что в п. 1	3
5.	То же, что п. 3.	Сбоку с изгибом (в локтевом суставе, кисти), работа левой рукой	2
6.	Стоя, в приседе или сидя с поворотом и наклоном туловища до 90°	То же, что в п. 1	2
7.	Сидя, стоя подтягиваясь	Над головой или сбоку	1
8.	Работа с использованием дополнительных опор, подставок и др.	Перед собой на уровне груди, сбоку или над головой	1

ется в четыре балла. В два балла оценивается регулировка, выполняемая с использованием дополнительных опор, подставок и др.

Для определения степени доступности проведения регулировки учитывается наличие доступа (пространства) для ее выполнения (таблица 3). Если регулировка не требует, чтобы механизатор покидал кабину трактора, то она оценивается в пять баллов. В случае если для поступления доступа к регулировке механизатору необходимо откинуть щиток, крышку, степень доступности такой регулировки принимается равной четырем баллам. Регулировка, выполняемая вблизи цепных или ременных передач, оценивается в три балла. Самую низшую оценку (один балл) имеет регулировка, требующая разборки узла рабочего органа средства механизации.

Оценка безопасности регулировок проводится, исходя из местоположения механизатора, мер и действий, необходимых для обеспечения этого требования (таблица 4). Регулировка, производящаяся из кабины трактора в агрегате с любым из технических средств для промышленного выращивания клюквы на чеках, когда не требуется остановка МТА и выключение рабочего органа технического средства, то есть не требуется нахождение механизатора в потенциально опасных зонах, имеет оценку пять баллов. Безопасность регулировки, выполняющейся вне кабины трактора, требующей остановки технического средства, выключения рабочего органа и если механизатор полностью находится в зоне режущих или колющих деталей машины, оценивается в три бал-

Таблица 3. – Исходные данные для оценки доступности выполнения технологических регулировок

№ п/п	Действия механизатора	Баллы
1.	Не сходя с рабочего места, без устранения каких-либо препятствий	5
2.	Покидая рабочее место, без устранения каких-либо препятствий	4
3.	Покидая рабочее место или не сходя с него, с откидыванием щитка, капота, крышки и т. д.	4
4.	То же, что п. 3, но с откручиванием болтов, гаек (до 3)	4
5.	То же, что п. 4, при количестве болтов (гаек) более 3	3
6.	Работа с объектом регулирования, находящимся вблизи цепных и ременных передач	3
7.	Работа с объектом регулирования при ограничении доступа к нему другими рабочими органами (детальями)	2
8.	Частичная и полная разборка узлов, рабочих органов, мешающих выполнению регулировок	1

Таблица 4. – Исходные данные для оценки безопасности выполнения технологических регулировок

Местонахождение механизатора	Действия механизатора	Баллы
В кабине	Не требуется остановка МТА и выключение рабочих органов технического средства (не требуется находиться в потенциально опасных местах)	5
В кабине или вне ее	Требуется остановка МТА, но не требуется выключение рабочих органов технического средства (не требуется находиться в потенциально опасных зонах)	4
Вне кабины	Требуется остановка МТА и выключение рабочих органов технического средства (не требуется находиться в потенциально опасных зонах)	3
Вне кабины	То же (требуется находиться в зоне рабочих органов и узлов МТА, имеющих шероховатость и заусенцы)	3
Вне кабины	То же (требуется частично находиться в зоне режущих или колющих деталей и узлов рабочих органов МТА)	3
Вне кабины	То же (требуется полностью находиться в зоне режущих или колющих деталей и узлов рабочих органов МТА)	2
Вне кабины	То же (требуется находиться частично в зоне потенциально движущихся и вращающихся узлов рабочих органов МТА)	2
Вне кабины	То же (требуется находиться полностью в зоне потенциально движущихся и вращающихся узлов рабочих органов МТА)	1

ла. Оценка в два балла выставляется технологической регулировке, при выполнении которой необходимо находиться в зоне возможного производственного опускания рабочих органов технического средства или отсутствия защитного устройства карданной передачи.

При проведении пятого этапа исследований определяется, с учетом параметров функционирования клюквенных чеков, результатов ранее проведенных исследований [5; 15], частота изменения регулировок рабочих органов технических средств для ухода за клюквенником и уборки ягод, выполняются анализ и обработка полученных данных [16].

Заключение

На основании комплекса проведенных исследований разработана методика для проведения исследований приспособленности технических средств для промышленного выращивания клюквы к безопасному управлению технологическими операциями на чеке и риска травмирования механизатора.

19.03.2015

Литература

1. Аверьянов, Ю.И. Системный подход к исследованию безопасности процесса уборки зерновых культур / Ю.И. Аверьянов // Вестник ЧГАУ. – Челябинск, 2009. – Т. 55. – С. 5–9.
2. Дмитриев, М.С. Повышение эффективности транспортно-технологических процессов и улучшение условий труда работников АПК за счет инженерно-технических устройств: монография / М.С. Дмитриев, Ю.Г. Горшков, И.Н. Старунова. – Челябинск: ЧГАА, 2010. – 291 с.
3. Гришук, В.М. Гидромеханизация уборки ягод брусничных культур при промышленном производстве на мелиорированных землях / В.М. Гришук // Мелиорация переувлажненных земель. – 2006. – № 1. – С. 178–183.
4. Горшков, Ю.Г. Повышение безопасности процесса уборки зерновых культур на основе совершенствования системы «оператор – машина – среда»: монография / Ю.Г. Горшков, Ю.И. Аверьянов. – Челябинск: ЧГАУ, 2009. – 204 с.
5. Дмитриев, М.С. Оценка удобства и доступности выполнения технологических регулировок зерноуборочных комбайнов / М.С. Дмитриев, Б.П. Кутепов, Ю.И. Аверьянов // Вестник Челябинского государственного агроинженерного университета. – Челябинск, 2002 – Т. 37. – С. 98–101.
6. Хайлис, Г.А. Исследования сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных / Г.А. Хайлис, М.М. Ковалев. – М.: Колос, 1994. – 169 с.
7. Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытаний: ГОСТ 20915–75. – М., 1975. – 34 с.
8. Введение в исследование операций / У. Черчмен [и др.]. – М.: Мир, 1968. – 488 с.
9. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.
10. Машины сельскохозяйственные навесные и прицепные: ГОСТ 12.2.111–85. ССБТ. – М., 1986. – 14 с.
11. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности: ГОСТ 12.2.002–91. ССБТ. – М., 1991. – 60 с.
12. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки: ГОСТ 24055–88 (СТ СЭВ 5628–86), ГОСТ 24056–88, ГОСТ 24057–88, ГОСТ 24059–88. – М., 1988. – 47 с.
13. Мисун, Л.В. Научные и технологические основы производства крупноплодной клюквы / Л.В. Мисун. – Минск: Белор. изд-во «Хата», 1995. – 135 с.
14. Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Методы оценки приспособленности к техническому обслуживанию: ГОСТ 26026–83. – М.: Изд-во стандартов, 1985.
15. Дмитриев, М.С. Оценка уровня безопасности труда операторов мобильных технологических и транспортных машин сельскохозяйственного назначения / М.С. Дмитриев, Ю.Г. Горшков, Б.А. Сушко // Алдамжарские чтения: Вестник науки Костанайского социально-технического университета: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Алдамжар, 2008. – С. 74–80.
16. 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.

УДК 634.437.5

В.В. Азаренко

*(Национальная академия наук
Республики Беларусь,
г. Минск, Республика Беларусь)*

А.Л. Мисун, А.Ю. Ларичев

*(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь,
e-mail: LLM_90@mail.ru)*

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ УСЛОВИЙ И ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МЕХАНИЗИРОВАННОГО УХОДА ЗА КЛЮКВЕННЫМ ПОКРОВОМ ЧЕКА

Введение

Социальная и экономическая значимость выращивания крупноплодной клюквы состоит в том, что эта ягода способствует выведению радионуклидов из организма человека и может плодоносить десятки лет на выработанных торфяниках, которых в республике образовалось более 300 тысяч гектаров. В то же время приспособленность используемых на клюквенных чеках машин к изменяющимся параметрам производственной среды (длина стелющихся побегов и высота клюквенника на чеке, степень его засоренности сорной растительностью, урожайность ягод, угол откосов клюквенных чеков и др.) весьма ограничена.

Основная часть

Проведенными исследованиями установлено [1], что наименее приспособленной к безопасному выполнению механизированного ухода за клюквенным покровом чека является технологическая операция по поднятию, расчесыванию и обрезке стелющихся побегов клюквенника. Для повышения эффективности и безопасности эксплуатации соответствующего технического средства, улучшения условий труда механизатора нами разработано инженерно-техническое решение [2], способствующее увеличению сезонной производительности машинно-тракторного агрегата (трактор + хедер) на 0,34 га, уменьшению потерь и повреждений клюквенника при обрезке его стелющихся горизонтальных побегов (на 8,4 %), а также снижению риска травмирования механизатора и безопасному выполнению машинно-тракторным агрегатом (трактор + хедер) технологической операции на откосах чека, позволяющей дополнительно получать и реализовывать сельскохозяйственную продукцию (черенки крупноплодной клюквы) (таблица 1).

Суммарный за сезон выращивания крупноплодной клюквы социально-экономический эффект ($\Sigma_{с.э.}$) от внедрения предлагаемых инженер-

Таблица 1. – Значения количественных и качественных показателей работы используемого на клюквенных чеках и усовершенствованного технических средств для поднятия, расчесывания и обрезки побегов клюквенника

Наименование показателей	Используемое на клюквенных чеках техническое средство для поднятия, расчесывания и обрезки побегов (имеется риск травмирования механизатора)	Усовершенствованное техническое средство для поднятия, расчесывания и обрезки побегов, в том числе и на откосах чека	Величина изменений
Сезонная производительность хедера для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника, га	6,8	7,14	0,34
Суммарные потери клюквенника, тыс. шт. (%)	204,0 (10,0)	90,2 (3,3)	113,8 (6,7)
Повреждение клюквенника, тыс. шт. (%)	102,0 (5,0)	70,7 (3,3)	31,3 (1,7)

но-технических решений для улучшения условий и безопасности труда при выполнении рассматриваемой технологической операции по уходу за клюквенником чека включает следующие составляющие:

$$\mathcal{E}_{\text{с.э.}} = \mathcal{E}_{\text{у.т.}} + \mathcal{E}_{\text{н.б.}} + \mathcal{E}_{\text{н.тр.}},$$

где $\mathcal{E}_{\text{у.т.}}$ – эффект от использования усовершенствованного технического средства (хедера) для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника, тыс. руб.;

$\mathcal{E}_{\text{н.б.}}$ – эффект от внедрения инженерно-технических решений для улучшения условий и повышения безопасности труда механизатора [3, 4], обслуживающего машинно-тракторный агрегат на клюквенном чеке, тыс. руб.;

$\mathcal{E}_{\text{н.тр.}}$ – эффект от повышения производительности труда механизатора посредством внедрения инженерно-технических решений, тыс. руб.

Для расчета эффективности использования усовершенствованного технического средства, предназначенного для поднятия, расчесывания и обрезки побегов клюквенника как на горизонтальном участке чека, так и на его откосах, использовалось следующее выражение:

$$\mathcal{E}_{\text{у.т.}} = \left[\frac{(T_{\text{см}_2} - T_{\text{см}_1}) \cdot 3_u \cdot T_c}{P_p + E_m} \right] \cdot K_{\text{см}} + \Delta Y_{\text{н.л.}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{см}_1}$ и $T_{\text{см}_2}$ – средняя продолжительность работы за смену соответственно используемого на чеках и предлагаемого технических средств:

$$T_{\text{см}_1} = T_{\text{см}} \cdot K_o,$$

где $T_{\text{см}}$ – время смены (принимается равным 8,0 ч);

K_o – показатель безопасного выполнения рассматриваемой технологической операции ($K_o = 0,571$) [1];

тогда $T_{\text{см}_1} = 8,0 \cdot 0,571 = 4,6$ (ч).

Средняя продолжительность работы за смену $T_{см}$, усовершенствованного технического средства принимается равной восьми часам;

$З_ч$ – часовая ставка механизатора с учетом всех видов доплат ($T_c = 160$ ч), тыс. руб. [5];

T_c – сезонная загрузка хедера ($T_c = 160$ ч) [6];

P_p – коэффициент отчислений на реновацию при использовании потребителем новой техники ($P_p = 0,002$) [1];

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_n = 0,15$) [1];

$K_{см}$ – коэффициент сменности работы машинно-тракторного агрегата ($K_{см} = 1,3$);

$\Delta Y_{н.л.}$ – условные потери прибавочного продукта, тыс. руб./за:

$$\Delta Y_{н.л.} = \frac{\Delta K_o \cdot \alpha_{с.н.}}{P_p \cdot E_n},$$

где ΔK_o – увеличение части дохода, создаваемое трудом механизатора при использовании усовершенствованной конструкции технического средства (с более высоким уровнем условий труда и безопасности выполнения работы). Показатель рассчитывается исходя из того, что усовершенствованным техническим средством механизатор может безопасно выполнять обрезку (заготовку) побегов клюквенника на откосах чека, а это 15000 черенков (стоимость одного черенка – тысяча рублей). С учетом этого $\Delta K_o = 15\,000\,000$ руб.;

$\alpha_{с.н.}$ – коэффициент, учитывающий сезонные потери прибавочного продукта, отнесенные к одному техническому средству ($\alpha_{с.н.} = 0,015$).

Подставив значения вышеприведенных показателей в формулу (1), получим:

$$\mathcal{E}_{y.m.} = \left[\frac{(8,0 - 4,6) \cdot 7,904 \cdot 160}{(0,02 + 0,15)} \right] \cdot 1,3 + \frac{15000 \cdot 0,015}{0,02 \cdot 0,15} = 101366,44 \text{ (тыс. руб.)}.$$

Экономический эффект от внедрения инженерно-технических решений, направленных на улучшение условий и безопасности труда механизатора ($\mathcal{E}_{н.б.}$), рассчитывался по формуле:

$$\mathcal{E}_{н.б.} = \mathcal{E}_{y.m.} - \left(\frac{\Delta \Pi}{1 + R} + E_n \cdot \Delta K_y \right), \quad (2)$$

где $\Delta \Pi$ – цена усовершенствованного технического средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника (принимается $\Delta \Pi = 30000,0$ тыс. руб.);

R – коэффициент рентабельности ($R = 0,47$) [5];

ΔK_y – дополнительные капитальные вложения для улучшения условий и безопасности труда механизатора (принимается $\Delta K_y = 25000,0$ тыс. руб.).

Подставив значения показателей $\mathcal{E}_{y.t.}$, ΔC , R , E_n и ΔK_y в формулу (2), получим:

$$\mathcal{E}_{n.б.} = 101366,44 - \left(\frac{30000,0}{1+0,47} + 0,15 \cdot 25000,0 \right) = 76958,28 \text{ (тыс. руб.)}.$$

Экономический эффект от повышения производительности труда механизатора ($\mathcal{E}_{n.мр.}$) посредством внедрения инженерно-технических решений, касающихся условий и безопасности обрезки побегов клюквенника, определялся по формуле:

$$\mathcal{E}_{n.мр.} = \frac{T_c \cdot W_{мр.} \cdot 3_ч}{P_p + E_n},$$

$$\mathcal{E}_{n.мр.} = \frac{160 \cdot 1,74 \cdot 7,904}{0,02 + 0,15} = 12224,85 \text{ тыс. руб.}$$

Заключение

В результате проведенных исследований было установлено, что суммарный (за сезон плантационного выращивания крупноплодной клюквы) социально-экономический эффект ($\mathcal{E}_{с.э.}$) от внедрения усовершенствованной конструкции технического средства, инженерных решений для улучшения условий труда и безопасности механизированного ухода за клюквенным покровом чека составляет более 190 миллионов рублей (по состоянию на 10.03.2015 г.).

19.03.2015

Литература

1. Азаренко, В.В. Результаты исследования приспособленности к технологическим регулировкам технического средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквы на риск травмирования механизатора / В.В. Азаренко, А.Л. Мисун, С.В. Коваев // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 23–24 окт. 2014 г. – Минск: БГАТУ, 2014. – С. 123–124.
2. Хедер для расчесывания с обрезкой стелющихся побегов клюквы: пат. 17465 Республики Беларусь на изобретение, МПК (2006.01) A01D47/00 / Л.В. Мисун, А.Л. Мисун, А.В. Агейчик, В.А. Агейчик; заявитель Белорус. гос. аграрн. технич. ун-т. – № а 20101856; заявлено 21.12.2010; опубл. 30.08.2013 // Афіц. бюл. / Нац. цэнтр інтэл. уласн. – 2013. – № 4. – С. 81.
3. Предохранительное устройство для карданного вала: пат. 16179 Республики Беларусь на изобретение, МПК F 16 P 1/02 (2006.01) / Л.В. мисун, А.Л. Мисун, В.А. Агейчик, А.В. Агейчик; заявитель Белорус. гос. аграрн. технич. ун-т. – № а 20100171; заявл. 08.02.2010; опубл. 30.08.2012. // Афіц. бюл. / Нац. цэнтр інтэл. уласн. – 2012. – № 4. – С. 39.

4. Кабина транспортного средства: пат. 9631 Республики Беларусь на полезную модель, МПК (2006. 01) В 60 Н 1/00 (2006. 01), В 62 Д 33/06 / Л.В. Мисун, А.Л. Мисун, Ю.В. Агейчик, В.А. Агейчик, А.Н. Гурина; заявитель Белорус. гос. аграрн. технич. ун-т. – № и 20130333; заявлено 15.04.2013; опубл. 30.10.2013 // Афіц. бюл. / Нац. цэнтр інтэл. уласн. – 2013. – № 5. – С. 182.
5. Единый тарифно-квалификационный справочник для работников растениеводства: Национальный реестр правовых актов РБ. – 25 мая 2012 г. – 8/25702 (с изменениями и дополнениями на 01.01.2014.).
6. Технология промышленного выращивания клюквы крупноплодной на получение ягодной продукции / Е.А. Сидорович [и др.]. – Минск: Белорус. науч.-исслед. ин-т науч.-технич. информации и технико-эконом. исслед., 1992. – 120 с.
7. Мисун, Л.В. Организация безопасной эксплуатации технических средств защиты растений в промышленном производстве клюквы / Л.В. Мисун, А.А. Зеленовский, В.Л. Мисун. – Минск: БГАТУ, 2011. – 124 с.

УДК 636:658.345.8 (075.32)

**В.Г. Андруш, А.И. Федорчук,
А.Г. Филипович**

(УО «БГАТУ»,

г. Минск, Республика Беларусь)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В ЖИВОТНОВОДЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Введение

Наиболее травмоопасными процессами в животноводстве являются приготовление и раздача кормов, доение коров, обслуживание животных – 36 % несчастных случаев в отрасли [1]. В особую группу по тяжести исхода выделяют травмы, нанесенные электрическим током – 8,3 % от погибших в АПК.

Системный подход позволяет внедрить весьма эффективный с точки зрения установления истинных причин и обстоятельств несчастного случая метод расследования на основе анализа сетевой модели травмирования. Этот метод позволяет с большой достоверностью установить причинно-следственные связи несчастного случая в конкретном производстве и наметить действительно эффективные мероприятия по борьбе с травматизмом.

Основная часть

Анализ событий, предшествовавших несчастному случаю, свидетельствует, что протекание во времени и пространстве части из них четко предопределено. Например, транспортирование и выдача корма животному, другие операции происходят по заранее намеченному алгоритму, т. е. четко регламентированы. Назовем эти события детерминированными.

В отличие от них вероятностные события носят случайный характер. К ним можно отнести: опасность поскользнуться на мокром полу, поломку палки-водила, появление напряжения на корпусе оборудования, пренебрежение к выполнению отдельных требований инструкции по охране труда, неожиданные действия животного.

Детерминирование, упорядочение событий, сопутствующих производственному процессу, в значительной степени снижает опасность травматизма. Если принять как критерий безопасности вероятность выполнения без несчастного случая оператором программы в течение всей рабочей смены, то его можно выразить формулой:

$$P_{\sigma} = 1 - \sum_i \sum_j \sum_k (P_{н.с.})_{i,j,k},$$

где $(P_{н.с.})_{i,j,k}$ – вероятность возникновения несчастного случая на i этапе выполнения рабочей программы, связанном с использованием j -системы средств на k производственном участке.

В свою очередь, вероятность возникновения несчастного случая в данный момент времени зависит от возможности попадания человека под влиянием внешних условий в опасную зону на данном участке и от наличия и эффективности защитных средств:

$$(P_{н.с.}) = P_n - P_{защ},$$

где P_n – вероятность попадания человека в опасную зону;

$P_{защ}$ – вероятность безотказного срабатывания защитных средств.

Анализируя эту формулу, можно видеть: несчастный случай будет исключен на данном производственном участке, если $P_{защ} > P_n$, т. е. в случае надежного срабатывания защитных средств при контакте человека с опасной зоной. Весомость вероятности несчастного случая $(P_{н.с.})_i$ зависит от времени действия человека вблизи опасной зоны, т. е.

$$\sum \sum \sum (P_{н.с.}) = P_{н.с.} \times k_1 + P_{н.с.} \times k_2,$$

где $k = t_{он} / T$ – коэффициент травмоопасных ситуаций;

$t_{он}$ – продолжительность нахождения человека в опасной зоне;

T – продолжительность рабочего цикла.

В процессе совершенствования технических средств защиты для каждого травмоопасного фактора можно локализовать источник опасности, исключив возможность попадания в него человека или обеспечив прекращение его действия в случае проникновения человека в опасную зону.

Состояние системы, а также каждого входящего в нее элемента характеризуется некоторым числом независимых переменных (физические, химические, механические или электрические факторы), которые могут принимать любые значения, в том числе опасные и вредные [2].

Рассмотрим эффективность системы мер защиты от поражения электрическим током в специализированных зданиях животноводства для содержания крупного рогатого скота на основе устройств выравнивания и уравнивания электрических потенциалов (УВЭП) [3], учитывая, что животные более человека уязвимы к действию электрического тока.

В таких зданиях применяют УВЭП, содержащие металлические стержневые или протяженные элементы, электрически соединенные с

технологическим оборудованием и металлоконструкциями, доступными для прикосновения, и установленные в токопроводящем полу стойл [4].

Стержни УВЭП погружают в землю под стойла вдоль их внешней стороны с разряжением в каждом ряду от периферии к центру. Длина каждого стержня должна быть не менее 0,5 длины стойла. Погружают их в землю под углом 35–50° к поверхности пола стойл. Расстояния между соседними стержнями a_i , м, увеличивают от периферии к центру по арифметической прогрессии:

$$a_i = a_1 + (i - 1) b,$$

где a_1 – удвоенная ширина стойла, м;

i – порядковый номер расстояния между стержнями;

b – разность, равная ширине стойла, м.

Вместе с тем при выполнении УВЭП, наряду со снижением потенциала на металлоконструкциях, оказавшихся под напряжением, возникают и явления, связанные с появлением потенциала на поверхности пола (земли) вокруг места стекания тока в землю. Возникающие при этом разности потенциалов отдельных точек цепи тока, в том числе на поверхности земли, могут достигать значений, представляющих собой опасность для человека (животного).

С этой целью рассмотрим стержневой заземлитель круглого сечения длиной l , м, и диаметром d , м, погруженный в землю так, чтобы его верхний конец был на уровне земли. С заземлителя стекает ток I_3 , А. Необходимо найти выражения для потенциала точек на поверхности земли и для потенциала заземлителя.

Разбиваем заземлитель по длине на бесконечно малые участки, каждый длиной dy , м, и уподобляем их элементарным шаровым заземлителям диаметром dy , м.

С каждого такого участка в землю стекает ток, А:

$$dI_3 = \frac{I_3 dy}{l},$$

который обуславливает возникновение элементарного потенциала $d\varphi$, В, в некоторой точке земли.

Нас интересует точка А на поверхности земли, отстоящая от оси стержневого заземлителя на расстоянии x , м.

Потенциал этой точки, обусловленный одним элементарным шаровым заземлителем, будет, В:

$$d\varphi = \frac{dI_3 \rho}{2\pi m}.$$

Учитывая, что расстояние m , м, от середины стержня до точки А $m = \sqrt{x^2 + y^2}$, и заменяя dI_3 его значением, получаем:

$$d\varphi = \frac{I_3 \rho dy}{2\pi l \sqrt{x^2 + y^2}},$$

где x, y – координаты точки А, м.

Интегрируя это уравнение по всей длине стержневого заземлителя (от 0 до l), получим искомое уравнение для потенциала точки А, т. е. уравнение потенциальной кривой:

$$\varphi = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \int \frac{dy}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{\sqrt{x^2 + y^2} + l}{x}.$$

Потенциал заземлителя φ_3 , В, будет при $x = 0,5 d$, м, т. е.

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{\sqrt{0,5d^2 + l^2} + l}{0,5d}.$$

Здесь $0,5d \ll l$, следовательно, первым слагаемым под корнем можно пренебречь. Тогда это уравнение примет вид:

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{4l}{d}.$$

По условиям безопасности заземление, каким является по существу УВЭП, должно обладать сравнительно малым сопротивлением, обеспечить которое можно путем увеличения геометрических размеров одиночного заземлителя (электрода) или применения нескольких параллельно соединенных между собой электродов – группового заземлителя.

Подсчет показывает, что второй путь во много раз экономнее по затрате металла и другим условиям. Кроме того, при нескольких электродах можно выровнять потенциальную кривую на территории, где они размещаются, что играет решающую роль в обеспечении безопасности.

Очевидно, что потенциал каждого электрода группового заземлителя состоит из собственного потенциала, обусловленного стеканием через него тока, и потенциалов, наведенных на нем полями других электродов, т. е.

$$\varphi_{\text{гп}} = \varphi_{01} + \sum_{n=2}^n \varphi_n,$$

где φ_{01} – собственный потенциал первого электрода, В;

n – количество электродов;

φ_n – потенциал, наведенный на первом электроде одним из соседних, В.

Он определяется по уравнению потенциальной кривой этого соседнего электрода с учетом расстояния между ними.

Если электроды группового заземлителя расположены на одинаковых расстояниях один от одного (а это может быть только при двух электродах или трех, размещенных в вершинах равностороннего треугольника), то у них оказываются одинаковыми не только собственные потенциалы φ_0 , но и потенциалы, наводимые каждым из них на другие электроды φ_n . Для этих частных случаев уравнение принимает вид:

$$\varphi_{\text{гп}} = \varphi_0 + (n - 1) \varphi_n.$$

Напряжение прикосновения будет:

$$U_{\text{пр}} = \varphi_3 - \varphi_{\text{ос}},$$

где $\varphi_{\text{ос}}$ – потенциал основания, на котором стоит человек (животное).

Или

$$U_{\text{пр}} = \varphi_3 \alpha_1,$$

где α_1 – коэффициент, называемый коэффициентом напряжения прикосновения или просто коэффициентом прикосновения, учитывающим форму потенциальной кривой:

$$\alpha_1 = (1 - \varphi_{\text{ос}} / \varphi_3) \leq 1.$$

Ток, стекающий в землю через человека (животное), стоящего на земле, полу и другом основании, преодолевает сопротивление не только тела человека (животного), но и сопротивление этого основания, вернее, тех его участков, с которыми имеют контакт подошвы ног человека (животного).

Следовательно, разность потенциалов $\varphi_3 - \varphi_{\text{ос}}$, равная $\varphi_3 \alpha_1$, B , оказывается приложенной не только к сопротивлению тела человека (животного) R_h , Om , но и к последовательно соединенному с ним сопротивлению основания $R_{\text{ос}}$, Om , на котором стоит человек (животное), т. е.

$$\varphi_3 \alpha_1 = I_h (R_h + R_{\text{ос}}).$$

Заменив в этом выражении ток I_h , A , проходящий через человека (животное), его значением, получим:

$$\varphi_3 \alpha_1 = U_{\text{пр}} \frac{R_h + R_{\text{ос}}}{R_h},$$

откуда напряжение прикосновения с учетом падения напряжения в сопротивлении растеканию основания, B :

$$U_{\text{пр}} = \frac{\varphi_3 \alpha_1 R_h}{R_h + R_{\text{ос}}},$$

или

$$U_{\text{пр}} = \varphi_3 \alpha_1 \alpha_2.$$

Здесь α_2 – коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий падение напряжения в сопротивлении растеканию основания, на котором стоит человек (животное):

$$\alpha_2 = \frac{1}{1 + (R_{\text{ос}} / R_h)}.$$

В области защитных устройств от поражения током – заземления, зануления и др. – интерес представляют также напряжения между точками на поверхности земли (или ином основании) в зоне растекания тока с заземлителя. В этом случае напряжением шага будет являться разность потенциалов φ_x , B и φ_{x+a} , B , двух точек на поверхности земли в зоне растекания тока, которые находятся на расстоянии x и $(x + a)$ от заземлителя, а одна от другой – на расстоянии шага, и на которых одновременно стоит человек (животное). Таким образом, напряжение шага будет, B :

$$U_{\text{ш}} = \varphi_x - \varphi_{x+a}.$$

Поскольку φ_x и φ_{x+a} являются частями потенциала заземлителя φ_3 , разность их также есть часть этого потенциала. Поэтому мы вправе записать:

$$U_{\text{ш}} = \varphi_3 \beta_1,$$

где β_1 – коэффициент напряжения шага или просто коэффициент шага, учитывающий форму потенциальной кривой:

$$\beta_1 = \frac{\varphi_x - \varphi_{x+a}}{\varphi_3} < 1.$$

Как и в случае напряжения прикосновения, разность потенциалов между двумя точками, на которых стоит человек (животное), т. е. $\varphi_3 \beta_1 = \varphi_x - \varphi_{x+a}$, B , делится между сопротивлением тела человека (животного) и последовательно соединенным с ним сопротивлением растеканию основания, на котором он стоит $R'_{\text{ос}}$, O_m .

В данном случае сопротивление основания складывается из двух последовательно соединенных сопротивлений растеканию тока через ноги: $R'_{\text{ос}} = 2R_n$.

Следовательно:

$$\varphi_3 \beta_1 = I_h (R_h + R'_{\text{ос}}) = U_{\text{ш}} \frac{R_h + 2R_n}{R_h},$$

откуда напряжение шага, B :

$$U_{\text{ш}} = \frac{\varphi_3 \beta_1 \beta_h}{R_h + 2R_n},$$

или

$$U_{\text{ш}} = \varphi_3 \beta_1 \beta_2,$$

где β_2 – коэффициент напряжения шага, учитывающий падение напряжения в сопротивлении растеканию основания:

$$\beta_2 = \frac{1}{1 + (2R_n/R_h)}.$$

При выполнении УВЭП стержнями с разрезением к центру могут возникнуть ситуации, при которых выравнивание потенциалов будет недостаточным для находящихся ближе к середине помещения.

Пользуясь зависимостями, приведенными выше, рассмотрим эти ситуации на примере четырехрядного коровника на 200 голов размером 2178 м; стойла шириной 1,2 м и длиной 1,9 м, имеются два кормовых прохода шириной 2,25 м и три навозных прохода – два пристенных шириной 1,3 м и один в середине помещения (по длине) шириной 2,5 м.

В коровнике смонтировано в каждом ряду по 13 стержневых заземлителей, в целом по зданию $n = 52$. Длина каждого стержня l должна быть не менее 0,5 длины стойла, т. е. в нашем случае принимаем $l = 1$ м ($> 1,9/2$ м). Диаметр стержней d выбирается с учетом удельного электрического сопротивления грунта ρ , а для существующих животноводческих помещений d не менее 12 мм при использовании неоцинкованной стали. Таким образом, расчет выполняем при $\rho = 5; 10; 20; 60; 70; 100; 140$ Ом·м со стержнями выравнивающего устройства из неоцинкованной стали диаметром 12...18 мм.

Для данного коровника получаем, что максимальное расстояние будет между пятым и шестым, восьмым и девятым стержнями каждого ряда, между

которыми насчитывается по 6 стоек, т. е. $a_{6,8} = 7,2$ м. Максимальное напряжение прикосновения и напряжение шага будет воздействовать на коров, стоящих посредине этих промежутков, а расстояние до задних ног коровы равно 4,1 м.

Предполагаем, что на металлоконструкции попадает фазное напряжение ($U_3 = U_\phi = 220$ В) вследствие неэффективного срабатывания зануления, а также в некоторых других случаях.

Полученные в результате расчета данные сводим в таблицу 1.

Таблица 1. – Показатели эффективности УВЭП

ρ , Ом·м	d , м	R_1 , Ом	R_n , Ом	I_3 , А	φ_x , В	U_{np} , В	$U_{ш}$, В
5	0,018	4,04	0,15	53,0	10,1	1,4	0,8
10	0,018	8,08	0,30	51,2	19,6	2,7	1,6
20	0,014	16,9	0,61	47,7	36,5	5,1	2,9
60	0,014	50,7	1,83	37,7	86,4	12,1	6,9
70	0,014	59,1	2,23	35,1	93,9	13,1	7,5
100	0,014	84,5	3,19	30,6	116,9	16,4	9,4
140	0,012	121,9	4,6	25,6	137,0	19,2	11,0

Как видно из таблицы 1, для принятых исходных данных напряжение прикосновения превышает допустимое значение (12 В) при удельном электрическом сопротивлении грунта $\rho > 60$ Ом·м.

Заключение

1. Безопасность технологических процессов, машин, применяемых в сельском хозяйстве, можно рассматривать как сочетанное действие случайностей и закономерностей, и она может описываться математическими моделями во всех их проявлениях и особенностях.

2. Эффективность защиты животных от поражения электрическим током путем выполнения УВЭП из стержневых заземлителей с увеличением расстояния между ними от периферии к центру по арифметической прогрессии не всегда может быть обеспечена и при известных параметрах УВЭП зависит в первую очередь от удельного электрического сопротивления грунта в месте строительства.

3. Результаты данного исследования целесообразно учитывать при уточнении (разработке) соответствующих нормативных документов (ТКП) в области обеспечения безопасности производственных процессов животноводческой отрасли.

20.05.2015

Литература

1. Пиуновский, И.И. Проблема травматизма с тяжелым и смертельным исходом в АПК / И.И. Пиуновский, В.И. Володкевич, А.В. Молош // Охрана труда. Сельское хозяйство. – 2012. – № 1. – С. 66–77.

2. Федорчук, А.И. К вопросу прогнозирования производственно-обусловленной заболеваемости в сельскохозяйственных организациях / А.И. Федорчук, В.Г. Андруш // Агропанорама. – 2013. – № 4. – С. 31–33.
3. Защита сельскохозяйственных животных от поражения электрическим током. Общие требования: ТКП 538–2014 (02150). – Введ. 01.09.2014. – Минск: Минсельхозпрод, 2014. – 45 с.
4. Андруш, В.Г. Совершенствование устройства выравнивания электрических потенциалов на ферме КРС / В.Г. Андруш, Е.В. Станкевич // Материалы МНПК «Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве», Минск, 23–24 октября 2014 г. – Минск: БГАТУ, 2014. – С. 237–238.

УДК 331.45

**Л.В. Мисун, С.В. Жилич,
М.А. Брынза**

*(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

ИССЛЕДОВАНИЕ РИСКА ЗАБОЛЕВАНИЙ РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ АГРОСЕРВИСА В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ

Введение

Среди фундаментальных прав и свобод, которые должно обеспечивать государство, одно из главных мест занимает право на охрану труда и здоровье в процессе трудовой деятельности. Осуществление деятельности, специально направленной на предотвращение и контроль возникновения и распространения вредного воздействия, имеющего место при выполнении производственных процессов, может защитить и улучшить здоровье работников, содействовать безопасному и непрерывному развитию производства, повышению социальной стабильности в обществе. Принимать превентивные меры необходимо до фактического возникновения вредного воздействия и установления ущерба здоровью. Рабочая обстановка должна находиться под постоянным наблюдением. Только тогда вредные вещества и факторы можно своевременно обнаружить и удалить или проконтролировать их возникновение и распространение, прежде чем они окажут какое-либо вредное воздействие на работников.

Большинство факторов производственной среды и трудового процесса нормированы по уровню или дозе, а условия труда строго регламентированы с целью недопущения опасного или вредного воздействия на организм работников. Однако известно, что полностью ликвидировать вредные и опасные факторы на производстве не удастся, так как некоторые из них являются неотъемлемой частью обязательных технических процессов. В

то же время вредное воздействие может и должно контролироваться. Из этого вытекает необходимость применения количественных оценок риска здоровья работника, которые можно использовать при соответствующих расчетах, связанных с планированием оздоровительных мероприятий, совершенствованием системы управления охраной труда на предприятии [1].

Следует добавить, что проблема обеспечения безопасности работника почти всегда решается в условиях ограниченных экономических возможностей предприятия. Поэтому возникает необходимость в разработке таких методов управления охраной труда, которые позволили бы получать управленческие решения, обеспечивающие максимум социального эффекта при ограниченных ресурсах.

Таким образом, создание безопасных условий труда, направленных на сохранение жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности (на примере предприятий агросервиса), оптимизация управления охраной труда являются весьма актуальными и имеют большое практическое значение.

Основная часть

В настоящее время в Республике Беларусь насчитывается 36 предприятий агросервиса, действуют 53 технических центра от шести предприятий Министерства промышленности. В процессе работы некоторых из этих предприятий у работников появляются нарушения здоровья, обусловленные недостаточной эффективностью предупредительных мероприятий.

Так, проведенный статистический анализ данных заболеваемости с временной утратой трудоспособности работников Слонимского мотороремонтного завода свидетельствует, что за последние 5 лет показатели заболеваемости возросли в расчете на 100 работающих на 9,5 %. При этом в 2013 году по сравнению с 2012 годом отмечается значительный рост заболеваемости по таким нозологическим формам, как болезни системы кровообращения (42 случая против 17), болезни органов дыхания (58 случаев против 45), болезни органов пищеварения (15 случаев против 8).

По результатам ранее проведенных исследований установлено, что оценка производственного риска профессиональных заболеваний проводится на основе общепринятых в мире подходов, оценивается риск одновременно по трем направлениям. Первое связано с исследованиями производственной среды на предприятиях под руководством служб охраны труда. Два других направления – медицинские, связанные с анализом уже происшедших негативных явлений в состоянии здоровья работников. Следует отметить, что первое направление в основном базируется на данных, полученных в ходе аттестации рабочих мест по условиям труда.

На производстве в ходе аттестации рабочих мест по условиям труда (АРМ) предварительную оценку риска проводят по гигиеническим критериям. Однако следует подчеркнуть, что на организм работника одновременно действует большое количество разнообразных вредных производственных факторов. При этом адекватная оценка риска и проведение оперативного контроля невозможны без введения интегральных показателей качества производственной среды, угрозы трудоспособности, профессиональных заболеваний [2]. Также следует подчеркнуть, что риск может определяться по расчетным таблицам в зависимости от класса условий труда и стажа работников.

Частным случаем общей заболеваемости работников является заболеваемость с временной утратой трудоспособности (ЗВУТ). Этот вид заболеваемости удобен для исследования тем, что листки нетрудоспособности из всех медицинских учреждений возвращаются на предприятие. При изучении заболеваемости работников предприятий агросервиса с ЗВУТ нами использовался метод основного массива, который предусматривает обследование контингента работников, сосредоточенного на конкретном предприятии. Анализ ЗВУТ на исследуемых предприятиях проводился на основании данных отчетов «О причинах временной нетрудоспособности». Результаты расчета среднего темпа изменения числа случаев заболеваний с временной утратой трудоспособности (ЗВУТ) на 100 работников на исследуемых предприятиях приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты расчета среднего темпа изменения показателя ЗВУТ

Наименование предприятия	Показатель числа случаев ВН на 100 круглогодичных работников					*k	Эмпирическое уравнение для вычисления K_q
	2009	2010	2011	2012	2013		
Годы							
Слонимский МРЗ	101	81	83	87	111	9,7	$K_q = 92,6 + 9,7 (t_i^P - \bar{t}^P) $
Ивьевская сельхозтехника	141	123	161	152	129	-2,4	$K_q = 141,2 - 2,4 (t_i^P - \bar{t}^P) $
Мостовская сельхозтехника	87	80	82	76	103	3,2	$K_q = 85,6 + 3,2 (t_i^P - \bar{t}^P) $
Волковысская сельхозтехника	87	86	95	90	102	3	$K_q = 92 + 3 (t_i^P - \bar{t}^P) $
Щучинский ремонтный завод	89	82	86	96	114	5	$K_q = 93,4 + 5 (t_i^P - \bar{t}^P) $
Берестовицкая сельхозтехника	144	119	113	111	118	-5,2	$K_q = 121 - 5,2 (t_i^P - \bar{t}^P) $

*k – число, характеризующее рост (+) или снижение (–) заболеваемости.

Необходимо отметить, что допустимыми условиями труда на всех обследуемых предприятиях обеспечен 231 работающий, что по отношению к общему числу работников, занятых на рабочих местах, подвергшихся аттестации, составляет 11,4 %. Результаты расчетов среднего темпа изменения профессиональной заболеваемости работников на исследуемых предприятиях агросервиса приведены в таблице 2.

Таким образом, анализ данных по заболеваемости на предприятиях агросервиса (на примере Гродненской области) позволил определиться с наиболее информативным показателем, характеризующим состояние здоровья работников ЗВУТ – «число случаев временной нетрудоспособности на 100 круглогодичных работников». Кроме того, собранные данные по ЗВУТ позволили обосновать показатель повреждающей способности производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса, то есть фактический риск или вероятность заболеваний, отнесенную к одному году и определяемую по данным зарегистрированных заболеваний. Для определения этой вероятности использовался метод наибольшего правдоподобия. После соответствующих вычислений получили выражение для определения фактического риска (повреждающей способности производственной среды). При этом интенсивность воздействия (I) опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ) определялась по формуле:

$$I = \sum_{j=1}^A \left(N_i \cdot \sum_{j=1}^{L_{ij}} x_{ij} \right),$$

где A – общее число рабочих мест на предприятии, на которых проведена их аттестация;

Таблица 2. – Результаты расчета среднего темпа изменения профессиональной заболеваемости на предприятиях агросервиса

Годы, t_i	Показатель ПЗ, K_{t_i}	$(K_{t_i} - \bar{K}_u)$	Смещенное время $t_i^p = t_i - 2008$	$(t_i^p - \bar{t}^p)$	$(t_i^p - \bar{t}^p)^2$	$ (K_{t_i} - \bar{K}_u) \cdot (t_i^p - \bar{t}^p)$
2009	0,52	-0,48	1,0	-2,0	4,0	0,96
2010	0,48	-0,52	2,0	-1,0	1,0	0,52
2011	0,71	-0,29	3,0	0	0	0
2012	0,51	-0,49	4,0	1,0	1,0	-0,49
2013	0,56	-0,44	5,0	2,0	4,0	-0,88
Сумма	5,0	4,0	15,0	0	6,0	0,11
Среднее значение	1,0	-0,444	3,0	-	1,2	0,022

N_i – количество работников на i -том рабочем месте, на котором проводилась аттестация;

L_{ij} – количество учтенных j -тых факторов условий труда на j -том рабочем месте;

X_{ij} – балльная оценка риска для j -того фактора на i -том рабочем месте.

Относительная интенсивность i -того воздействия ОВПФ рассчитывалась по формуле:

$$i = \frac{\sum_{i=1}^A \left(N_i \cdot \sum_{j=1}^{L_{ij}} X_{ij} \right)}{\sum_{i=1}^A N_i}.$$

Для определения потенциального производственного риска $\bar{R}_{nom.}$ (обобщенная оценка) использовалась следующая зависимость [3]:

$$\bar{R}_{nom.} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot R_n}{\sum_{i=1}^n N_i},$$

где R_n – риск производственно обусловленных заболеваний, относящийся к одному году:

$$R_n = 1 - \left[\prod_{i=1}^{L_y} \frac{(x_{min} + 1) - x_{ij}}{x_{max}} \right]^{\frac{t}{T}},$$

где x_{min} , x_{max} – соответственно минимальная и максимальная оценки риска (согласно [3] принимаем $x_{min} = 1$ балл, $x_{max} = 6$ баллов);

t – фактическая продолжительность воздействия ОВПФ на работников, лет;

T – трудовой стаж работника (принимаем $T = 25$ лет);

n – число рабочих мест на предприятии, на котором проведена аттестация рабочих мест.

В результате проведенных исследований установлено, что оценки фактического риска (R_n), полученные по данным о числе заболеваний работников (таблица 3), находятся в тесной корреляционной зависимости с оценками потенциального риска, полученными по данным аттестации рабочих мест.

Коэффициент корреляции тесноты связи между R_n и i равен 0,83, а погрешность коэффициента корреляции $S_{rR_n i} = 0,18$.

Таблица 3. – Значение показателя риска заболеваний работников предприятия

Предприятие	R_n	i	R^2	i^2	$R \cdot i$	$\bar{R}_{nom}$
Слонимский МРЗ	0,66	15,27	0,44	213,17	10,08	0,58
Ивьевская сельхозтехника	0,79	16,25	0,62	264,06	12,84	0,63
Мостовская сельхозтехника	0,58	17,52	0,34	306,95	10,16	0,74
Волковысская сельхозтехника	0,34	11,71	0,12	137,12	3,98	0,33
Щучинский ремонтный завод	0,38	12,32	0,14	146,89	4,61	0,36
Берестовицкая сельхозтехника	0,50	14,94	0,25	223,20	7,47	0,56

Заключение

Полученные результаты позволяют констатировать, что число заболевших работников на исследуемых предприятиях агросервиса Гродненской области находится в прямой зависимости от дозы воздействия опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ), а ее уменьшение возможно посредством снижения интенсивности воздействия ОВПФ ($D = I \cdot T$), которое может достигаться путем уменьшения числа лиц, работающих во вредных и опасных условиях труда, снижения балльных оценок риска и времени воздействия опасных и вредных производственных факторов на работников.

26.05.2015

Литература

1. Жилич, С.В. К вопросу совершенствования системы управления охраной труда на предприятии / С.В. Жилич // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–17 октября 2013 г.: в 3 т. Т. 3 / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2014. – С. 284–286.
2. Жукова, Т.В. Методологические аспекты оценки индивидуальных рисков для здоровья / Т.В. Жукова, К.С. Жижин, М.Ю. Соловьев, И.В. Шапошникова // Гигиена и санитария. – 2002. – № 6. – С. 63–64.
3. Минько, В.М. О взаимосвязях фактического и потенциального производственного риска и их практическом использовании / В.М. Минько, И.Ж. Титаренко // Известия КГТУ. – 2005. – № 8. – С. 91–93.

Рефераты

УДК 631.17:001.891

Яковчик, С.Г. **Земледельческая механика – основа развития агроинженерной науки** / С.Г. Яковчик, Ю.Л. Салапура // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 3-8.

Представлены основные направления исследований по механизации сельского хозяйства, которые реализует земледельческая механика, и проблемные вопросы в этой области. Рассматриваются основные перспективные направления развития агроинженерной науки на современном этапе в области проведения научных исследований, разработки технических средств. – *Библиогр.* 5.

Yakouchyk S.G., Salapura Y.L.

Agricultural mechanics – the basis of agroengineering science development

Main research in agriculture mechanization which are realized by agricultural mechanics and problematic issues in this area are presented. The basic perspective directions of agroengineering science development in the field of researches and development of technical means at the present stage are reviewed.

УДК 631.319.06:004.4

Кравчук, В.И. **Развитие метода базовых задач оптимизации работы машинно-тракторных агрегатов** / В.И. Кравчук // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 8-13.

СХМ, адаптированные согласно предложенному методу базовых задач оптимизации работы машинно-тракторных агрегатов, одновременно обеспечивают качество функционирования, а также энерго- и ресурсосбережение. – *Библиогр.* 17.

Kravchuk V.I.

Development of the method of optimization of basic objectives of machine and tractor units

Agricultural machinery adapted according to the proposed method of optimization of basic objectives of machine and tractor units at the same time ensure the quality of the operation, as well as energy and resource conservation.

УДК 339.562:631.145

Селюков, Ю.Н. **Сущность и теоретико-методологический аппарат категории «импортозамещение» в агропромышленном комплексе** / Ю.Н. Селюков, А.Ю. Башко, М.И. Латушко, Ю.А. Башко // Механизация

и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 14-23.

Статья посвящена проблеме импортозамещения. Выявлена сущность категории «импортозамещение», обоснована принципиальная схема теоретико-методологического аппарата импортозамещения в аграрной сфере. – *Рис. 2, табл. 1, библиогр. 18.*

Selyukov Y.N., Bashko A.Y., Latushko M.I., Bashko Y.A.

Essence and theoretical-methodological framework of «import substitution» category in the agricultural sector

The article explains the problem of import substitution. The essence of the «import substitution» category is revealed, the concept of theoretical and methodological apparatus of import substitution in agriculture is proved.

УДК 631.365

Чеботарев, В.П. **К вопросу эффективности применения соломы для сушки зерна** / В.П. Чеботарев, Н.Д. Лепешкин, И.В. Барановский, В.В. Чумаков, В.Б. Ловкис, А.В. Новиков, Т.А. Непарко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 24-30.

В работе обоснована эффективность применения соломы для сушки зерна. – *Рис. 2, табл. 4, библиогр. 6.*

Chebotaiev V.P., Lepeshkin N.D., Baranovsky I.V., Chumakov V.V.,
Lovkis V.B., Novikov A.V., Neparko T.A.

Effective use of straw for drying grain

The paper proves the effectiveness of the use of straw for drying grain.

УДК 631.365

Чеботарев, В.П. **Классификация и показатели технического уровня современных зерносушилок** / В.П. Чеботарев, Н.Д. Лепешкин, И.В. Барановский, В.В. Чумаков, В.Б. Ловкис, А.В. Новиков, Т.А. Непарко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 31-39.

В данной работе обоснована классификация зерносушилок по основным признакам и дана оценка параметрам применяемых отечественных и зарубежных образцов. – *Рис. 1, табл. 2, библиогр. 11.*

Chebotaiev V.P., Lepeshkin N.D., Baranovsky I.V., Chumakov V.V.,
Lovkis V.B., Novikov A.V., Neparko T.A.

Classification and indicators of the technical level of up-to-date grain dryers

This paper substantiates the classification of grain dryers on the main characteristics and estimates the parameters of domestic and foreign models used.

УДК 631.31

Лепешкин, Н.Д. **Результаты исследований влияния конструктивных параметров спирально-ножевидного катка на качество измельчения растительных остатков** / Н.Д. Лепешкин, Н.С. Козлов, В.П. Чеботарев // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 40-44.

В статье приводятся результаты исследования влияния конструктивных параметров спирально-ножевидного катка на качество измельчения растительных остатков. – *Рис. 4, табл. 2, библиогр. 3.*

Lepeshkin N.D., Kozlov N.S., Chebotarev V.P.

Results of the research of influence of the design parameters of a spiral blade roller on the quality of plant residue chopping

The article presents the results of investigation of influence of the design parameters of a spiral blade roller on the quality of plant residue chopping.

УДК 631.331.022

Салапура, Ю.Л. **Аналитическое определение пропускной способности питателя эжекторного типа пневматической зерновой сеялки** / Ю.Л. Салапура, М.Н. Салапура // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 44-47.

В статье рассмотрены основные теоретические зависимости, которые положены в основу расчета питателей эжекторного типа для пневматических высевальных систем группового дозирования зерновых сеялок и которые также могут быть использованы при проектировании систем пневматического транспорта зерновых материалов. – *Рис. 1, библиогр. 4.*

Salapura J.L., Salapura M.N.

Analytical determination of the capacity of the ejector type feeder of the pneumatic grain seeder

The article describes the main theoretical dependences that form the basis for assessment of the ejector-type feeders for pneumatic seeding systems of grouped dispensing of grain seeders and which can also be used in designing the granular material pneumatic transport systems.

УДК 631.324.544

Смильский, В.В. **О коэффициенте полезного действия земледельческих орудий** / В.В. Смильский, А.В. Сидорчук // Механизация и электрифици-

кация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 48-53.

Приведены результаты исследований крошения почвы различными земледельческими орудиями. Показано, что определять уровень технического совершенства земледельческих орудий посредством КПД некорректно. Предложен показатель целевой эффективности орудий и метод его определения как альтернатива классическому понятию КПД. – *Табл. 2, библиогр. 13.*

Smilsky V.V., Sydoruchuk A.V.

About the efficiency of agricultural implements

The article presents the results of studies of the soil pulverization using different agricultural implements. It shows that it is not correct to determine the level of sophistication through the efficiency of agricultural implements. The article proposes the target efficiency factor for the implements and the method of determining it as an alternative to the classical concept of the efficiency.

УДК (631.333:631.8):681.1

Степук, Л.Я. **Усовершенствованный комплект приборов для оценки качества работы опрыскивателей в полевых условиях** / Л.Я. Степук, А.А. Жешко, Н.Д. Гапанович, И.В. Горностаев // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 54-57.

Изложены основные результаты разработки комплекта приборов для тестирования опрыскивателя в полевых условиях. – *Рис. 5, библиогр. 2.*

Stepuk L.Y., Zheshko A.A., Gapanovich N.D., Gornostaev I.V.

Improved set of instruments to assess the quality of sprayer operation in the field

The main results of the development of a set of instruments to assess the quality of sprayer operation in the field.

УДК (631.333:631.8):681.1

Степук, Л.Я. **Разработка и реализация алгоритма оценки качества работы опрыскивателей в полевых условиях** / Л.Я. Степук, А.А. Жешко, О.Ч. Ролич // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 58-63.

Предложен алгоритм и его реализация для оценки качества работы опрыскивателей в полевых условиях. – *Рис. 2, библиогр. 2.*

Stepuk L.Y., Zheshko A.A., Rolich O.Ch.

Development and implementation of an algorithm to assess the quality of sprayer operation in the field

The article offers the algorithm and its implementation to assess the quality of sprayer operation in the field.

УДК 631.3.06.001.8

Кравчук, В.И. **Результаты экспериментального исследования тарельчатого рассеивателя комбинированного агрегата для посева мелкозернистых культур** / В.И. Кравчук, Л.П. Шустик, Т.В. Гайдай, Д.В. Читаев // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 63-67.

В статье приведены результаты исследований тарельчатого рассеивателя почвообрабатывающе-посевного агрегата для посева мелкозернистых культур. Определены параметры, которые влияют на качество высева семян. – *Рис. 3, библиогр. 8.*

Kravchuk V.I., Shustik L.P., Gaidai T.V., Chitaev D.V.

The results of the pilot study of the disk diffuser of the combined machine for sowing small grain cereals

The article shows the results of studies of the disk diffuser of the combined machine for sowing small grain cereals. The parameters that affect the quality of seeding are defined.

УДК 631. 333: 631. 862

Дыба, Э.В. **Обоснование ширины захвата машины для внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений** / Э.В. Дыба, П.П. Бегун, В.В. Микульский // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 68-76.

В статье приводится обоснование ширины захвата машины для внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений. – *Рис. 6, библиогр. 6.*

Dyba E.V., Begun P.P., Mikulsky V.V.

Substantiation of the coverage of the machines for subsurface application of liquid organic fertilizers

The paper provides a rationale for the coverage of the machines for subsurface application of liquid organic fertilizers.

УДК 631.356:635.132(476)

Барановский, И.А. **Обоснование формы подкапывающих рабочих органов корнеклубнеуборочных машин** / И.А. Барановский // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 76-81.

В статье предложен метод расчета для обоснования формы подкапывающих лап, способной обеспечить лучшее разрушение связи моркови с почвой. – *Рис. 3, библиогр. 3.*

Baranovsky I.A.

Substantiation of the shape of digging tools of root and tuber harvesters

This paper proposes a method of calculation to substantiate a form of digging blades, able to provide better breaking of ties between carrots and soil.

УДК 631.347.8.004

Басаревский, А.Н. **Результаты испытаний оборудования для гидроподкормки ОГД-50 к дождевальным установкам** / А.Н. Басаревский, С.П. Кострома, В.Б. Ловкис // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 82-86.

В статье приведены основные результаты испытаний оборудования для гидроподкормки ОГД-50 к дождевальным установкам. Представлено описание конструкции и рабочего процесса оборудования. – *Рис. 3, табл. 2, библиогр. 5.*

Basarevsky A.N., Kostroma S.P., Lovkis V.B.

Results of testing the hydro-dressing equipment OGD-50 for sprinklers

The paper presents the main results of testing the hydro-dressing equipment OGD-50 for sprinklers. It presents the description of the structure and the working process of the equipment.

УДК 631.313

Гапоненко, А.И. **Исследования взаимодействия с почвой рабочих органов на упругих стойках** / А.И. Гапоненко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 87-92.

Экспериментально подтверждена достоверность теоретических исследований реакции упругих стоек дисковых рабочих органов при взаимодействии с почвой. Получены зависимости изменения среднего и среднеквадратического значения сил сопротивления на рабочем органе и отклонений упругой стойки от поступательной скорости дискового агрегата. Изменение приведенной массы рабочего органа способствует снижению интенсивности роста сопротивления при увеличении скорости, колебания упругой стойки приближаются к оптимальному соотношению к скорости агрегата. Предложены рациональные параметры упругих стоек для дисковых орудий. – *Рис. 5, библиогр. 4.*

Gaponenko A.I.

Study of interaction of tools with soil on elastic legs

The reliability of the theoretical studies of the reaction of the elastic disk tool legs when interacting with the soil is experimentally confirmed. The dependence of changes in the average and RMS value of the resistance forces on the tool and deviations of the elastic rack from the forward speed of the disk unit was determined. Changing the specified weight of the tool reduces the growth rate of resistance with increasing speed, the vibrations of the elastic legs get closer to the optimal ratio to the speed of the machine. The rational parameters of the elastic disk legs for disk units are offered.

УДК 631.362.35:635.21

Воробей, А.С. **Рабочий орган культиватора для междурядной обработки растений картофеля и топинамбура** / А.С. Воробей, Д.И. Комлач, А.Н. Антоненко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 92-97.

В статье приведено описание и обоснование конструкции нового типа рабочего органа культиватора грядкового – конического ротора с ложечкообразными зубьями для ухода за посадками растений картофеля и топинамбура. – *Рис. 3, библиогр. 8.*

Vorobei A.S., Komlach D.I., Antonenko A.N.

Cultivator tool for inter-row treatment of potato plant and topinambur

The article provides description and rationale of the design of a new type of ridge cultivator tool – a conical rotor with spoon-shape teeth for treatment of potato plant and topinambur.

УДК 631.3.072.25:633.521

Лойко, С.Ф. **Результаты производственной апробации и экономическая эффективность использования агрегата АПЛ-4** / С.Ф. Лойко, А.Н. Перепечаев, С.В. Старосотников // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 97-102.

В статье представлены конструктивно-технологические особенности нового почвообрабатывающе-посевного агрегата для льна АПЛ-4, а также результаты производственной апробации и экономическая эффективность использования агрегата АПЛ-4. – *Рис. 2, табл. 1, библиогр. 4.*

Loiko S.F., Perepechaev A.N., Starosotnikov S.V.

Production testing results and economic efficiency of APL-4 machine

The paper presents the design and technological features of the new tillage sowing machine for linen PL-4, as well as the production testing results and economic efficiency of APL-4 machine.

УДК 631.361.6

Перепечаев, А.Н. **Определение скоростей вращения зубчатых вальцов для разрыхления льновороха** / А.Н. Перепечаев, С.В. Старосотников // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 103-108.

В статье описан расчет параметров игольчатых катков для рыхления сырого льновороха. – *Рис. 2, библиогр. 2.*

Perepechaev A.N., Starosotnikov S.V.

Determination of the rotational speed of blade rollers for loosening of flax heap

The article describes the calculation of the parameters of needle rollers for loosening of raw flax heap.

УДК 631.356.41

Басаревский, А.Н. **Результаты испытаний каналаочистителя с ротационным рабочим органом КОРО-2** / А.Н. Басаревский, И.Е. Мажугин, С.И. Заяц, П.В. Яцына, К.А. Кравченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 108-112.

В статье приведены основные результаты испытаний каналаочистителя с ротационным рабочим органом КОРО-2. Представлено описание конструкции и рабочего процесса каналаочистителя. – *Рис. 2, табл. 2, библиогр. 3.*

Basarevsky A.N., Mazhugin I.E., Zayats S.I., Yatsyna P.V.,
Kravchenin K.A.

Test results for the canal scraper with the rotary tool KORO-2

The paper presents the main test results for the canal scraper with the rotary tool KORO-2 and describes the structure and the operation of the canal scraper.

УДК 635.1/8:631.53.048

Кушнарев, А.С. **Новый подход к организации точного высева мелкосемянных овощных культур** / А.С. Кушнарев, Л.П. Шустик, С.П. Маринин, Л.И. Маринина // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 113-117.

В статье проанализировано состояние вопроса точного посева мелкосемянных овощных культур и предложен альтернативный путь решения проблемы за счет предпосевной обработки семян. – *Рис. 5, табл. 1, библиогр. 6.*

Kushnarev A.S., Shustik L.P., Marinin S.P., Marinina L.I.

New approach to establishment of precise sowing small seeded vegetable crops

The article analyzes the issue of precise sowing small seeded vegetable crops and offers an alternative way to solve the problem by pre-sowing treatment.

УДК 631.33.022.65:631.82

Степук, Л.Я. **Согласование параметров подающих транспортеров и шнековых распределяющих рабочих органов удобрительных машин** / Л.Я. Степук, В.В. Микульский // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 118-124.

В статье приводится выражение, позволяющее согласовать параметры подающих транспортеров и шнековых распределяющих рабочих органов удобрительных машин. – *Рис. 1, библиогр. 6.*

Stepuk L.Y., Mikulsky V.V.

Approval of the parameters of the feed conveyor and screw distributing tools of fertilizing machines

The article gives the expression to approve the parameters of the feed conveyor and screw distributing tools of fertilizing machines.

УДК 631.33.022

Ахалай, Б.Х. **Разработка двухдискового пневматического высевающего аппарата для совмещенного посева** / Б.Х. Ахалай, В.А. Колос, Н.Д. Лепешкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 124-127.

Представлена новая конструкция пневматического высевающего аппарата для одновременного совмещенного посева семян двух культур в один рядок на разную глубину заделки, приведены результаты исследований по равномерному распределению семян вдоль рядка. – *Рис. 2, табл. 1, библиогр. 3.*

Akhalaia B.H., Kolos V.A., Lepeshkin N.D.

Development double-blade pneumatic sowing machine for combined seeding

The article describes a new design of the pneumatic sowing machine for simultaneous combined seeding of two cultures in one row at different planting depth and provides the results of research on the uniform distribution of seeds along the row.

УДК 631.312

Стасюкевич, Н.Н. **К обоснованию схемы комбинированного почво-обрабатывающе-посевного агрегата с гидроприводом рабочих органов** / Н.Н. Стасюкевич, Е.В. Плискевич, А.Н. Стасюкевич, Д.И. Комлач // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 128-136.

В статье предложена схема АКПП с объемным гидроприводом рабочих органов агрегата, позволяющая выполнить предпосевную обработку почвы и посев овощных культур за один проход. – *Рис. 4, библиогр. 6.*

Stasyukevich N.N., Pliskevich E.V., Stasyukevich A.N., Komlach D.I.

Substantiation of the design of the combined tillage and sowing machine with a hydraulic drive of the tools

The paper proposes the design of the combined tillage and sowing machine with a volume hydraulic drive of the tools of the machine that allows performing a seedbed preparation and plant vegetable crops in a single pass.

УДК 631.623; 631.626.1

Басаревский, А.Н. **Анализ параметров, влияющих на работоспособность ротационных рабочих органов в мелиоративных каналах** / А.Н. Басаревский, К.А. Кравченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 137-144.

В статье описываются результаты 3 моделируемых компьютерных экспериментов, отражающих влияние, оказываемое физико-механическими свойствами различных пород убираемой древесно-кустарниковой растительности, а также конструктивными и технологическими параметрами ротационного рабочего органа, на возможность ее удаления из мелиоративного канала. – *Рис. 3, табл. 2, библиогр. 5.*

Basarevsky A.N., Kravchenin K.A.

Analysis of parameters affecting the efficiency of rotational tools in the soil-reclamation canals

The article describes the results of 3 simulated computer experiments reflecting the impact of physical and mechanical properties of various breed of handled trees and shrubs, as well as structural and technological parameters of the rotary tool on the possibility of its removal from the soil-reclamation canal.

УДК 631.331.022

Юрин, А.Н. **Некоторые результаты испытаний туннельного устройства шатрового опрыскивателя для садов интенсивного типа** / А.Н. Юрин // Механизация и электрификация сельского хозяйства: меж-

вед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 145-152.

Рассмотрены тенденция развития технических средств защиты насаждений и некоторые результаты испытаний туннельного устройства шатрового опрыскивателя для садов интенсивного типа. – *Рис. 9, табл. 3, библиогр. 5.*

Jurin A.N.

Some test results for tunnel devices of the tent-shaped sprayer for gardens of intensive type

The article discusses the tendency of development of technical means of protection of plants, and some test results for tunnel devices of the tent-shaped sprayer for gardens of intensive type.

УДК 637.118

Клыбик, В.К. **Факторы коробления лопаток водокольцевых вакуумных насосов** / В.К. Клыбик, М.В. Колончук, В.М. Колончук, Ф.Д. Сапожников, Г.Г. Тычина // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 153-159.

Рассмотрены аспекты устойчивости роторных лопаток ротационного вакуумного насоса. Разработаны предложения по проектированию элементов конструкций насосов. – *Рис. 6, библиогр. 1.*

Klybik V.K., Kolonchuk M.V., Kolonchuk V.M., Sapozhnikov F.D.,
Tychina G.G.

Factors of hogging of the blades of liquid-packed ring pumps

The article considers the aspects of sustainability of rotary blades of the rotary vacuum pump. Proposals for the design of structural elements of the pumps were developed.

УДК 637.116:621.65

Колончук, В.М. **Бессмазочный пластинчатый вакуумный насос для установок индивидуального доения коров** / В.М. Колончук, Ф.Д. Сапожников, Г.Г. Тычина, В.К. Клыбик, М.В. Колончук // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 160-165.

Рассмотрены вопросы улучшения конструктивно-энергетических показателей серийного вакуумного насоса ABC-610. – *Рис. 4, табл. 2.*

Kolonchuk V.M., Sapozhnikov F.D., Tychina G.G., Klybik V.K.,
Kolonchuk M.V.

Oil-free vane vacuum pump the individual cow milking machines

The article considers the problems to improve the constructive and energy parameters of the serial vacuum pump ABC-610.

УДК 697.7: 621.384.3

Ахрамович, А.П. **Лучистый метод стимуляции молокоотдачи в условиях поточного доения коров** / А.П. Ахрамович, Л.С. Герасимович, В.Н. Дашков, В.П. Колос // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 166-172.

Рассмотрена автоматизированная лучистая система, обеспечивающая интенсификацию молокоотдачи коров при поточном машинном доении за счет строгого поддержания нормируемых тепловых условий в доильном блоке и теплового раздражения рецепторов на люмбосакральной части спины животного с целью рефлекторного усиления эвакуации жира из молочной железы. – *Рис. 1, табл. 1, библиогр. 12.*

Ahramovich A.P., Gerasimovich L.S., Dashkov V.N., Kolos V.P.

Radial method of stimulation of milk flow in a streamline milking of cows

The article considers a radial automated system providing the intensification of milk flow of cows in a streamline milking due to the strict maintenance of comfort thermal conditions in the milking section and thermal stimulation of the receptors in the lumbosacral part of the back of an animal for the purpose of reflex gain in evacuation of the fat from the mammary.

УДК 636.2.034:004

Грищенко, А.Б. **Экспериментально-теоретические исследования средств идентификации дойных коров** / А.Б. Грищенко, И.И. Гируцкий, А.Г. Сеньков, В.Ф. Марышев, В.В. Чумаков // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 173-177.

В молочном скотоводстве Республики Беларусь основной является технология беспривязного содержания с доением в зале на современных компьютеризированных доильных установках. Для идентификации животных используется радиочастотный или инфракрасный метод. Повышение надежности системы определения дойных коров достигается путем применения алгоритма их идентификации по совокупности трех показателей: электронной идентификации индивидуальными антеннами, по значениям надоя и по электропроводности молока. Это позволяет повысить процент успешной идентификации в среднем с 95 % до 96,48 %, а также качество учета надоев молочных коров. – *Рис. 3, табл. 1, библиогр. 3.*

Grishchenko A.B., Girutsky I.I., Senkov A.G., Maryshev V.F.,
Chumakov V.V.

Experimental and theoretical studies of means of identification of dairy cows

In dairy cattle breeding of the Republic of Belarus the basic technology is the technology of loose housing with milking in the hall using up-to-date computerized milking machines. Radio frequency or infrared methods are used for animal identification. Improving the reliability of determination of dairy cows is achieved by applying an algorithm of their identification by a set of three indicators: the electronic identification by the individual antennas, the values of milk yield and the milk conductivity. This allows to increase the percentage of successful identification of the average from 95 % to 96,48 % as well as the quality of dairy cows milk yield records.

УДК 636.2.034/06

Грищенко, А.Б. **Критерии диагностики состояния животных** / А.Б. Грищенко, И.И. Гируцкий, А.Г. Сеньков, В.Ф. Марышев, В.В. Чумаков // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 178-185.

Рассмотрены основные причины, снижающие эффективность производства молока, возможные направления совершенствования молочной отрасли, в том числе путем внедрения информационно-управляющих систем, позволяющих осуществлять непрерывный сбор, анализ и хранение большого количества данных о животных и облегчающих принятие на их основе оптимальных управленческих решений. Выделены и кратко описаны основные критерии диагностики состояния здоровья животных. – *Рис. 2, табл. 2, библиогр. 10.*

Grishchenko A.B., Girutsky I.I., Senkov A.G., Maryshev V.F.,
Chumakov V.V.

Criteria for diagnosis of the condition of animals

The main reasons for reducing the efficiency of milk production, possible areas of improvement of the dairy industry, including through the implementation of information management systems that allow for continuous collection, analysis and storage of large amounts of data on the animals and assist in making optimal management decisions. The article isolates and briefly describes the main criteria for diagnostics of the health of animals.

УДК 631.171:633/635

Пунько, А.И. **Исследование конструктивно-режимных параметров бункера-питателя для дозирования рапсового жмыха** / А.И. Пунько, А.А. Жешко, Д.В. Касперович // Механизация и электрификация сельского

хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 186-190.

В статье обоснованы основные параметры рабочих органов бункера-питателя, используемого для дозирования при переработке трудосыпучего материала – рапсового жмыха. Определены производительность подающего транспортера, радиус загрузки бitera, оптимальное количество лопастей бitera. – *Рис. 1, библиогр. 3.*

Punko A.I., Zheshko A.A., Kasperovich D.V.

Research of constructive and standard parameters of the hopper-feeder for dispensing of rapeseed cake

In the article the basic parameters of the tools of the hopper-feeder used for dispensing when processing the hard-running material – rapeseed cake are substantiated. The article also determines the performance of the supply conveyor, beater load range, the optimal number of blades of the beater.

УДК 631.363:636.085

Романович, А.А. **Использование кавитации при гидродиспергировании зернофуража** / А.А. Романович // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 190-194.

В статье проведены теоретические исследования с целью получения зависимости для определения условий возникновения кавитации при гидродиспергировании зернофуража. – *Рис. 3, библиогр. 4.*

Romanovich A.A.

Use of cavitation during hydrodispersion of the grain forage

The article provides the theoretical research in order to obtain dependence to determine the conditions of cavitation during hydrodispersion of the grain forage.

УДК 636.087.6

Чумаков, В.В. **Получение протеиновой кормовой добавки из отходов сельскохозяйственных перерабатывающих предприятий методом экструдирования** / В.В. Чумаков // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 195-199.

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» с целью сокращения объемов закупок белковых компонентов (рыбной муки), входящих в состав комбикорма, при имеющейся необходимости рационального и эффективного использования сырьевой базы птицефабрик разработал технологию и комплект оборудования для получения протеиновой кормовой добавки из боенских отходов и пера птицы, технологическая схема которого представлена в статье. – *Рис. 1, табл. 1, библиогр. 2.*

Chumakov V.V.

Getting protein feed additive from agricultural waste processing plants by extrusion

The Republican Unitary Enterprise «Scientific and practical centre of the National Academy of sciences of Belarus of agriculture mechanization» with the purpose to reduce the volume of purchases of protein components (fish meal) included in the feed and having the necessity in rational and efficient use of the raw material base of poultry farms has developed a technology and a set of equipment for production of protein feed additives from slaughtering waste and feather. The flow chart is shown in the article.

УДК 636.087.6

Чумаков, В.В. **Экструдированные корма – назначение, приготовление и использование** / В.В. Чумаков, И.В. Барановский, Е.Л. Жилич // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 200-205.

При введении экструдированных компонентов растительного и животного происхождения в состав комбикорма повышается их усвоение, увеличиваются надой молока, среднесуточные привесы. При этом уменьшается потребление корма, расход его зерновых компонентов.

Обозначенные факторы обуславливают необходимость по-новому оценивать экономическую питательную и энергетическую значимость зерновых и бобовых ресурсов, а также отходов сельскохозяйственного производства и место экструзионных технологий при производстве конкурентоспособных кормов, концентратов и добавок. – *Рис. 2, библиогр. 7.*

Chumakov V.V., Baranovsky I.V., Zhylich E.L.

Extruded feed – designation, preparation and use

With the introduction of the extruded components of plant and animal origin in the fodder increases their digestion, increases milk production, average daily gain. But this reduces feed intake, consumption of its grain components.

Designated factors contribute to the need for a new way to assess the economic, nutritional and energy importance of cereals and legumes resources, as well as agricultural waste and the position of the extrusion technology in the production of competitive feed, concentrates and additives.

УДК 631.22.01

Башко, Ю.А. **Состояние и перспективы совершенствования передвижных комбикормовых установок** / Ю.А. Башко, В.И. Хруцкий, А.А. Кувшинов // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 206-212.

В статье рассмотрены перспективы совершенствования мобильных комбикормовых установок и целесообразность их применения в условиях республики. – *Рис. 3, табл. 2, библиогр. 3.*

Bashko A.Y., Khrutsky V.I., Kuvshinov A.A.

Status and prospects for improving the mobile feed systems

The article discusses the prospects for improving the mobile feed systems and the feasibility of their application in the country.

УДК 631.363: 636.085

Китун, А.В. **Определение дальности полета частицы высокоэнергетической добавки во встречный поток стебельчатых кормов** / А.В. Китун // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 213-217.

В статье представлен малозатратный способ формирования кормосмеси из пересекающихся в воздухе потоков силосованных стебельчатых и высокоэнергетических кормов, выгружаемых на транспортер мобильного кормораздатчика. Получена формула для расчета дальности полета частицы многокомпонентной высокоэнергетической добавки в слой силосованных стебельчатых кормов, на основании которой рассчитана зависимость дальности полета частицы высокоэнергетических кормов от времени полета и угловой скорости шнека. Результаты теоретических исследований реализованы в мобильном смесителе-раздатчике кормов. – *Рис. 2, библиогр. 4.*

Kitun A.V.

Assessment of the flying distance for the high-energy additive particles to the counter-flow of stalked feed

The paper presents a cost-effective method of forming a feed mixture of stalked silage and high-energy streams feed intersecting in the air and discharged to the mobile feeder conveyor. The article provides the formula for calculating the flying distance for the high-energy additive particles to the counter-flow of stalked feed on the basis of which the dependence of the flying distance for the high-energy additive particles from the moment of flight and the angular velocity of the screw conveyor was calculated. The theoretical results are implemented in the mobile mixing feeder.

УДК 631.314.1

Козлов, Н.С. **Исследование качества измельчения высокостебельных культур спирально-ножевыми рабочими органами** / Н.С. Козлов // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 218-223.

В статье приводятся результаты исследования качества измельчения растительных остатков высокостебельных культур спирально-ножевидным рабочим органом. – *Рис. 3, табл. 4, библиогр. 8.*

Kozlov N.S.

Study of the quality of chopping the tall-stalked crops using spiral blade tools

The article presents the results of the study of the quality of chopping the tall-stalked crops using spiral blade tools.

УДК 631.363

Лабоцкий, И.М. **Полуприцепы самосвальные тракторные грузоподъемностью 15 и 20 тонн на унифицированных двухосном и трехосном шасси** / И.М. Лабоцкий, С.Н. Конончук // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 223-229.

В статье рассмотрены полуприцепы самосвальные тракторные для перевозки сельскохозяйственных грузов на унифицированных двухосном и трехосном шасси, достоинства и недостатки конструкций машин. – *Рис. 4, библиогр. 11.*

Labotsky I.M., Kononchuk S.N.

Tractor dump semi-trailers with the carrying capacity 15 and 20 tons for standard two-axle and three-axle chassis

The article describes tractor dump semi-trailers for transportation of agricultural goods using standard two-axle and three-axle chassis, the advantages and disadvantages of the machine designs.

УДК 629.1

Тарасенко, В.Е. **Анализ тепловой эффективности поверхностей охлаждения автотракторных радиаторов** / В.Е. Тарасенко, А.А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 230-238.

В статье проведен анализ тепловой эффективности поверхностей охлаждения радиаторов. – *Рис. 4, табл. 2, библиогр. 3.*

Tarasenko V.E., Zheshko A.A.

Analysis of thermal efficiency of the cooling surfaces of automotive radiators

The article analyzes the thermal efficiency of the cooling surfaces of the radiators.

УДК 629.1

Тарасенко, В.Е. **К вопросу проектирования системы охлаждения дизеля сельскохозяйственного трактора** / В.Е. Тарасенко, А.А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 239-251.

В статье предложен алгоритм создания конструкции системы охлаждения моторной установки трактора. – *Рис. 2, табл. 1, библиогр. 4.*

Tarasenko V.E., Zheshko A.A.

The issue of designing the cooling system of the agricultural tractor diesel engine

This paper proposes an algorithm for creating the design of the cooling system of the tractor engine.

УДК 621.317.385: 662.17

Мироненко, В.Г. **Сравнение эффективности производства гранулированного биотоплива на разных типах технологических линий** / В.Г. Мироненко, Н.В. Веремейчик // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 252-256.

Предложенная методика дает возможность наглядно и просто определить целесообразность применения того или иного технического оборудования для производства гранулированного биотоплива, оценить эффективность выбранных вариантов технологического процесса и определить возможные пути ее повышения. – *Рис. 1, табл. 1, библиогр. 9.*

Mironenko V.G., Veremeichik N.V.

Comparing the efficiency of production of granulated biofuel on different types of production lines

The proposed method makes it possible to clearly and simply identify the feasibility of particular technical equipment for the production of granulated biofuel, to assess the effectiveness of selected variants of the process and identify possible ways to improve it.

УДК 631.867.7

Рудик, Л.А. **Оптимизация параметров установки для подачи органической массы в ферментер** / Л.А. Рудик // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 257-262.

В статье рассмотрены результаты экспериментальных исследований параметров установки для подачи органической массы в твердофазный ферментер. – *Рис. 6, табл. 1, библиогр. 16.*

Rudik L.A.

Optimization of the parameters of the machine for feeding the organic mass into the fermenter

The article describes the results of experimental studies of the parameters of the machine for feeding the organic mass into the fermenter.

УДК 634.437.8

Азаренко, В.В. **Научно-методическое обеспечение исследований безопасности управления технологическими операциями на клюквенном чеке** / В.В. Азаренко А.Л. Мисун, А.Ю. Ларичев // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 262-273.

Приведена методика для проведения исследований приспособленности технических средств промышленного выращивания клюквы к безопасному управлению технологическими операциями на чеке и риска травмирования механизатора. – *Рис. 2, табл. 4, библиогр. 16.*

Azarenko V.V., Misun A.L., Larichev A.Y.

Scientific and methodological support safety studies of technological operations in the cranberry check

The article presents the technique for studies of adaptation of tools of industrial cultivation of cranberries to the safe management of technological operations on the check, and the risk of injury to the farm machinery operator.

УДК 634.437.5

Азаренко, В.В. **Результаты исследований экономической эффективности инженерно-технических решений для улучшения условий и повышения безопасности механизированного ухода за клюквенным покровом чека** / В.В. Азаренко, А.Л. Мисун, А.Ю. Ларичев // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 274-278.

Суммарный (за сезон плантационного выращивания крупноплодной клюквы) социально-экономический эффект от внедрения усовершенствованной конструкции технического средства, инженерно-технических решений для улучшения условий труда и безопасности механизированного ухода за клюквенным покровом чека составляет более 190 миллионов рублей (по состоянию на 10.03.2015 г.). – *Табл. 1, библиогр. 7.*

Azarenko V.V., Misun A.L., Larichev A.Y.

Results of studies of economical effectiveness of engineering and technical solutions to improve the conditions and safety of the mechanized treatment of cranberry cover of the check

Total (for the season of plantation large-fruited cranberry cultivation) social and economic impact of the introduction of an improved design tools, engineering and technical solutions to improve the working conditions and safety of the mechanized care of cranberry cover of the check amounts to more than 190 million rubles (as of March 10,2015).

УДК 636:658.345.8 (075.32)

Андруш, В.Г. **Совершенствование системы безопасности труда в животноводческой отрасли** / В.Г. Андруш, А.И. Федорчук, А.Г. Филипович // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 278-285.

В статье приводятся результаты исследования путей повышения безопасности труда на животноводческих фермах АПК на основе системного анализа. – *Табл. 1, библиогр. 5.*

Andrush V.G., Fedorchuk A.I., Filipovich A.G.
Improvement of safety in the livestock industry

The article presents the results of study of the ways to improve safety in the agricultural sector livestock farms based on the system analysis.

УДК 331.45

Мисун, Л.В. **Исследование риска заболеваний работников предприятий агросервиса в результате воздействия опасных и вредных производственных факторов** / Л.В. Мисун, С.В. Жилич, М.А. Брынза // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 285-290.

Установлены взаимосвязи между показателями профессиональной и производственно обусловленной заболеваемости и условиями труда. Обоснован научно-методический подход к оптимальному управлению уровнем повреждающей способности производственной среды. – *Табл. 3, библиогр. 3.*

Misun L.V., Zhylich S.V., Brynza M.A.
Study the risk of disease for the workers of the agroservice enterprises as the result of exposure to hazardous and harmful production factors

The article establishes the relationship between the indicators of professional and work-related diseases and working conditions. It substantiates the scientific and methodical approach to the optimal management of the level of the damaging property of the working environment.

Содержание

С.Г. Яковчик, Ю.Л. Салапура. Земледельческая механика – основа развития агроинженерной науки	3
В.И. Кравчук. Развитие метода базовых задач оптимизации работы машинно-тракторных агрегатов	8
Ю.Н. Селюков, А.Ю. Башко, М.И. Латушко, Ю.А. Башко. Сущность и теоретико-методологический аппарат категории «импортозамещение» в агропромышленном комплексе	14
В.П. Чеботарев, Н.Д. Лепешкин, И.В. Барановский, В.В. Чумаков, В.Б. Ловкис, А.В. Новиков, Т.А. Непарко. К вопросу эффективности применения соломы для сушки зерна	24
В.П. Чеботарев, Н.Д. Лепешкин, И.В. Барановский, В.В. Чумаков, В.Б. Ловкис, А.В. Новиков, Т.А. Непарко. Классификация и показатели технического уровня современных зерносушилок	31
Н.Д. Лепешкин, Н.С. Козлов, В.П. Чеботарев. Результаты исследований влияния конструктивных параметров спирально-ножевидного катка на качество измельчения растительных остатков	40
Ю.Л. Салапура, М.Н. Салапура. Аналитическое определение пропускной способности питателя эжекторного типа пневматической зерновой сеялки	44
В.В. Смильский, А.В. Сидорчук. О коэффициенте полезного действия земледельческих орудий	48
Л.Я. Степук, А.А. Жешко, Н.Д. Гапанович, И.В. Горностаев. Усовершенствованный комплект приборов для оценки качества работы опрыскивателей в полевых условиях	54
Л.Я. Степук, А.А. Жешко, О.Ч. Ролич. Разработка и реализация алгоритма оценки качества работы опрыскивателей в полевых условиях	58
В.И. Кравчук, Л.П. Шустик, Т.В. Гайдай, Д.В. Читаев. Результаты экспериментального исследования тарельчатого рассеивателя комбинированного агрегата для посева мелкозернистых культур	63
Э.В. Дыба, П.П. Бегун, В.В. Микульский. Обоснование ширины захвата машины для внутривспашечного внесения жидких органических удобрений	68
И.А. Барановский. Обоснование формы подкапывающих рабочих органов корневыеборочных машин	76
А.Н. Басаревский, С.П. Кострома, В.Б. Ловкис. Результаты испытаний оборудования для гидроподкормки ОГД-50 к дождевальным установкам	82
А.И. Гапоненко. Исследования взаимодействия с почвой рабочих органов на упругих стойках	87

А.С. Воробей, Д.И. Комлач, А.Н. Антоненко. Рабочий орган культиватора для междурядной обработки растений картофеля и топинамбура	92
С.Ф. Лойко, А.Н. Перепечев, С.В. Старосотников. Результаты производственной апробации и экономическая эффективность использования агрегата АПЛ-4	97
А.Н. Перепечев, С.В. Старосотников. Определение скоростей вращения зубчатых вальцов для разрыхления льновороха	103
А.Н. Басаревский, И.Е. Мажугин, С.И. Заяц, П.В. Яцына, К.А. Кравченко. Результаты испытаний каналоочистителя с ротационным рабочим органом КОРО-2	108
А.С. Кушнарев, Л.П. Шустик, С.П. Маринин, Л.И. Маринина. Новый подход к организации точного высева мелкосемянных овощных культур	113
Л.Я. Степук, В.В. Микульский. Согласование параметров подающих транспортеров и шнековых распределяющих рабочих органов удобрительных машин	118
Б.Х. Ахалая, В.А. Колос, Н.Д. Лепешкин. Разработка двухдискового пневматического высевающего аппарата для совмещенного посева	124
Н.Н. Стасюкевич, Е.В. Плискевич, А.Н. Стасюкевич, Д.И. Комлач. К обоснованию схемы комбинированного почвообрабатывающе-посевного агрегата с гидроприводом рабочих органов	128
А.Н. Басаревский, К.А. Кравченко. Анализ параметров, влияющих на работоспособность ротационных рабочих органов в мелиоративных каналах	137
А.Н. Юрин. Некоторые результаты испытаний туннельного устройства шатрового опрыскивателя для садов интенсивного типа	145
В.К. Клыбик, М.В. Колончук, В.М. Колончук, Ф.Д. Сапожников, Г.Г. Тычина. Факторы коробления лопаток водокольцевых вакуумных насосов	153
В.М. Колончук, Ф.Д. Сапожников, Г.Г. Тычина, В.К. Клыбик, М.В. Колончук. Бессмазочный пластинчатый вакуумный насос для установок индивидуального доения коров	160
А.П. Ахрамович, Л.С. Герасимович, В.Н. Дашков, В.П. Колос. Лучистый метод стимуляции молокоотдачи в условиях поточного доения коров	166
А.Б. Грищенко, И.И. Гируцкий, А.Г. Сеньков, В.Ф. Марышев, В.В. Чумаков. Экспериментально-теоретические исследования средств идентификации дойных коров	173
А.Б. Грищенко, И.И. Гируцкий, А.Г. Сеньков, В.Ф. Марышев, В.В. Чумаков. Критерии диагностики состояния животных	178

А.И. Пунько, А.А. Жешко, Д.В. Касперович. Исследование конструктивно-режимных параметров бункера-питателя для дозирования рапсового жмыха	186
А.А. Романович. Использование кавитации при гидродиспергировании зернофуража	190
В.В. Чумаков. Получение протеиновой кормовой добавки из отходов сельскохозяйственных перерабатывающих предприятий методом экструдирования	195
В.В. Чумаков, И.В. Барановский, Е.Л. Жилич. Экструдированные корма – назначение, приготовление и использование	200
Ю.А. Башко, В.И. Хруцкий, А.А. Кувишинов. Состояние и перспективы совершенствования передвижных комбикормовых установок	206
А.В. Китун. Определение дальности полета частицы высокоэнергетической добавки во встречный поток стебельчатых кормов	213
Н.С. Козлов. Исследование качества измельчения высокостебельных культур спирально-ножевидными рабочими органами	218
И.М. Лабозкий, С.Н. Конончук. Полуприцепы самосвальные тракторные грузоподъемностью 15 и 20 тонн на унифицированных двухосном и трехосном шасси	223
В.Е. Тарасенко, А.А. Жешко. Анализ тепловой эффективности поверхностей охлаждения автотракторных радиаторов	230
В.Е. Тарасенко, А.А. Жешко. К вопросу проектирования системы охлаждения дизеля сельскохозяйственного трактора	239
В.Г. Мироненко, Н.В. Веремейчик. Сравнение эффективности производства гранулированного биотоплива на разных типах технологических линий	252
Л.А. Рудик. Оптимизация параметров установки для подачи органической массы в ферментер	257
В.В. Азаренко, А.Л. Мисун, А.Ю. Ларичев. Научно-методическое обеспечение исследований безопасности управления технологическими операциями на клюквенном чеке	262
В.В. Азаренко, А.Л. Мисун, А.Ю. Ларичев. Результаты исследований экономической эффективности инженерно-технических решений для улучшения условий и повышения безопасности механизированного ухода за клюквенным покровом чека	274
В.Г. Андруш, А.И. Федорчук, А.Г. Филипович. Совершенствование системы безопасности труда в животноводческой отрасли	278
Л.В. Мисун, С.В. Жилич, М.А. Брынза. Исследование риска заболеваний работников предприятий агросервиса в результате воздействия опасных и вредных производственных факторов	285
Рефераты	291

Научное издание

Механизация и электрификация сельского хозяйства

Межведомственный тематический сборник

Выпуск 49

Ответственный за выпуск С.Н. Поникарчик
Редактор-корректор А.С. Борейша
Компьютерная верстка С.Е. Мельник

Подписано в печать 16.12.2014. Формат 60х84 1/16.
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 13,25. Уч.-изд. л. 12,50. Тираж 100 экз. Заказ 369.

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/341 от 02.06.2014.
Ул. Кнорина, 1, 220049, Минск.

Отпечатано в типографии РУП «НПЦ НАН Беларуси
по механизации сельского хозяйства».
Ул. Кнорина, 1, корп. 3, 220049, Минск.
