



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 47
в 2 томах
Том 1

Минск
2013

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 В.П. Чеботарев

(зам. главного редактора);

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

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

доктора технических наук, доценты В.В. Азаренко, И.И. Гируцкий;

кандидат технических наук, профессор В.П. Миклуш;

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

кандидат экономических наук, доцент В.Г. Самосюк;

кандидаты технических наук Н.Г. Бакач, В.М. Изойтко, Н.Ф. Капустин,

В.К. Клыбик, Н.Д. Лепешкин, А.Л. Рапичук, М.Н. Трибуналов;

кандидаты экономических наук А.В. Ленский, Е.И. Михайловский.

Рецензенты:

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

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

доктора технических наук, доценты В.В. Азаренко, 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.

**ОСНОВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
ПОЛИТИКИ РЕСПУБЛИКИ
БЕЛАРУСЬ В ОБЛАСТИ
МЕХАНИЗАЦИИ
РАСТЕНИЕВОДСТВА ДО 2015
И НА ПЕРИОД ДО 2020 ГОДА**

Введение

С учетом анализа достигнутого уровня и перспектив развития агротехнологий и сельскохозяйственной техники для принятия оптимальных решений по созданию и освоению образцов новых машин и механизмов, научно-техническая политика республики в данной области народного хозяйства должна способствовать формированию эффективного комплекса технических средств. Предполагаемые технические решения должны базироваться на:

- системном подходе к разработке и производству техники, обеспечивающем возможность полнокомплектной поставки технических средств для реализации технологий;
- сбалансированности создания и освоения производства машин и оборудования, исходя из реальных финансовых возможностей, потенциала научно-исследовательских и конструкторских организаций, организаций-изготовителей сельскохозяйственной техники;
- максимальной эффективности в сфере производства и использования техники;
- рациональном ограничении номенклатуры технических средств, сокращении металло- и энергоемкости путем создания оптимальных типоразмерных рядов, агрегатной унификации и универсализации машин.

На данном этапе важным является переход от интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, рассчитанных на урожайность зерновых 40–50 *ц/га* и получение продукции высокого качества, к высоким технологиям, рассчитанным на достижение урожайности культуры, близкой к ее биологическому потенциалу (80–100 *ц/га* зерновых). Для этого необходимо уделять внимание развитию синергической комбинации машиностроения, электронной техники, компьютерных разработок, теории автоматического управления и проектирования систем, имеющей целью создать, спроектировать и реализовать систему машин и оборудования нового поколения, базирующуюся на технологической платформе мехатроники в части интересов агропромышленного комплекса, и создать инструментально-технологические концепции точного растениеводства на базе интегрированных локальных цифровых систем контроля и управления в сочетании с системами иден-

тификации. Основная задача – выйти на новый уровень создания роботизированных систем в растениеводстве.

Основная часть

С учетом роста объемов механизированных работ, укрупнения сельскохозяйственных организаций и общемировых тенденций в республике прогнозируется дальнейшее повышение мощности тракторов до 420 л.с. и более (рисунок 1) в целях эффективного комплектования машинно-тракторных агрегатов и снижения удельного расхода ГСМ.



Рисунок 1 – Энергонасыщенный трактор мощностью свыше 500 л.с.

При общей потребности хозяйств республики в тракторах около 45 тыс. физических единиц удельный вес энергонасыщенных тракторов с мощностью двигателя 250 л.с. и более должен быть не менее 20 %. Выполнение автотранспортных работ в хозяйствах по-прежнему будет обеспечиваться, в основном, большегрузными автомобилями. Наиболее эффективно применение их для транспорти-

ровки зерна, картофеля и корнеплодов с дальностью перевозок более 30 км. Расширение объемов перевозимых автомобилями грузов планируется за счет их использования при перевозке молока, скота, птицы и других грузов. Для снижения затрат на эксплуатацию техники и повышения эффективности внутрихозяйственных перевозок целесообразно использование специализированных прицепов и полуприцепов. Перспективным направлением является применение тракторных полуприцепов с набором сменных адаптеров (не менее 5 видов) грузоподъемностью не менее 25 т, позволяющих повысить производительность перевозок не менее чем в 2,0–2,5 раза.

В области механизации процессов обработки почвы и посева необходимо:

- создание 12-корпусных пахотных агрегатов к тракторам мощностью 420 л.с., сменных корпусов для вспашки мелкозалежных почв, влажных и сухих тяжелых почв, склоновых земель;
- создание зернотукотравяной сеялки прямого посева шириной захвата 9 м;

- создание модификации агрегата дискового с игольчатыми дисками для аэрации дернины многолетних трав;
- создание высокопроизводительных посевных комплексов шириной захвата 12 м к тракторам мощностью 350–420 л.с. (рисунок 2).



Рисунок 2 – Посевной комплекс

Разрабатываемые почвообрабатывающие агрегаты и посевные комплексы должны иметь блочно-модульный принцип построения, позволяющий комплектовать их различными рабочими органами, способными выполнять технологические операции в различных почвенно-климатических условиях и системах земледелия.



Рисунок 3 – Многофункциональный сельскохозяйственный мобильный модуль

В области механизации применения удобрений, известковых материалов и средств защиты растений необходимо создание комплекса большегрузных машин грузоподъемностью 20–25 т для транспортировки и внутрипочвенного внесения жидких и полужидких органических удобрений (рисунок 3), самоходных высококлиренсных широкозахватных опрыскивателей для ухода за посевами и посадками сельскохозяйственных растений, оборудования для тестирования, регулировки и настройки полевых опрыскивателей и дистанционной оценки качества работы машин для внесения минеральных удобрений.

В области механизации уборки, послепоборочной доработки зерна и семян прогнозируются тенденции применения комбайнов с пропускной способностью 16–18 кг/с, зерноочистительно-сушильных комплексов производительностью 60, 80 и 100 пл.м/ч, зерноочистительных машин производительностью 100–120 т/ч на предварительной и 40–60 т/ч на первичной очистке, норий для транспортировки зерна производительностью 60, 80, 100 и 150 т/ч, механизированных хранилищ силосного типа. С целью сокращения потерь зерна при хранении в вентилируемых хранилищах предусматривается типоразмерный ряд установок для охлаждения зерна производительностью 250 и 500 т/сут., применение которых позволит сократить потери зерна в процессе хранения на 5–6 %. Для обеспечения потребности в семенах зерновых и зернобобовых культур (порядка 660 тыс. т различных репродукций) необходимо предусмотреть строительство специализированных семенных заводов и линий. Для этого предлагается типоразмерный ряд линий с оборудованием отечественного производства подготовки семян производительностью 5 и 10 т/ч. Для их комплектования предлагаются блок триерных цилиндров производительностью 12 т/ч и вибропневмосортировальная машина производительностью 10 т/ч. Для обеспечения транспортировки семенного материала в технологических линиях по подготовке семян предлагается типоразмерный ряд маятниковых норий (Z-транспортеров) производительностью 10 и 20 т/ч. Применение данного оборудования позволит исключить дробление семян в процессе транспортирования и снизить габаритную высоту комплекта технологических машин семенных линий не менее чем на 25 %, что соответственно уменьшит стоимость зданий для линий семян, а также затраты на монтажные и пусконаладочные работы.

В области механизации ухода за лугопастбищными угодьями требуется создание современного агрегата для ускоренного залужения и перезалужения угодий к тракторам мощностью 230–300 л.с., позволяющего сократить расход топлива до 50 % и вдвое снизить затраты труда. Для улучшения воздушно-водного режима лугов и пастбищ предлагается разработать комбинированный агрегат с рабочей шириной захвата 6,4 м, объединяющий более трех операций за один проход (внесение минеральных удобрений, боронование, аэрацию дернины) (рисунок 4).

Для нормализации режимов роста трав необходимо проведение подповерхностного рыхления почв лугопастбищных угодий, что позволит увеличить аккумулялирующую способность почвы, запасы продуктивной влаги и улучшить воздухообмен. С целью выполнения этих операций предусматривается разработка агрегата комбинированного для рыхления лугопастбищных угодий производительностью до 3,2 га/ч.

Увеличить продуктивность угодий и сбалансированность получаемых кормов по белку возможно прямым подсевом семян трав, особенно

бобовых, в дернину. Существенное значение прямой подсев имеет для угодий, которые нельзя распахивать из-за опасности эрозии почвы. Учитывая эти особенности, необходима разработка сеялки прямого подсева трав в дернину производительностью до 2,5 га/ч (рисунок 5).



Рисунок 4 – Агрегат комбинированный по уходу за лугопастбищными угодьями



Рисунок 5 – Сеялка прямого подсева трав в дернину

Подкашивание – наиболее действенный прием уничтожения однолетних и предупреждения образования семян у многолетних сорняков, ограничивающий их распространение. Уничтожение сорной растительности повышает сбор сухой поедаемой массы на 15–20 ц/га. Под-

кашивание способствует выравниванию высоты и степени зрелости растений на всем пастбище, стимулирует их рост, кушение и отрастание и препятствует затенению трав сорняками. Для выполнения этого важного приема необходимо освоение производства косилки для ухода за лугопастбищными угодьями с рабочей шириной захвата 6,2 м.

В области механизации заготовки кормов из трав и силосных культур необходимо предусмотреть разработку и освоение производства навесных косилок шириной захвата 6 и 9 м блочно-модульной компо-

новки, состоящих из унифицированных косилочных модулей шириной захвата 3,1 м со сменными устройствами для обработки бобовых или злаковых трав, для интенсификации процесса влагоотдачи при минимальных потерях облиственных частей растений. Требуется увеличить выпуск прицепных косилок-плющилок, необходимых при работе на кормовых угодьях со слабой несущей способностью почв или в неблагоприятных погодных условиях. Для ускоренного выполнения технологической операции ворошения валков или проковок планируется увеличить ширину захвата ворошилок больше 7,5 м. Необходимость валкования чувствительных к механическим воздействиям бобовых трав требует разработки и поставки сельхозпроизводителям новых по конструкции и характеру воздействия на технологический материал граблей-валкователей. Предусмотрено совершенствование комплекса машин для заготовки прессованных стебельчатых кормов. Для заготовки высококачественного сенажа освоено в производстве рулонный пресс-подборщик с упаковкой рулонов в самоклеящуюся полимерную пленку (рисунок 6). Существенное повышение производительности на прессовании и транспортировке прессованной массы, рациональное использование складских помещений, снижение себестоимости кормов обеспечит применение пресс-подборщика прямоугольных крупногабаритных тюков, разработка которого завершается. Расширения сферы применения тюкового пресс-подборщика следует ожидать в результате освоения в производстве упаковщика тюков в полимерный рукав, открывающего возможности заготовки высококачественного сенажа и травяного силоса по наиболее современной и экономически эффективной технологии.

Особое значение приобретает создание бесперебойного транспортного конвейера на всех стадиях процесса кормозаготовки. Необходимо принципиально новые транспортные средства с комплектами сменных адаптеров, обеспечивающие транспортировку всех видов сельскохозяйственных грузов, включая зерно, травяную и силосную массу, корнеплоды, минеральные и органические удобрения, строительные материалы и т.п. Для механизации и ускорения темпов погрузочно-транспортных работ в кормопроизводстве, сокращения потребности в специализированных средствах механизации планируется разработка



Рисунок 6 – Пресс-подборщик-обмотчик рулонов

платформы транспортной для штучных грузов (тюки, рулоны) с манипулятором, прицепов-подборщиков самозагружающихся, осуществляющих доизмельчение, транспортировку и дозированную выгрузку провяленных трав. В ряде случаев подборщики-измельчители способны заменить кормоуборочные комбайны, причем себестоимость кормов в этом случае значительно ниже. Перспективным направлением в механизации транспортных работ при заготовке кормов является использование самоходных шасси большой грузоподъемности на базе отечественных энергосредств со сменными кузовами-адаптерами. Снижение потерь и качество кормов обеспечит создание и применение новых устройств на базе самоходных машин «Амкодор» и тракторов класса 5 для загрузки и выгрузки кормов из траншейных хранилищ.

Специфические особенности возделывания и уборки кукурузы обуславливают необходимость разработки и выпуска комплекса универсальных и специализированных машин для производства кормов из этой культуры:

- агрегатов лущения стерни и заделки пожнивных остатков кукурузы на базе использования подпружиненных дисковых рабочих органов и катков;

- сеялок точного высева комбинированных с внесением стартовых доз минеральных удобрений, осуществляющих при посеве формирование гребней, обеспечивающих улучшение теплового и водно-воздушного режимов вегетации растений и более ранние сроки наступления уборочной спелости;

- агрегатов бороновально-прополочных с устройствами внесения минеральной подкормки при проведении довсходовой обработки посевов, уничтожения сорной растительности, разрушения почвенной корки;

- культиваторов-растениепитателей комбинированных с возможностью внесения твердых и жидких минеральных удобрений, рыхления междурядий и уничтожения сорняков в защитных зонах ленточным внесением гербицидов, позволяющих за счет совмещения операций сократить число проходов машин по полю, уменьшить расход гербицидов на 50 %, снизить удельные затраты топлива и живого труда;

- комбайнов кормоуборочных навесных с пропускной способностью 38–44 кг/с и комплекса кормоуборочного самоходного по типу Кроне «BigX» с комплектом сменных адаптеров для ускорения темпов уборки кукурузы на силос и сокращения потерь при уборке и закладке на хранение.

С учетом увеличения объемов заготовки зерна кукурузы свыше 1 млн т предлагается создать оборудование для измельчения влажного зерна кукурузы и приготовления консервированного корма на свиноплеках.

В области механизации возделывания, уборки и послеуборочной доработки корнеклубнеплодов и овощей предлагается комбинированная мобильная 8-рядная картофелесажалка, 8-рядный модульный картофелепосадочный агрегат с активными и пассивными рабочими органами для обеспечения посадки картофеля в агротехнические сроки для крупнотоварного специализированного производства картофеля производительностью до 25 га/смену (рисунок 7).

Концентрация производства картофеля, увеличение площадей его возделывания требуют применения более производительных уборочных машин. В мировой практике в крупнотоварных хозяйствах широко используются самоходные картофелеуборочные комбайны.



Рисунок 7 – Картофелепосадочный агрегат

Поэтому предлагается разработать самоходные картофелеуборочные комбайны производительностью до 12 га/смену.

Для завершенности линий послеуборочной доработки и предреализационной подготовки картофеля и овощей недостает автоматических машин для упаковки. Предлагается разработать типоразмерный ряд автоматических линий производительностью до 40 т/ч для мойки, калибровки и сортировки картофеля с последующей упаковкой в пакеты, мешки. Концентрация производства моркови и столовой свеклы, а также сжатые агротехнические сроки уборки требуют применения более производительных уборочных машин. В мировой практике в крупнотоварных хозяйствах широко используются самоходные комбайны теребильного типа. Для этого предлагается предусмотреть разработку двухрядных самоходных комбайнов теребильного типа производительностью до 12 га/смену. Завершить линии послеуборочной доработки и предреализационной подготовки овощей требуется автоматическими машинами для взвешивания и упаковки. Для этого предусматривается типоразмерный ряд автоматических линий производительностью до 30 т/ч для мойки, калибровки и сортировки моркови с последующей упаковкой в пакеты, мешки. Для механизации возделывания и уборки сахарной свеклы предлагается разработать комбинированный посевной агрегат, обеспечивающий обработку почвы, внесение минеральных удобрений и

посев сахарной свеклы в агротехнические сроки, для крупнотоварного специализированного производства.

Концентрация производства сахарной свеклы, увеличение площадей ее возделывания требуют применения производительных машин для погрузки ее клубней. Предлагается применение самоходных погрузчиков, осуществляющих погрузку сахарной свеклы и других корнеплодов из кагатов производительностью до 350 т/ч.

Для механизации возделывания, уборки и первичной переработки льна предусматривается применение специальных почвообрабатывающе-посевных агрегатов, обеспечивающих посев льна с одновременным внесением предпосевной дозы гранулированных минеральных удобрений и микроэлементов. Уже создан почвообрабатывающе-посевной агрегат к тракторам мощностью 160–200 л.с. Запланирована разработка посевного агрегата шириной захвата не менее 6 м к тракторам мощностью 250–300 л.с. Их применение обеспечит повышение урожайности волокна и семян на 1,5–1,7 и 0,3–0,5 ц/га соответственно. Применяемая технология уборки предусматривает использование специальных льноуборочных машин: теребилки и подборщика-очесывателя при отдельной уборке льна, а также комбайна. В целях оптимизации парка этих машин необходима разработка самоходной двухпоточной модульной льноуборочной машины с набором сменных адаптеров (модулей) для тербления льна, подбора лент и очеса семенных коробочек. Для ускорения процесса вылежки необходимо обрачивание лент льна. Снижение материалоемкости процесса, затрат труда, повышение производительности работ диктует необходимость разработки самоходного двухпоточного обрачивателя лент льна с системой автоматического наведения на ленту. Механизованная заготовка льнотресты будет вестись рулонными пресс-подборщиками, обеспечивающими формирование ленты в рулоне требуемой линейной плотности. С целью повышения качественных показателей процесса прессования и производительности работ необходима разработка самоходного пресс-подборщика льна. Предлагается разработать линии выработки длинного льноволокна производительностью по тресте 1,5 и 2,0 т/ч, линии короткого льноволокна производительностью по отходам трепания до 700 кг/ч, сушильную машину для сушки льнотресты производительность 2 т/ч, сушильную машину для сушки отходов трепания производительностью 1 т/ч, прессы для формирования тюков длинного и короткого льноволокна.

Для механизации процессов возделывания и уборки плодов и ягод необходимо применять агрегат самоходный для уборки плодов и формирования кроны семечковых культур, прицепную плодуборочную платформу и машину для уборки плодов косточковых культур. Они позволят в 3–4 раза снизить затраты труда на уборке при сохранении высокого качества собранных плодов. Для вывоза из междурадий сада контейне-

ров с плодами при механизированном способе уборки необходим универсальный транспортировщик контейнеров, осуществляющий самозагрузку 4–5 заполненных плодами контейнеров в узких междурядьях современных садов, их транспортировку к месту хранения и разгрузки. Необходимы машины для утилизации обрезанных ветвей плодовых деревьев. Это предлагается проводить при помощи комплекса уборки ветвей, состоящего из валкователя и измельчителя ветвей шириной захвата 6 м. Для механизации работ в ягодниках необходимо разработать прицепной комбайн для сбора ягод красной и черной смородины, аронии, крыжовника, шиповника на плантациях площадью от 10 до 20 га с полной сбор урожая не менее 97 % и прицепную платформу для сбора земляники. Для повышения производительности труда и снижения повреждения саженцев предлагается применять выкопчный плуг с планчатым транспортером, укладывающим посадочный материал рядами без повреждений на поверхности поля и стряхивания земли с корней, новые виды садовых опрыскивателей туннельного и башенного типов. Туннельный опрыскиватель (рисунок 8) предназначен для опрыскивания деревьев в садах интенсивного типа, обеспечивает экономию распыляемого препарата до 50 %, снижая пестицидную нагрузку в 2–3 раза, башенный – для опрыскивания деревьев в садах интенсивного типа, обеспечивает повышение производительности труда за счет одновременной обработки 2 рядов и 2 полурядов плодовых деревьев. Для сортировки и предпродажной подготовки яблок необходима технологическая линия сортировки и фасовки яблок производительностью 2 и 4 т/ч.

Повышение эффективности и снижение удельных затрат производства сельскохозяйственной продукции за счет широкого использования ресурсосберегающих технологий диктует необходимость поэтапной разработки сельскохозяйственных машин и оборудования, способных работать в системе информационно-управляемого земледелия.



Рисунок 8 – Туннельный опрыскиватель

Разработан и испытывается комплект оборудования системы дистанционного мониторинга машинно-тракторных агрегатов, который позволяет значительно повысить уровень точности и оперативности сбора первичной информации об основных эксплуатационных показателях машинно-тракторных агрегатов и перейти на новый автоматизирован-

ный учет их выработки в режиме реального времени. Необходима разработка оборудования и технических средств нового поколения, базирующихся на технологической платформе мехатроники, для освоения таких направлений, как позиционирование и автоматическое вождение широкозахватных агрегатов с точностью до 10 см; оценка состояния и среды произрастания растений; создание электронных карт вариабельности урожайности полей и агрохимического состояния почв; автоматизированное управление процессами дифференцированного внесения жидких и твердых минеральных удобрений; контроль всех выполняемых технологических операций, а также программное обеспечение анализа получаемых данных и принятия управленческих решений.

Эффективность реализации комплекса машин для растениеводства представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Эффективность реализации комплекса машин для растениеводства

Наименование продукции	Затраты труда, чел.-ч/т		Расход электроэнергии, кВт-ч/т		Расход условного топлива, кг у.т/т	
	фактические	прогнозируемые	фактический	прогнозируемый	фактический	прогнозируемый
Зерно	3,5–4,2	2,5–2,8	4,5–5,5	3,5–4,0	55–60	30–35
Картофель	5,5–6,0	3,0–3,5	8–10	6–8	25–30	8–10
Корма: сено	0,7–0,8	0,4–0,5	–	–	7,0–7,4	3,4–3,6
сенаж	0,4–0,5	0,3–0,4	–	–	6,0–6,2	3,4–3,6
силос	0,2–0,3	0,2–0,3	–	–	3,5–3,6	3,0–3,2
Сахарная свекла	5,0–5,5	3,8–4,0	–	–	–	–
Льнопродукция	35–40	30–33	400–450	350–380	115–125	85–100
Овощи (открытый грунт)	10–15	8–10	6–8	4–5	10–12	6–8

Заключение

Новая концепция научно-технической политики в области механизации сельского хозяйства на 2015 и на период до 2020 года позволит приблизиться вплотную к показателям удельных затрат на производство сельскохозяйственной продукции лучших зарубежных стран и в растениеводстве снизить удельные затраты труда при производстве продукции зерновых и зернобобовых культур на 60 %, сахарной свеклы – на 45 %, кукурузы на силос – на 50 %, картофеля – на 60 % и затраты топлива – на 35–45 % (таблица 1).

Данная концепция также позволит пересмотреть Систему перспективных машин и оборудования на новом техническом уровне.

19.09.13

УДК 621.431.7

В.Е. Тарасенко

(УО «БГАТУ»,

г. Минск, Республика Беларусь)

А.А. Жешко

(РУП «НПП НАН Беларуси по

механизации сельского хозяйства»,

г. Минск, Республика Беларусь)

ВЕРОЯТНОСТЬ ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЯ И ПЕРЕГРЕВА ДВИГАТЕЛЯ ТРАКТОРА

Введение

Климатические условия в Республике Беларусь специалисты оценивают как умеренно континентальные: мягкая с продолжительными оттепелями зима и умеренно теплое лето. Однако есть и рекордные температуры как зимой, так и летом. Например, в 1940 году температура зимой достигала минус 42°C, а летом 1946 года – плюс 38°C. В последние годы все чаще отмечается повышенная температура летом, достигающая плюс 30°C и более [1, 2]. К этому следует добавить, что тракторы, например «Беларус», используются в других регионах Европы, Азии, а также на других континентах, где температура окружающей среды значительно превышает расчетную для системы охлаждения.

Основная часть

Высокая температура окружающей среды в совокупности с нагрузочными режимами работы тракторного агрегата в летний период года способствуют перегреву дизеля и неспособности его выполнять требуемую работу. В зимний период температура охлаждающей жидкости системы охлаждения, соответственно, и тепловое состояние дизеля находятся в нижнем пределе, при котором экономичность его работы снижается. Это требует применения средств утепления дизеля. Для определения вероятности того, что дизель тракторного агрегата может переохладиться и перегреться, решим следующую задачу.

Трактор работает 12 месяцев в году с нагрузкой от 50 до 100 %. Средняя температура окружающей среды в году по месяцам изменяется в пределах от минус 25 до плюс 30°C. Определить вероятность и частоту появления событий, вызывающих переохлаждение и перегрев дизеля при условиях, приведенных в таблице 2.

Критическое состояние системы охлаждения (переохлаждение, перегрев) наступает тогда, когда состоятся независимые события. Переохлаждение имеет место в случае минимальной нагрузки (событие *A*) в совокупности с наибольшей минусовой температурой (событие *B*). Указанные события независимы.

Пересечение двух событий *A* и *B* представляет вероятность события *C*. Событие *C* и есть переохлаждение дизеля, запишем его в виде:

$$C = A \cap B.$$

Таблица 2 – Распределение нагрузки и температуры окружающей среды по месяцам года

Месяц года	Число дней работы в месяце	Средняя нагрузка тракторного агрегата, %	Число дней с критической нагрузкой*	Средняя температура окружающей среды, °С	Число дней с критической температурой*	Вероятность переохлаждения или перегрева дизеля, дней
Январь	25	50...70	-9	-6,5	-8	4,23
Февраль	24	50...70	-14	-5,9	-6	4,2
Март	26	60...80	-	-1,7	-	-
Апрель	29	90...100	+15	+5,7	-	-
Май	29	90...100	+17	+12,8	-	-
Июнь	26	80...90	-	+16,3	+6	-
Июль	26	80...100	+9	+18,0	+14	5,48
Август	30	90...100	+20	+16,7	+10	6,67
Сентябрь	30	90...100	+18	+11,7	-	-
Октябрь	27	80...90	-	+5,9	-	-
Ноябрь	26	70...80	-	+0,4	-	-
Декабрь	26	50...60	-14	-3,9	-11	6,16

Примечание – (-) – мин.; (+) – макс.

Вероятность переохлаждения дизеля определяется как

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B | A). \quad (1)$$

Перегрев дизеля имеет место при наибольшей температуре окружающей среды (событие D) в совокупности с наибольшей нагрузкой (событие E). Пересечение событий D и E определяет появление события F , то есть имеет место вероятность перегрева дизеля, запишем это как

$$F = D \cap E.$$

Вероятность перегрева рассчитывается по формуле:

$$P(DE) = P(D) \cdot P(E | D). \quad (2)$$

Выполним расчет вероятности появления указанных событий по данным, приведенным в таблице 2. Примем условие, что при малой нагрузке и низкой температуре окружающей среды возможно переохлаждение, а при максимальной нагрузке и высокой температуре окружающей среды возможен перегрев дизеля. При анализе условий, приведенных в таблице 2, принимается температура, отличающаяся от расчетной на величину $\pm 10^\circ\text{C}$. Расчетной температурой в зимний период времени принимается температура минус 25°C , в летний период времени – плюс 35°C .

Трактор в условиях низких температур в зимний период времени способен работать без дополнительных средств до температуры минус 25°C . В совокупности с минимальной нагрузкой температурные условия окружающей среды от минус 15°C способны привести к переохлаждению дизеля. Переохлаждение нарушает равновесное устойчивое состоя-

ние системы охлаждения по температурному режиму. Дизель адекватно реагирует на отклонение системы от равновесного теплового состояния и следствием является снижение мощности. Это явление соответствует принципу Ле-Шателье: «Внешнее воздействие, выводящее систему из устойчивого равновесия, стимулирует в ней процессы, стремящиеся ослабить результат этого воздействия» [3].

Физические процессы, происходящие в дизеле при снижении температурного режима, связаны с ухудшением рабочего процесса сгорания топлива, увеличением мощности механических потерь, вследствие чего мощность дизеля снижается.

Вероятность переохлаждения дизеля, рассчитанная по формуле (1), в течение года при заданных условиях эксплуатации тракторного агрегата равна

$$P(AB) = 0,114 \left(\frac{25}{62} \right) = 0,046.$$

Таким образом, за год эксплуатации общее суммарное количество дней возможного переохлаждения составляет

$$n_{\text{охл}} = 0,046 \cdot 324 = 14,9.$$

Средств регулирования теплоотдачи от дизеля в охлаждающую жидкость не существует, то есть уменьшить количество теплоты в системе охлаждения невозможно. Автоматическое регулирование теплового состояния дизеля возможно за счет термостата, обеспечивающего циркуляцию жидкости по малому кругу и исключая теплоотдачу от охлаждающих поверхностей радиатора. В этом случае теплота перераспределяется и используется для повышения теплового состояния массы дизеля. Работа дизеля длительное время с закрытым термостатом не является рациональной, так как это может привести при низких температурах окружающей среды к размораживанию и разрушению радиатора.

Для исключения переохлаждения дизеля при низких температурах на тракторе предусмотрены средства, уменьшающие отвод теплоты от радиатора. К ним следует отнести автоматически отключаемый вентилятор, шторку или жалюзи, устанавливаемые перед фронтом радиатора. Эти технические средства исключают или уменьшают расход воздуха через сердцевину радиатора и тем самым уменьшают количество теплоты, отводимое в окружающую среду. На тракторе также возможно капотирование дизеля и применение вспомогательных средств, обеспечивающих утепление дизеля по контуру. Поэтому при расчете количества теплоты, поступающей в охлаждающую жидкость системы охлаждения, какие-либо ограничения вследствие возможного переохлаждения не принимаются.

Вероятность перегрева, рассчитанная по формуле (2), в течение года при заданных условиях эксплуатации тракторного агрегата равна

$$P(DE) = 0,09 \frac{24}{63} = 0,034.$$

Следовательно, за год эксплуатации общее суммарное количество дней возможного перегрева составляет

$$n_{\text{пер}} = 0,034 \cdot 324 = 11.$$

При температуре окружающей среды плюс 25°C и выше в совокупности с максимальной нагрузкой возможен перегрев дизеля, что приводит к нарушению равновесного теплового устойчивого состояния системы по температурному режиму. Противодействия внешнему воздействию системы дизеля, как правило, приводят к снижению мощностных показателей. Следовательно, принцип Ле-Шателье, сформулированный при изучении физических систем, вполне универсален и применим при изучении технических систем.

Опираясь на данные множественных источников, отметим, что за последнее столетие отмечено увеличение среднегодовой температуры на планете. Особенно сильное потепление отмечается в последние три десятилетия, причем наибольший рост температуры характерен для зимнего периода года. Летом при одновременном повышении температуры наблюдаются тенденции к засушливости. За последние десятилетия возросло и количество экстремальных климатических явлений (засухи, заморозки, град, ураганы, ливни). Следовательно, вероятность перегрева дизеля трактора возрастает.

Перегрев дизеля наступает при начале кипения охлаждающей жидкости в системе. При применении низкотемпературной жидкости типа «Тосол» и давлении в системе охлаждения 0,065 МПа кипение жидкости начинается при температуре 107°C. Принимая во внимание, что рабочая температура жидкости составляет 93–98°C, температурный запас системы охлаждения составляет от 9 до 14°C в зависимости от рабочей температуры жидкости. Исследованиями авторов установлено, что повышение температуры окружающей среды на 1°C приводит к повышению температуры жидкости в системе охлаждения на 0,8°C. Таким образом, при верхнем пределе рекомендуемой рабочей температуры жидкости системы охлаждения 98°C начало кипения жидкости в системе охлаждения может наступить при повышении температуры окружающей среды на 11°C.

Технических средств, регулирующих или способствующих снижению теплового состояния дизеля при перегреве, на тракторе не существует. Перегрев требует немедленной остановки тракторного агрегата, продолжение работы при перегреве может привести к разрушению дизеля. Приведенный расчет показывает, что при работе тракторного агрегата даже при температуре окружающей среды ниже расчетной (плюс 35°C)

возможен перегрев дизеля. Поэтому при расчете теплоты, поступающей в охлаждающую жидкость, предусматривается запас по тепловой эффективности, то есть расчетное количество теплоты, которое может отвести система охлаждения в окружающую среду, принимается больше, чем требуется по тепловому балансу.

Заключение

Таким образом, решение приведенной задачи показывает, что при проектировании системы охлаждения необходимо принимать расчетное количество теплоты, поступающее в систему охлаждения несколько больше требуемого, чтобы проектируемая система охлаждения исключала возможный перегрев дизеля. Система охлаждения является вероятностной системой и зависит не только от ее параметров, но и ряда случайных факторов, оказывающих возмущающее воздействие на ее функционирование.

17.05.13

Литература

1. Макроклиматические районы земного шара с холодным и умеренным климатом. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей: ГОСТ 25870–83. – Введ. 01.07.84. – М.: Гос. комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, 1984. – 55 с.
2. Метеоцентр [Электронный ресурс] / Погода в России и мире, прогноз погоды от Метеоцентра. – М., 2008. – Режим доступа: <http://www.meteocenter.net>. – Дата доступа: 14.03.2008.
3. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика: в 10 т. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – 3-е изд., перераб. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1976. – Т. V. – Ч. 1. – 583 с.

УДК 621.431.7

В.Е. Тарасенко

(УО «БГАТУ»,

г. Минск, Республика Беларусь)

А.А. Жешко

(РУП «НПЦ НАН Беларуси по

механизации сельского хозяйства»,

г. Минск, Республика Беларусь)

ЭКСПЛУАТАЦИЯ

ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

РАСТИТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Введение

Широкое использование мобильных тяговых и транспортных средств является характерной чертой наступившего столетия.

Рост энерговооруженности сельского хозяйства при эксплуатации тракторов, автомобилей, комбайнов и другой техники привел к интенсивному использованию нефтесодержащих видов топлива и к активному

их влиянию на экологическое состояние природы. Выбросы газообразных составляющих и попадание жидких фракций на почву приносят значительный ущерб природе [1].

Поиск заменителей традиционных видов топлива для транспорта и тракторной техники проводится в различных направлениях, одним из которых является использование растительных масел как в переработанном виде, так и в натуральном или в виде смесей с дизельным топливом. По результатам исследований в ряде стран, одним из видов сырья для производства топлива для двигателей были предложены растительные масла, которые получают из масличных культур (подсолнечника, соевых бобов, земляных орехов, цитрусовых, хлопка, рапса, листьев эвкалипта и других).

Для нашей климатической зоны наиболее приемлемым является использование в качестве топлива масел из рапса, который имеет стабильную урожайность на наших почвах. Вместе с тем для его широкого применения требуется решение ряда проблем, в том числе и технических [1, 2].

Направления использования растительных масел в качестве топлива дизельных двигателей различны, в том числе:

- смеси растительных масел с другим топливом;
- эфирные виды топлива из растительных масел.

Обработка масел спиртами позволяет получать метиловый, этиловый и бутиловый эфиры с физико-химическими свойствами, близкими к нефтяному дизельному топливу.

Биодизель – это биотопливо на основе растительных или животных жиров (масел), а также продуктов их этерификации. Растительное масло переэтерифицируется метанолом, реже – этанолом или изопропиловым спиртом (приблизительно в пропорции на 1 т масла 200 кг метанола с добавлением гидроксида калия или натрия) при температуре 60 °С и нормальном давлении. Для получения качественного продукта необходимо выдержать ряд жестких требований.

Вопрос использования растительных масел в качестве топлива двигателей внутреннего сгорания в зарубежных странах решается в зависимости от соотношения цен на традиционные виды топлива (дизельные, бензин) и из растительных масел, а также с учетом требования максимального использования собственных ресурсов топлива и доведения до минимума зависимости от конъюнктуры импорта.

Работы по поиску видов топлива для двигателей внутреннего сгорания проводятся во многих странах мира. Основной целью является получение топлив, по физико-химическим свойствам и энергетическим возможностям приближенных к стандартным нефтяным видам топлива.

Для Беларуси, лишь в незначительной степени обеспечивающей потребности в нефтепродуктах за счет собственной нефти, проблема

поиска альтернативных видов топлива, и в первую очередь – для двигателей, очень актуальна как с экономической, так и с экологической точек зрения.

Изменение отношения к использованию топлив из растительных масел актуально, необходимо в интересах нынешнего и будущего поколений людей.

Основная часть

Особенности работы дизеля на растительном топливе. Влияние растительных топлив из масел различных культур на работу и техническое состояние дизельных двигателей примерно одинаково. Отмечаются увеличение нагара и сажевых отложений на деталях поршневой группы, снижение мощности двигателя в пределах 8–10 % и другие недостатки. Из всех масличных культур наибольшее применение имеет рапс, энергетические характеристики масла которого позволяют получать достаточно эффективные виды растительного топлива [1].

Особенности протекания рабочего процесса дизеля автотракторного типа, работающего на растительном топливе, определяются, прежде всего, отличительными физико-химическими свойствами растительного топлива и его смесей с дизельным топливом. Особо важную роль играет высокая вязкость растительных масел. Рапсовое масло, к примеру, значительно более вязкое, чем дизельное топливо. Оно состоит из относительно крупных молекул с длинными цепочками жирных кислот. Высокая вязкость, с одной стороны, влияет на фильтруемость топлива, а с другой – вызывает чрезмерные механические нагрузки в топливных насосах и насосах высокого давления [3].

Повышенная вязкость масла и его смеси с дизельным топливом способствует повышению количества впрыскиваемого топлива вследствие уменьшения количества утечек его через зазоры прецизионных пар топливоподающей аппаратуры в ходе нагнетания, возрастания угла опережения впрыскивания. В исследованиях [4, 5] отмечается ухудшение качества распыливания топлива, увеличение неоднородности размеров и среднего диаметра капель, а также глубины проникновения струи в воздушную среду.

Результаты [5] исследования биодизельного цикла показали: отличия физико-химических свойств и характеристик топливодачи предопределили качественное несовпадение в протекании рабочего процесса биодизеля и традиционного дизеля.

Данные обработки индикаторных диаграмм показали, что процесс подготовки биодизельной смеси к воспламенению удлиняется, о чем свидетельствует возрастание продолжительности индукционного периода, а самосгорание (тепловыделение) в объемно-кинетической фазе рабочего цикла протекает более вяло и затянуто по времени. Несколько

возрастает и продолжительность основной (диффузионной) фазы сгорания. Увеличение длительности процесса сгорания в целом, очевидно, является причиной возрастания тепловых потерь в биодизельном цикле, на что указывает повышение удельного расхода топлива в среднем на 3 % по сравнению с дизельным циклом.

Биодизель легко растворяет старые отложения нефтяного дизельного топлива в топливных баках, топливопроводах, что может привести к засорению топливных фильтров. Изготовители тракторов рекомендуют провести замену фильтров после 2–3 заправок баков растительным топливом.

Возможно «разбухание» топливных шлангов и уплотнителей, изготовленных из пластмасс. При использовании топлива биодизель рекомендуются топливные шланги и другие детали, контактирующие с топливом, изготавливать из фторкаучука или эластичных пластмасс на основе полиамида или полиэстерауретана.

При попадании несгоревшего растительного топлива в масляный картер, что возможно при длительной работе двигателя при большой нагрузке, происходит снижение вязкости масла. Изготовители двигателей рекомендуют уменьшать периодичность смены масла в 2 раза.

Топливо биодизель легко растворяет лаковые покрытия, поэтому рекомендуется при попадании топлива на соответствующие места сразу его смывать.

Замена дизельного топлива на биотопливо существенно улучшает экологические качества дизеля. Выброс с отработавшими газами оксидов азота снижается на номинальном режиме работы дизеля на 15 %, сажи – на 35 %, газообразных токсичных продуктов неполного сгорания (СО и СН) – в среднем на 19 %. Подобное улучшение экологических качеств, достигнутое без применения специальных антиоксидантных устройств, обуславливает целесообразность проведения дальнейших работ по доработке рабочего процесса биодизеля [1].

Несмотря на многие преимущества использования растительного топлива, до настоящего времени еще не найдены рациональные методы организации рабочего процесса с использованием топлив подобного вида. Для обеспечения эффективной работы дизеля на биотопливе и устранения негативных последствий сгорания биотоплива в цилиндре дизеля необходим комплекс мероприятий, включающих теоретические и экспериментальные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. Приоритетным направлением, на наш взгляд, является обоснование параметров топливоподачи. Здесь должны быть теоретически и экспериментально определены оптимальные значения давления впрыска, хода плунжера и закона подачи; обоснованы форма, размеры и количество топливных факелов форсунки, прежде всего для неразделенных камер сгорания.

Опыт использования растительного топлива из рапса за рубежом. Значительный опыт в области применения топлив из растительных масел накоплен в Германии.

Топливо биодизель в Германии получают из масличной культуры рапса. Рапс выращивается, как правило, на выведенных из севооборота земельных угодьях. Посевы рапса повышают биологическую активность, улучшают структуру почвы. Рапс выполняет функции очистителя почвы от азота, что способствует снижению нитратной нагрузки на грунтовые воды [6].

При возделывании технического рапса не требуются значительные расходы на удобрения, средства защиты. Из рапса получают от 1000 до 1200 литров рапсового масла с одного гектара [6].

Разрешение на использование растительного топлива биодизель дали многие мировые тракторостроительные фирмы, в том числе «Fendt», «Case», «John Deere», «Massey-Ferguson», «Renault», «Same», «Steyr» и другие. Фирма «John Deere» – на отдельные модели тракторов с гарантией 2 года или 1500 рабочих часов по наработке. Некоторые фирмы разрешали использовать топливо биодизель на новых моделях тракторов без ограничения гарантии.

По причине высокой вязкости рапсового масла мембранные насосы, используемые для подачи топлива из бака к насосу высокого давления, менее подходят для работы с рапсовым маслом, чем поршневые насосы. Поэтому в Германии некоторые компании, занимающиеся переоборудованием техники, устанавливают дополнительный подающий насос, позволяющий прокачивать масло сквозь фильтр. Системы впрыска также должны быть адаптированы для работы на альтернативном топливе. В особенности это касается распределительных топливных насосов высокого давления (Lucas, Bosch, Stanadyne), которые смазываются топливом.

В Германии существует два принципиально различных метода переоборудования двигателей для работы на биотопливе, один из них позволяет работать исключительно на рапсовом масле (используется только один вид топлива). Второй предусматривает запуск двигателя трактора на дизельном топливе, а работу – на рапсовом топливе (применение двух видов топлива). Производители однотопливных систем – «Vereinigten Werkstaetten fuer Pflanzenoeltechnologie» («VWP») в Алерсберге, «Siegfried Hausmann» в Вельферсхаузен и компания «Eoil» из Альфельд. Компания «VWP» специализируется исключительно на переоснащении двигателей Deutz с топливной системой насос-топливопровод-форсунка. Особенность переоборудования двигателей – наличие электрической системы нагрева форсунок и топлива (фирмы «VWP» и «Siegfried Hausmann») [3].

Интерес к рапсу как к энергетической культуре в Финляндии проявляется разработчиками сельскохозяйственных тракторов. Исследовательский центр «Vacola» совместно с фирмой «Valmet» и исследовательской лабораторией по новым видам топлива провели исследования по использованию рапсового масла в качестве топлива на тракторах моделей «Valmet» и «Volvo bm valmet».

В качестве топлива использовалась смесь рапсового масла и дизельного топлива, обозначаемая «R-33» и состоящая из 1/3 рапсового масла и 2/3 дизельного топлива.

Испытаниями установлено, что энергетическая эффективность рабочей смеси рапсового масла и дизельного топлива в принятом соотношении достаточная при применении ее в качестве топлива дизельных двигателей. Мощностные и экономические параметры дизелей при работе на смеси R33 незначительно отличаются по сравнению с работой дизеля на дизельном топливе.

Финскими исследователями проведен анализ состояния цилиндропоршневой и кривошипной групп, деталей клапанного механизма, распылителей форсунок дизеля трактора V605 после 1056 часов работы на смеси R33 [4]. Отказов дизеля в течение испытаний не отмечалось, не замечено значительного износа деталей. На головках поршней слой нагара не более 1,0 мм, кольца подвижны, хорошо очищаются. Нагар, толщина которого не превышает 1,0 мм, накопился в верхних частях гильз, распылителей форсунок. На клапанах не отмечено износа, дефекты также отсутствуют, имеются тонкий слой нагара на выпускных клапанах и тонкий слой сажи на впускных клапанах и гнездах клапанов. Коленчатый вал, вкладыши коренные и шатунные в хорошем состоянии.

Экспертизой деталей двигателя трактора «Valmet» после 700 ч работы отмечено отсутствие значительных износов, все детали кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов находятся в исправном состоянии, слой нагара – 1...2 мм. Нагар тонкий, вязкий, темного цвета. Слой сажи формируется на впускном клапане и во всасывающем отверстии гнезда клапана. Износ вкладышей за период испытаний находится в пределах нормы.

Двигатели тракторов «Valmet» отработали без специальной доработки на выполнении сельскохозяйственных и лесных работ на смеси рапсового масла и дизельного топлива соответственно 1000 и 700 часов. Техническое состояние деталей двигателей без видимых повреждений, значительных износов, толщина слоя нагара и сажи не превышает 1...2 мм. Действие смеси R33 примерно такое, как и дизельного топлива. При применении смеси R33 нет необходимости вносить какие-либо изменения в двигателе.

Таким образом, в смеси с дизельным топливом в соотношении 1:3 рапсовое масло может использоваться в качестве топлива дизельного

двигателя. Использование в качестве топлива смеси рапсового масла и дизельного топлива обеспечивает заданные мощностные и экономические показатели дизеля (отклонение $\pm 4 \dots 6$ %), способствует несколько повышенному нагарообразованию и отложению сажевых накоплений на цилиндрической группе, что, однако, не нарушает работоспособности дизеля.

Исследования финских ученых [4] подтверждают возможность применения рапсового масла в качестве топлива дизельных двигателей. Рапсовое масло является альтернативой в обеспечении энергетическим сырьем сельскохозяйственного производства.

Альтернативные виды топлива для тракторов и автомобилей в Швейцарии на основе рапсового масла изучались Исследовательским институтом сельскохозяйственной экономики и техники. Исследования топлива из рапсового масла начаты в 1989 году [7]. В качестве топлива принят рапсовый метил-эфир, сокращенно RME, произведенный в австрийском институте сельскохозяйственной техники (г. Весельбург).

Стендовыми испытаниями определены параметры мощности, удельного расхода топлива, эмиссии выхлопных газов при работе дизелей на растительном топливе RME и дизельном топливе. Приведенные в работе [7] мощностные характеристики $N_e = f(n_e)$ показывают, что на частичных скоростных режимах на тракторах Same, Steyr отмечено некоторое повышение мощности при работе на RME по сравнению с дизельным топливом, на номинальном скоростном режиме мощности выравниваются. На тракторе John Deere отмечено снижение мощности при работе на RME на частичных режимах и также ее выравнивание на номинальном режиме. Отклонения значений мощности при работе на RME по сравнению с дизельным топливом на испытуемых дизелях незначительны, поэтому заключение [7] ученых: «Мощность остается такой же», – следует считать справедливым.

Увеличение удельного расхода топлива при работе на RME составляет от 9,5 до 17,3 %. Среднестатистическое значение увеличения и удельного расхода топлива на испытуемых машинах равно 12,8 %. Увеличение расхода топлива пропорционально меньшей теплотворной способности топлива RME по сравнению с дизельным топливом.

Испытание дизелей различной конструкции и назначения показали, что метил-эфирное топливо из рапсового масла RME является альтернативой дизельному топливу.

Исследования топлива из рапса в Беларуси. Работы по использованию растительного масла в качестве топлива дизельных двигателей в Беларуси проводились на Минском тракторном заводе. Основная цель работ – создание двухтопливных дизелей тракторов «Беларус», способных работать на традиционном нефтяном топливе и альтернативном растительном.

Использование рапсового масла в качестве моторного топлива обрабатывалось по двум направлениям: первое – смесь рапсового масла с дизельным топливом в соотношении 75 % рапсового масла и 25 % дизельного топлива; второе направление – моторное топливо из рапсового масла. По этому направлению проводилась работа с моторным топливом, полученным из Польши, и топливом, полученным в результате совместных работ с НПО «Транстехника» и лабораторией термодинамики органических веществ БГУ [8].

Результаты испытаний дизеля Д-243 при работе на биотопливе, полученном в Польше, приведенные в таблице 3, показали, что при переводе дизеля на биотопливо мощность уменьшается на 3,6 кВт, или на 8,67 %, при частоте вращения 1700 мин.⁻¹.

Таблица 3 – Некоторые показатели работы дизеля Д-243 при использовании биотоплива, полученного в Польше

Наименование параметров	Вид топлива	
	дизельное марки «Л»	биотопливо (Польша)
Мощность, кВт	41,45	37,87
Частота вращения, мин. ⁻¹	1702	1700
Удельный расход топлива, г/кВт·ч	221,5	–
Условия испытаний: температура, °С	25	25

Стендовые испытания биотоплива «БДТ-1», произведенного в республике, проводились также на дизеле Д-243.

Дизель Д-243 имел наработку в лабораторных условиях 800 часов, по мощностным и экономическим параметрам соответствовал техническим условиям ТУ 23.1. ЭД 1. 90–95.

Физико-химические исследования показали, что биотопливо «БДТ-1» по основным показателям соответствует дизельному топливу марки «Л». Показатели биотоплива «БДТ-1» и биотоплива других стран отличаются по цетановому числу, кинематической вязкости, другие показатели сопоставимы.

Мощностные и экономические показатели дизеля Д-243 при работе на биотопливе «БДТ-1» и дизельном топливе марки «Л» приведены в таблице 4.

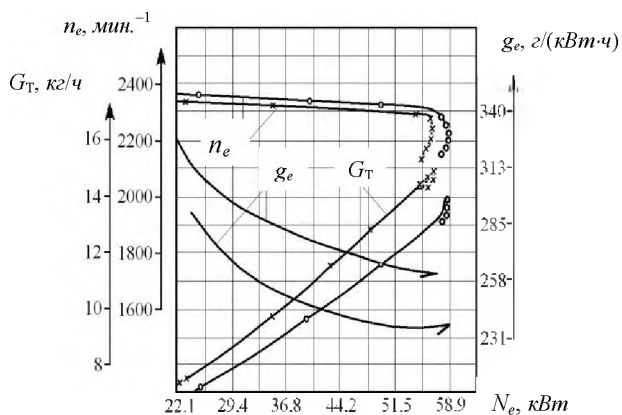
Мощность дизеля Д-243 при работе на биотопливе «БДТ-1» уменьшается на 2,01 кВт, или на 3,4 %, при одинаковых условиях испытаний. Удельный расход топлива при мощности 56,52 кВт увеличивается на 27,8 г/кВт·ч, или на 11,8 %. Температура выхлопных газов находится в пределах 510...530°С.

Работа дизеля Д-243 оценивалась по регуляторным характеристикам при работе на биотопливе и дизельном топливе. Параметры дизеля при снятии регуляторной характеристики приведены на рисунке 9.

Таблица 4 – Некоторые показатели работы дизеля Д-243 при использовании биотоплива, полученного в Беларуси

Наименование показателя	Вид топлива	
	дизельное «Л»	биотопливо «БДТ-1»
Мощность эксплуатационная, кВт	58,53	56,52
Частота вращения, мин. ⁻¹	2230	2230
Расход топлива, кг/ч	13,75	14,85
Удельный расход топлива, г/кВт·ч	234,92	262,7
Максимальная частота вращения, мин. ⁻¹	2362	2368
Оценочный удельный расход топлива, г/кВт·ч	247,66	276,35
Температура выхлопных газов, °С	530	510
Условия испытаний: температура, °С:		
окружающей среды;	25	25
охлаждающей жидкости;	85	86
смазочного масла;	95	96
топлива в головке насоса	52	54

Из характеристик следует, что дизель Д-243 развивает максимальную мощность при частоте вращения $n_e = 2230 \text{ мин.}^{-1}$, при работе на биотопливе $N_e = 56,52 \text{ кВт}$. Мощность дизеля при работе на биотопливе «БДТ-1» уменьшается на 3,43 %, удельный расход топлива увеличивается на 11,8 %.



○ — биотопливо «БДТ-1»; * — дизельное топливо марки «Л»

Рисунок 9 – Регуляторные характеристики дизеля Д-243

Мощностные и экономические показатели дизеля Д-243 при работе на биотопливе «БДТ-1» и дизельном топливе в зависимости от угла опережения подачи топлива приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Некоторые показатели работы дизеля Д-243 при использовании биотоплива и дизельного топлива

Угол опережения, град. до ВМТ	Биотопливо «БДТ-1»			Дизельное марки «Л»		
	N_e , кВт	n_e , мин. ⁻¹	g_e , г/кВт·ч	N_e , кВт	n_e , мин. ⁻¹	g_e , г/кВт·ч
23	56,38	2200	258,6	58,9	2200	239,6
26	56,51	2200	261,9	58,22	2200	234,1
29	54,62	2200	273,6	56,29	2200	239,3

При работе дизеля на биотопливе при увеличении угла опережения подачи топлива с 23 до 26° и увеличении удельного расхода топлива на 1,28 % мощность увеличивается на 0,23 %. При работе на дизельном топливе увеличение угла опережения подачи топлива с 23 до 26° уменьшает мощность на 1,15 % и удельный расход топлива на 2,29 %. По удельному расходу топлива при работе дизеля на биотопливе «БДТ-1» наиболее приемлемым является угол опережения подачи топлива 23°, а при работе на дизельном топливе марки «Л» – 26°.

Биотопливо «БДТ-1» обеспечивает работу дизеля Д-243 в серийном исполнении. При работе на биотопливе мощность дизеля уменьшается на 3–4 %, удельный расход топлива при эксплуатационной мощности увеличивается до 11,8 %. При работе дизеля на рабочей смеси рапсового масла и дизельного топлива марки «Л» в пропорции 1:1 по объему эксплуатационная мощность уменьшается на 1,5 %, удельный расход топлива увеличивается до 6,4 %.

Биотопливо «БДТ-1» из рапсового масла является альтернативным видом топлива для дизелей тракторов Минского тракторного завода с незначительным изменением мощностных и экономических показателей. При работе на биотопливе дизель Д-243 сохраняет мощностные и экономические параметры. При переводе работы дизеля с дизельного топлива на биотопливо «БДТ-1» мощность изменилась на 2,0 кВт, или на 3,4 %. Удельный расход топлива увеличился на 28,6 г/кВт·ч, или на 11,8 %.

При работе дизеля Д-243 на рабочей смеси рапсового масла и дизельного топлива марки «Л» в отношении 1:1 мощность уменьшилась на 0,88 кВт, или на 1,5 %, при увеличении удельного расхода топлива на 14,96 г/кВт·ч, или на 6,4 %.

По результатам стендовых испытаний дизеля Д-243 была разработана схема топливоподачи трактора «Беларус-80.1» (рисунок 10) для работы на смеси дизельного топлива и рапсового масла в соотношении 1:3. Система топливоподачи собрана из комплектующих, разработанных

и изготовленных на Минском тракторном заводе. Эксплуатационные испытания макета трактора «Беларус-80.1», приспособленного для работы на растительном рапсовом масле в смеси с дизельным топливом, подтвердили, что рапсовое масло в смеси с дизельным топливом обеспечивает эффективную работу дизеля и является одним из способов экономии нефтяных видов топлива.

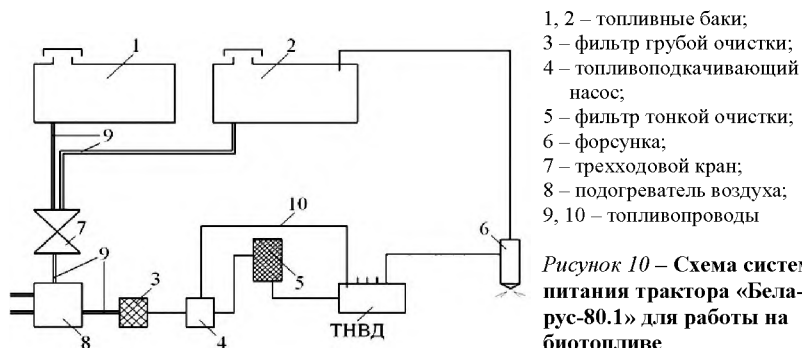


Рисунок 10 – Схема системы питания трактора «Беларус-80.1» для работы на биотопливе

Дизель Д-243 достаточно приспособлен для работы на топливах различного фракционного состава. Одним из факторов лучшей приспособляемости дизеля Д-243 для работы на смеси растительного масла и дизельного топлива является конструкция камеры сгорания в поршне, сферическая поверхность которой повышает интенсивность движения воздуха, способствует лучшему смесеобразованию при подготовке горючей смеси.

Заключение

1. Топливо из рапсового масла для дизелей тракторов в полной мере является альтернативой и одним из способов экономии нефтяных видов топлива. Основное преимущество топлив из растительных масел перед нефтяным дизельным состоит в том, что источники их получения – возобновляемые, оказывающие меньшее негативное воздействие на окружающую среду.

2. Работа дизеля на топливе из растительного масла получила экспериментальное подтверждение. Различные методы использования рапсового масла в качестве топлива дизелей показывают, что наиболее приемлемый оптимальный способ не определен, как нет и научных исследований и обоснований рабочего процесса дизеля при использовании этого вида топлива.

3. Особенность компоновки и два топливных бака, размещенных на тракторе, обеспечивают возможность иметь два вида топлива. Двухтопливный дизель на тракторе в условиях возможного дефицита дизельного топлива при использовании рапсового масла может обеспечить бес-

перебойную работу тракторной техники в особенно важные для сельскохозяйственного производства периоды.

4. Проблема использования рапсового масла в качестве топлива получит завершающий характер, когда будут выполнены работы по конверсии дизелей для работы их на растительных видах топлива.

17.05.13

Литература

1. Использование биотоплива при работе дизельных двигателей в сельском хозяйстве: монография // В.А. Войтов [и др.]. – Минск: ГИВЦ Минсельхозпрода, 2012. – 116 с.
2. Якубович, А.И. Экономия топлива на тракторах: монография / А.И. Якубович, Г.М. Кухаренок, В.Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2009. – 229 с.
3. Доверие решает все. Переоборудование для работы на рапсовом масле // Сельхозтехника. – С. 76–79.
4. Шеффер, Винфрид. Растительные масла как топливо для дизельных моторов: доклад-исследование № 42 / Винфрид Шеффер, Вейко Луоме, Туомо Палва, Симо-Пекка Пормала, Юкка Ахокас; перевод с финского. – Вакола, 1986.
5. Лабораторные исследования работы дизельного двигателя Д-243 трактора МТЗ-80/82 при переводе с дизельного топлива на биотопливо марки «БДТ-1» из рапсового масла: отчет ПО МТЗ. – Минск, 1995.
6. Scharmer, K. Umweltauswirkungen Wirtschaftlichkeit Energiebilanz / K.Scharmer. UFOp. Projekt-Nr. 530/951. August 1995.
6. Wolfensberger, Ulrich. Rapeseed merhylester as a Fuel. Measurements and experiences in Switzerland / Ulrich Wolfensberger. OE CD test engineers conference. 4 to 8 October 1993.
7. Технично-экономическое обоснование производства на сырьевой базе республики нового вида биологического моторного топлива (рапсовое масло). Заключительный отчет ГБ-8-91-95. – Минск, 1994.

УДК 631.431

А.Н. Орда, В.А. Шкляревич

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

А.С. Воробей

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

РЕЗУЛЬТАТЫ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ НОР- МАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЧВЕ ПОД КОЛЕСОМ МЕТОДОМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Введение

Определение нормальных напряжений в почвенном массиве под воздействием ходовых систем имеет особо важное значение для оценки влияния параметров и компоновки ходовых систем, режимов работы поч-

вообрабатывающих агрегатов на процессы деформации почвы и слеодообразования. Результаты эксперимента по определению нормальных напряжений в почве под колесом, проведенного с помощью методов физического моделирования, могут быть использованы при разработке новых конструкций ходовых систем и рекомендаций по эксплуатации почвообрабатывающих агрегатов, обеспечивающих допустимый уровень их воздействия на почву, с применением обоснованных критериев подобия.

Основная часть



Рисунок 11 – Стенд для исследования взаимодействия колес с почвой

Экспериментальные исследования проводились методом физического моделирования на базе почвенного канала собственной конструкции (рисунок 11). Установка представляет собой контейнер призматической формы, заполненный почвой. В верхней части контейнера в тележке установлено колесо с шиной типоразмера 4,5–8, которое имеет возможность перемещаться по поверхности

почвы в горизонтальном направлении. Вертикальное нагружение колеса производится при помощи грузов, устанавливаемых на ось колеса. Ось колеса – разъемная, что позволяет устанавливать различные типоразмеры колес, имеющие разные посадочные размеры. Перемещение тележки осуществляется при помощи троса и ручной лебедки. Основание контейнера моделирует плотную плужную подошву. Оно спроектировано под наклоном (10°), что позволяет в рамках одного опыта зарегистрировать давление на плужную подошву при различной толщине верхнего рыхлого слоя почвы. Это дает возможность снизить погрешность эксперимента, возникающую вследствие неравномерности свойств почвы.

Для определения напряжений в почве под колесом установлены гидравлические датчики собственной конструкции, представляющие собой эластичные резервуары (рисунок 12), заполненные жидкостью (водой), каждый из которых соединен с эластичной прозрачной трубкой – пьезометром, установленным на стенде для регистрации показаний (рисунок 13). Предусмотрено размещение десяти таких датчиков в канале одновременно, при воздействии на них уровень жидкости в пьезометрах изменяется и может быть зарегистрирован. Размеры трубок позволяют устанавливать гидравлические датчики в любом месте канала.

Для компенсации изменения уровня жидкости предусмотрены специальные поршневые компенсирующие устройства, которые позволяют уменьшить или увеличить уровень жидкости в каждой трубке.



Рисунок 12 – Гидравлические датчики

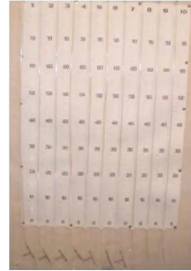


Рисунок 13 – Стенд с пьезометрами для регистрации показаний гидравлических датчиков

Целью проведенных экспериментальных исследований было изучение влияния нагрузки на колесо G , глубины расположения датчиков h_d , расстояния от датчиков до колеса z_d в поперечной плоскости к траектории движения колеса и толщины верхнего рыхлого (пахотного) слоя почвы H на напряженное состояние почвы под воздействием колеса (рисунок 14).

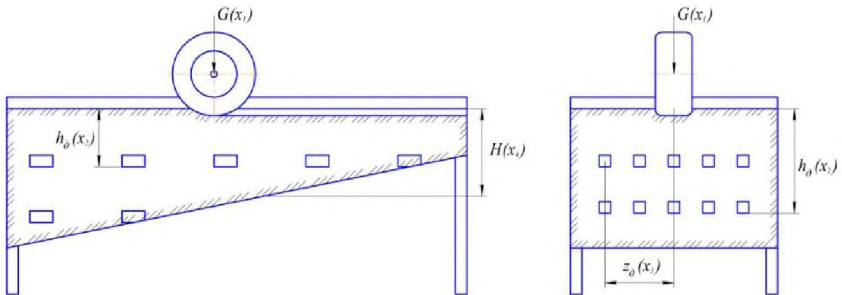


Рисунок 14 – Расположение датчиков давления в стенде для исследования взаимодействия колес с почвой

При планировании и проведении исследований использовался метод экстремального эксперимента, который в настоящее время является наиболее распространенным. Проведение такого эксперимента предполагает получение зависимости изучаемого признака от ряда факторов:

$$y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

где y – критерий отклика, по которому оценивается изучаемый процесс;
 x_1, x_2, \dots, x_n – независимые переменные (факторы), которыми можно варьировать.

В качестве критерия отклика, характеризующего процесс уплотнения почвы движителем почвообрабатывающего агрегата, было выбрано нормальное напряжение σ в почве, изменяющееся после прохода колеса по поверхности почвы. Степень воздействия колеса на определенный слой почвы оценивали по величине напряжений на глубине нахождения заданного слоя. Измерение напряжений в почве производили с помощью гидравлических датчиков непосредственно как под самим колесом, так и в стороне от него. Напряжение определяли косвенным методом по изменению высоты столба жидкости в трубках регистрирующих устройств – пьезометрах (см. рисунок 13).

При обработке эксперимента в качестве отклика использовалась величина, пропорциональная фактическому изменению нормального напряжения в месте установки датчика, рассчитываемая по формуле [1]:

$$\Delta y = \rho g (y_{\max} - y_n), \quad (2)$$

где ρ – плотность жидкости (принимали $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$);

g – ускорение свободного падения (принимали $g = 9,81 \text{ м/с}^2$);

y_{\max} – максимальный уровень жидкости в пьезометрах при наезде колеса на датчик, м ;

y_n – уровень жидкости в пьезометрах, соответствующий напряжению от веса почвы над датчиком, м .

Величина, определяемая по формуле (2), фактически соответствует избыточному давлению в датчиках, возникающему при прохождении над ними нагруженного колеса.

Для проведения эксперимента были выбраны четыре фактора, оказывающих наибольшее влияние на рассмотренный выше параметр отклика (по априорным данным) и являющихся минимально необходимыми, исходя из целей исследования: нагрузка на колесо G , глубина расположения датчиков h_0 , расстояние от датчиков до колеса z_0 в поперечной плоскости к траектории движения колеса и толщина верхнего рыхлого слоя почвы H .

Для исследования совместного влияния указанных факторов на величину отклика с помощью теории подобия была реализована матрица симметричного рототабельного композиционного равномер-плана для проведения полного факторного эксперимента типа 2^4 [2], в которой натуральные значения факторов заменены на предложенные ниже критерии подобия.

Искомую функцию отклика попытаемся описать с помощью модели, представляющей собой полином четвертой степени:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{124}x_1x_2x_4 + b_{134}x_1x_3x_4 + b_{234}x_2x_3x_4 + b_{1234}x_1x_2x_3x_4. \quad (3)$$

Согласно свойствам полного факторного эксперимента типа 2^4 , было проведено шестнадцать серий опытов. Следует отметить, что из теории планирования эксперимента [2] известно следующее условие: число проводимых опытов равняется полному числу всех возможных эффектов модели (линейных эффектов и эффектов взаимодействия), которых, согласно зависимости (3), также шестнадцать.

По результатам эксперимента по определению напряжений в почве под колесом была получена следующая математическая модель:

$$y = 3,49 + 1,21x_1 - 1,77x_2 - 2,08x_3 - 0,14x_4 - 0,58x_1x_2 - 0,7x_1x_3 + 1,61x_2x_3 + 0,04x_2x_4 + 0,04x_3x_4 - 0,55x_1x_2x_3. \quad (4)$$

На основании критериев подобия, предложенных с применением теории моделирования для процессов слеодообразования и уплотнения почвы ходовыми системами [3], были получены следующие критерии подобия для проведенного эксперимента:

$$\frac{\Delta y}{\sigma_{ymp}}, \frac{G}{BLp_0}, \frac{h_0}{B}, \frac{z_0}{B}, \frac{H}{B}, \quad (5)$$

где Δy – избыточное давление в датчиках, возникающее при прохождении над ними нагруженного колеса, Па;

σ_{ymp} – напряжение, при котором возникают только упругие деформации, Па;

G – нагрузка на колесо, Н;

L – длина пятна контакта колеса с почвой, м;

B – ширина пятна контакта колеса с почвой, м;

h_0 – глубина расположения датчиков в почве, м;

z_0 – расстояние от датчиков до колеса в поперечной плоскости к траектории движения колеса, м;

H – толщина верхнего рыхлого слоя почвы, м.

Преобразуем уравнение (4), которое записано в кодированных значениях факторов, в уравнение регрессии с натуральными значениями факторов с учетом коэффициентов подобия, предложенных в зависимости (5).

$$\begin{aligned} \frac{\Delta y}{\sigma_{ymp}} = & 0,498 + 259,2 \frac{G}{BLp_0} - 0,84 \frac{h_0}{B} + 0,163 \frac{z_0}{B} - 0,362 \frac{H}{B} - \\ & - 66,41 \frac{G}{BLp_0} \cdot \frac{h_0}{B} - 138 \frac{G}{BLp_0} \cdot \frac{z_0}{B} - 0,097 \frac{h_0}{B} \cdot \frac{z_0}{B} + \\ & + 0,058 \frac{h_0}{B} \cdot \frac{H}{B} + 0,058 \frac{z_0}{B} \cdot \frac{H}{B} + 38,95 \frac{G}{BLp_0} \frac{h_0}{B} \cdot \frac{z_0}{B}. \end{aligned} \quad (6)$$

На основании уравнения регрессии (6), полученного с учетом коэффициентов подобия, построим поверхности отклика (рисунки 15–19).

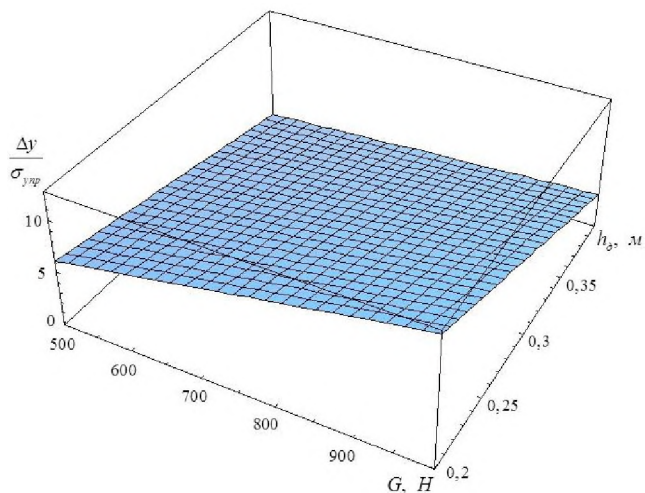


Рисунок 15 – Влияние нагрузки на колесо и глубины расположения датчиков на нормальное напряжение в почве под колесом
 ($z_0 = 0$; $H = 0,2$ м; $B = 0,12$ м; $L = 0,2$ м; $p_0 = 500$ кПа)

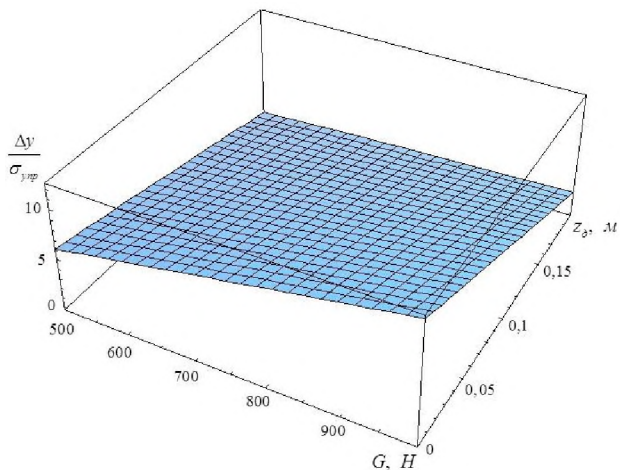


Рисунок 16 – Влияние нагрузки на колесо и расстояния от датчиков до колеса в поперечной плоскости на нормальное напряжение в почве под колесом
 ($h_0 = 0,2$ м; $H = 0,2$ м; $B = 0,12$ м; $L = 0,2$ м; $p_0 = 500$ кПа)

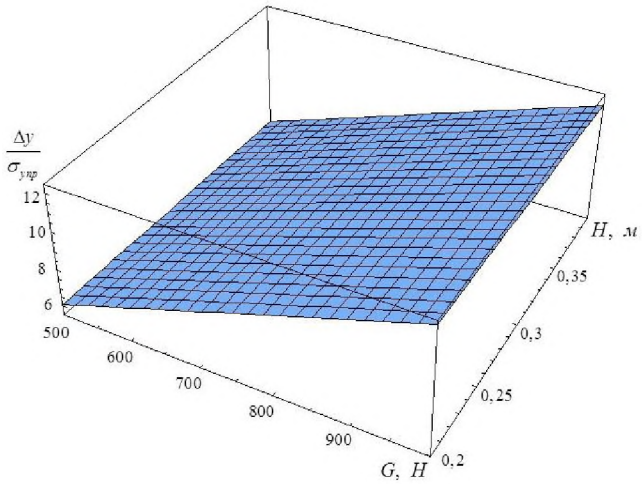


Рисунок 17 – Влияние нагрузки на колесо и толщины верхнего рыхлого слоя почвы на нормальное напряжение в почве под колесом
 ($h_0 = 0,2 \text{ м}$; $z_0 = 0$; $B = 0,12 \text{ м}$; $L = 0,2 \text{ м}$; $p_0 = 500 \text{ кПа}$)

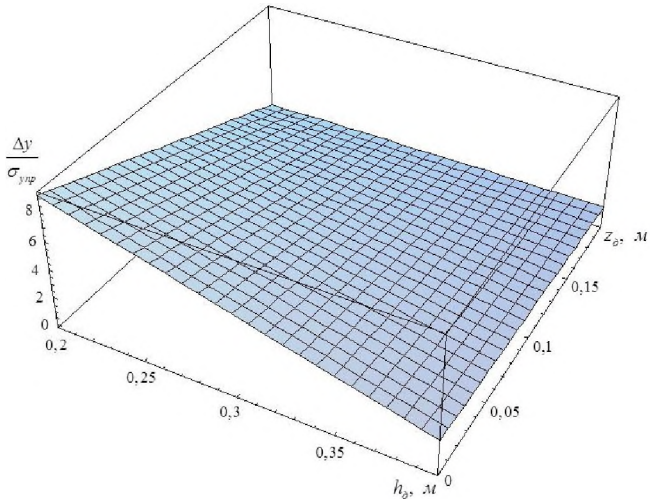


Рисунок 18 – Влияние глубины расположения датчиков и расстояния от датчиков до колеса в поперечной плоскости на нормальное напряжение в почве под колесом
 ($G = 750 \text{ Н}$; $H = 0,2 \text{ м}$; $B = 0,12 \text{ м}$; $L = 0,2 \text{ м}$; $p_0 = 500 \text{ кПа}$)

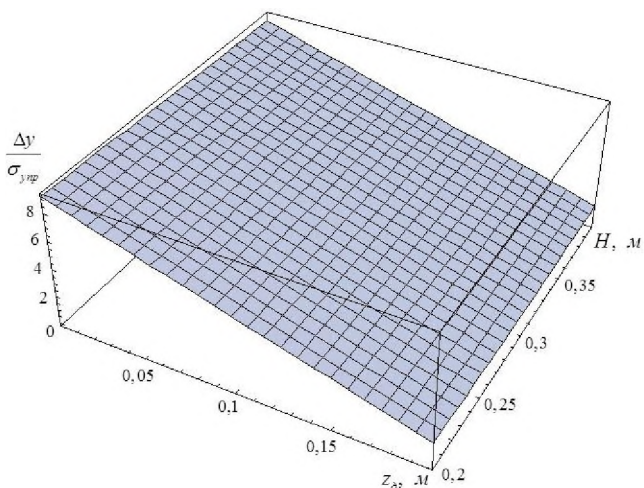


Рисунок 19 – Влияние расстояния от датчиков до колеса в поперечной плоскости и толщины верхнего рыхлого слоя почвы на нормальное напряжение в почве под колесом
 ($G = 750 \text{ Н}$; $h_0 = 0,2 \text{ м}$; $B = 0,12 \text{ м}$; $L = 0,2 \text{ м}$; $p_0 = 500 \text{ кПа}$)

Анализ поверхностей отклика, представленных на рисунках 15–19, показывает, что при нагрузке на колесо в 500 Н , соответствующей давлению в пятне контакта колеса с почвой 40 кПа , увеличение глубины расположения датчиков, расстояния от датчиков до колеса в поперечной плоскости к траектории движения колеса и толщины верхнего рыхлого слоя почвы ведет к незначительному снижению нормальных напряжений в почве под колесом, то есть при малых нагрузках воздействие колеса на различные почвенные слои несущественно. С ростом нагрузки на колесо до 1000 Н (80 кПа) влияние глубины расположения датчиков и расстояния от датчиков до колеса в поперечной плоскости на величину отклика становится более значительным, то есть при достижении и превышении нагрузкой на колесо допустимых значений напряжения, а следовательно, и деформации в почве начинают распространяться в более глубоких слоях, расположенных под пахотным слоем.

Заключение

На основании теории планирования экстремального эксперимента на стенде для исследования взаимодействия колес с почвой проведены исследования по определению нормального напряжения в почве под колесом с использованием методов физического моделирования. Получено критериальное уравнение, представляющее собой полином третьей степени и связывающее нормальное напряжение в почве под колесом с

вертикальной нагрузкой на колесо, глубиной расположения датчиков, расстоянием от датчиков до колеса в поперечной плоскости к траектории движения колеса, толщиной верхнего рыхлого слоя почвы, шириной шины колеса, длиной опорной поверхности колеса и пределом несущей способности почвы.

Построены поверхности отклика, которые показывают, что наибольшее влияние на напряженное состояние в почве под воздействием колеса оказывают такие факторы, как нагрузка на колесо, глубина расположения датчиков и расстояние от датчиков до колеса в поперечной плоскости к траектории движения колеса. Так, при достижении и превышении нагрузкой на колесо допустимых значений напряжения, а следовательно, и деформации в почве начинают проникать в подпахотные слои.

29.05.13

Литература

1. Гидропривод сельскохозяйственной техники: пособие для вузов / В.С. Лахмаков [и др.]; под общ. ред. В.С. Лахмакова. – Минск: БГАТУ, 2009. – 164 с.
2. Новик, Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – Москва: Машиностроение, 1980. – 304 с.
3. Баловнев, В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин / В.И. Баловнев. – Москва: Высшая школа, 1981. – 335 с.

УДК 631.312.65

Н.Д. Лепешкин, В.В. Мижурин,

А.А. Зенов

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

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАШИН ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Введение

Государственной программой устойчивого развития села на 2011–2015 годы предусматривается довести валовой сбор зерна до 12 млн тонн, при этом урожайность зерновых культур к 2015 году должна быть доведена до 43 ц/га. Для достижения аграриями таких показателей необходимо использовать все резервы, в том числе внедрять прогрессивные технологии, среди которых свое место должны занять влаго- и ресурсосберегающие почвозащитные технологии бесплужного возделывания сельскохозяйственных культур. В связи с этим определенный интерес представляет применяемая в последние годы в США система вертикальной обработки почвы.

Основная часть

Особенностью данной системы обработки почвы является то, что по сравнению с традиционной горизонтальной обработкой в структуре почвы отсутствуют слои повышенной плотности, которые образуются после прохода традиционных машин: дисковой бороны, культиватора, плуга (рисунок 20).

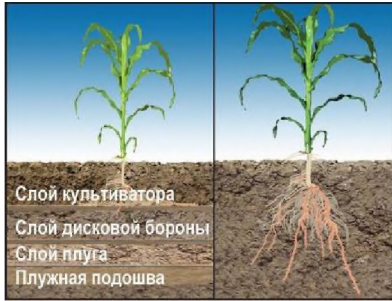


Рисунок 20 – Схема развития растений после традиционной (а) и вертикальной (б) обработки почвы

Отсутствие слоев повышенной плотности позволяет корням растений расти не в стороны, а вглубь. Поэтому выросшие в условиях вертикальной обработки почвы растения более засухоустойчивы, получают больше питательных веществ и в целом имеют намного более развитую корневую систему, что обеспечивает на всех типах почв и у всех культур прибавку урожая 8,5 ц/га.

Вместе с тем надо отметить, что любой предлагаемый вариант почвозащитного земледелия является региональным и в иных почвенно-климатических условиях требует доработки с поправкой на норму выпадающих осадков, структуру посевных площадей, особенности почв и рельефа, потенциальную опасность появления водной и ветровой эрозии.

Поскольку проблема почвозащитной обработки весьма актуальна и для нашей республики, то с этой целью необходимо разработать, основываясь на опыте США, свои почвозащитные технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

Статья посвящена детальному рассмотрению комплекса машин для вертикальной обработки почвы как базовой основы для будущих технологий бесплужного возделывания сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь. Для реализации вертикальной обработки почвы, например, фирма GreatPlains предлагает шесть типов машин.

Агрегат «Турбо-Тилл» (рисунок 21) предназначен для осенней обработки жнивья, а также весенней подготовки почвы под посев. В этом агрегате установлены два ряда турбо-колтеров, которые в сочетании с игольчатой бороной и катком, предлагаемыми как опции, придают ему большую функциональность и универсальность. Он может работать как на влажной весенней почве, так и на пересохшей осенней.

Применяемые в этом и в описываемых ниже агрегатах турбо-колтеры по сравнению с пружинными или волнистыми колтерами, а тем

более со сферическими дисками, не создают слои повышенной плотности (рисунок 22).

Фирмой предлагаются модели шириной захвата от 3,7 до 12,2 м. При этом ширина междурядья между турбо-колтерами составляет 12,7 см. Требуемая для агрегирования мощность трактора – 26–36 л.с. на 1 м ширины захвата, в зависимости от типа почв, рельефа и применяемого опционального оборудования.



Рисунок 21 – Универсальный агрегат «Турбо-Тилл»



Рисунок 22 – Турбо-колтер

турбо-колтеров и чоппер-катков позволяет измельчать пожнивные остатки в продольном (турбо-колтеры) и поперечном (турбо-чопперы) направлениях.

Машиной для более агрессивного измельчения пожнивных остатков и вертикальной предпосевной обработки почвы является «Турбо-Чоппер» (рисунок 23). Он оснащен одним рядом турбо-колтеров, установленными с междуследием 25 см, одним рядом чоппер-катков, а также дополнительно – игольчатой бороной и катком.



Рисунок 23 – Агрегат для агрессивного измельчения пожнивных остатков и вертикальной обработки почвы «Турбо-Чоппер»

Чоппер-катки состоят из 6 лезвий из высокопрочной стали, расположенных по спирали, что обеспечивает их постоянный контакт с почвой. Здесь также предлагаются модели шириной захвата от 4,7 до 12,3 м. При этом требуемая мощность трактора для агрегатирования практически такая же, как и у агрегатов «Турбо-Тилл».

Третьей машиной в технологической линейке вертикальной обработки почвы является «Ультра-Тилл» (рисунок 24).



Рисунок 24 – Агрегат для финишной обработки почвы перед посевом «Ультра-Тилл»

Он предназначен для финишной обработки почвы перед посевом и имеет следующий набор рабочих органов: впереди установлены с расстоянием 20 см друг относительно друга низковолнистые диски или турбо-колтеры, следом за ними установлены под углом 30° навстречу друг другу две батареи вращающихся борон. Как опция предлагается прикатывающий каток. Глубина обработки такой машиной составляет от 2,5 до 5,1 см. Ширина захвата – 9,1 м, 11 м, 12,8 м и 15,8 м. Требуемая для агрегатирования мощность трактора – 15,6–23,4 л.с. на 1 м ширины захвата.

Четвертой машиной семейства машин для вертикальной обработки почвы, разработанной для разуплотнения слоев, образующихся после использования орудий для горизонтальной обработки, таких как плуги, диски, традиционные орудия с лаповыми рабочими органами, является глубокорыхлитель (рисунок 25). Здесь предлагается два вида стоек толщиной 19 и 32 мм, позволяющих обрабатывать как только нижний слой почвы, так и нижний и верхний. Стойка 19 мм оборудуется наконечником 25,4 мм, а стойка шириной 32 мм может оборудоваться шестью разновидностями наконечников шириной 5,1 см, 12,7 см или 17,8 см. Кроме того, на глубокорыхлителе впереди стоек устанавливаются разрезные диски и как опция – прикатывающий каток.



Рисунок 25 – Глубокорыхлитель.

Расстояние между стойками глубокорыхлителя может составлять 61; 76; 91; 96,5; 101 см. При этом требуемая мощность на одну стойку в зависимости от почвы, влажности, глубины и т.д. составляет от 50 до 100 л.с. Максимальная глубина обработки – 45,7 см.

Для измельчения и заделки пожнивных остатков в верхний слой почвы на глубину до 10–13 см с рыхлением на глубину до 30,5 см предлагается «Турбо-Чизель» (рисунок 26).

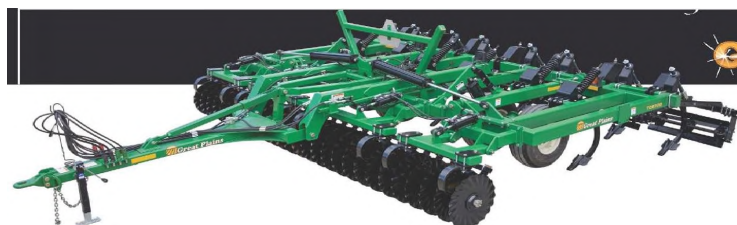


Рисунок 26 – Агрегат для измельчения и заделки пожнивных остатков «Турбо-Чизель»

На данной машине впереди установлен ряд турбо-колтеров диаметром 56 см с междуследием 19 см, далее – два ряда чизельных стоек с лапами с расстояниями 38 см, за которыми можно опционно установить измельчитель или грабли для разбивания комьев, уплотнения и перемешивания пожнивных остатков с почвой, а также для выравнивания почвы.

Машиной для вертикальной обработки почвы, которая препятствует формированию слоев повышенной плотности при ежегодном использовании и обеспечивает накопление влаги, является агрегат «Верти-Тилл» (рисунок 27). В данном агрегате перед рыхлительными стойками (глубина рыхления 41 см) установлены два ряда режущих турбо-колтеров диаметром 51 см, обеспечивающих разрезание растительных остатков шириной 19 см, а за стойками устанавливается зубовая борона или каток-почвоулучшитель. Здесь предусмотрено 3 вида сменных стоек, которые обеспечивают максимальное, среднее или минимальное переме-

шивание пожнивных остатков и разрушение поверхности почвы. При этом каждая стойка может оснащаться шестью сменными наконечниками. Максимальная мощность для агрегатирования данных машин составляет до 125 л.с. на 1 метр ширины захвата.



Рисунок 27 – Агрегат для вертикальной обработки почвы «Верти-Тилл»

Заключение

С целью повышения урожайности культур, сохранения почвы и снижения затрат труда в США разработана и внедрена в производство новая система вертикальной обработки почвы, при которой по сравнению с традиционной не образуется уплотненный слой почвы, что позволяет корням растений развиваться не в стороны, а вглубь.

Для осуществления технологических операций вертикальной обработки почвы создан комплекс специальных машин, включающий машины для измельчения пожнивных остатков, в том числе и кукурузы, мелких и более глубоких обработок почвы, а также глубокорыхлитель.

Аналогичные машины для почвозащитного земледелия разработаны и освоены в производстве и в Республике Беларусь. Так, для измельчения пожнивных остатков (первых проходов по полю) в ОАО «Бобруйсксельмаш» выпускаются агрегаты с дисковыми рабочими органами АПД-7,5, АПД-6, а в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» – агрегат для измельчения пожнивных остатков АПО-6,3 и др. Для более глубоких обработок выпускаются агрегаты с дисколаповыми рабочими органами: КЧД-6 (КПУП «Лунинецкий ремонтно-механический завод»), АКМ-6 (ОАО «Гидросельмаш» и ГП «Экспериментальный завод»); АБТ-4 (ОАО «Витебский МРЗ»), многофункциональный агрегат АПМ-6 (ОАО «Бобруйсксельмаш») и др. Для глубокого рыхления почвы ОАО «БЭМЗ» выпускает глубокорыхлитель ГР-70.

Вместе с тем следует отметить, что основной отличительной особенностью американских машин, позволяющей производить вертикальную обработку, является использование в них специальных дисков тур-

бо-колтеров и катков турбо-чопперов. Поэтому в ближайшее время с учетом особенностей республики нужно разработать модификации серийно выпускаемых отечественных машин, что позволит решить все вопросы внедрения новых технологий без использования импортных агрегатов. Одновременно надо отметить, что практика внедрения почвозащитных технологий показывает, что решение данной проблемы возможно только за счет использования новой техники. Необходим комплексный подход, специальная государственная программа, которая позволила бы вести во всех регионах республики стационарные полевые опыты по отработке бесплужных почвозащитных технологий и определить максимально возможный объем безотвальных обработок почвы для конкретных почвенно-климатических условий.

13.09.13

УДК 631.331.022

**В.П. Чеботарев,
Ю.Л. Салапура,
Д.В. Зубенко**

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ПОСЕВНОГО МАТЕРИАЛА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТИПА ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ЗЕРНОВОЙ СЕЯЛКИ

Введение

Широкое распространение в республике получили зерновые сеялки с пневматической системой высева и созданные на их базе почвообрабатывающе-посевные агрегаты. Это связано с их существенными преимуществами: возможностью создания широкозахватных агрегатов ширины захвата до 24 метров, уменьшением удельной материалоемкости на 20...25 %, возможностью их использования в комбинированных почвообрабатывающе-посевных агрегатах. Использование высокопроизводительной посевной техники особенно актуально для нашей страны, и обусловлено это, в частности, нарастающим с каждым годом дефицитом квалифицированных кадров в системе сельскохозяйственного производства.

В общем случае современная сеялка с пневматической системой высева имеет раздельно-агрегатную компоновку [1, 2], при которой машина состоит из отдельных блоков (модулей). Данный тип компоновки позволяет разместить в пространстве бункер и основные рабочие органы (рисунок 28).

Пневматическая высевая система и раздельно-агрегатная компоновка рабочих органов сеялок позволяют реализовать секционный принцип построения рамы посевного блока, при котором ее складывание происходит в вертикальной плоскости. Данное решение позволяет



Рисунок 28 – Посевной комплекс с пневматической системой высева фирмы «Horsch»

значительно ускорить процесс перевода агрегата из рабочего положения в транспортное и обратно, следовательно, снизить общие непроизводительные затраты времени на переезды. Централизованный бункер сеялки обеспечивает снижение количества и продолжительности технологических остановок на заправку посевным материалом. Применение автономной системы загрузки на широкозахватных сеялках с пневматической системой высева позволяет снизить время и трудоемкость загрузки.

Основная часть

Основными элементами системы высева с пневматическим транспортированием посевного материала в сошники являются бункер, вентилятор, дозатор, устройство для ввода посевного материала в воздушный поток (питатель), распределительное устройство, а также материало- и семяпроводы (рисунок 29).

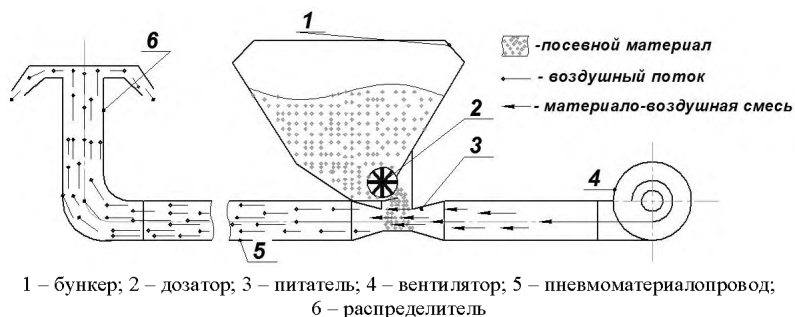


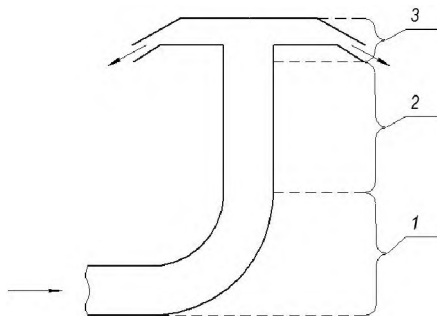
Рисунок 29 – Технологический процесс работы пневматической высевальной системы

Одним из основных показателей, по которому оценивают качество работы пневматической высевальной системы, является равномерность распределения посевного материала по семяпроводам. Существенное

влияние на кинематическую структуру твердого компонента материало-воздушной смеси, следовательно, и на равномерное распределение семян оказывает конфигурация вертикального распределительного устройства. Так, расстояние от фасонной части (отвода) подводящего трубопровода до распределительной головки на распределительных рабочих органах большинства посевных машин, как правило, не превышает $10D$, ввиду больших габаритов при переводе в транспортное положение и повышенной материалоемкости. Однако для полной стабилизации материало-воздушного потока необходимо расстояние в $(30...40)D$, этим во многом и обуславливается высокая неравномерность поперечного распределения посевного материала [3, с. 115–117].

С целью подтверждения высказанных предположений аналитически рассмотрим процесс движения посевного материала в распределительном устройстве вертикального типа.

В процессе движения посевного материала по вертикальному распределительному устройству можно выделить три основных участка: 1 – участок ввода посевного материала в распределительное устройство (отвод); 2 – участок разгона и распределения посевного материала в поперечном сечении (вертикальная колонна); 3 – участок распределения посевного материала по семяпроводам (распределительная головка) (рисунок 30).



1 – участок ввода посевного материала в распределительное устройство (отвод); 2 – участок разгона и распределения посевного материала в поперечном сечении (вертикальная колонна); 3 – участок распределения посевного материала по семяпроводам (распределительная головка)

Рисунок 30 – Схема вертикального распределительного устройства

Неравномерность распределения непосредственно зависит от равномерности размещения посевного материала в поперечном сечении восходящего потока. Для улучшения этого показателя в проточном канале вертикальной колонны и в крышке распределительной головки размещают дополнительные элементы различного конструктивного исполнения (турбулизирующие вставки, направлятели, отражатели), повышающие турбулентность транспортирующего воздушного потока для создания более однородной материало-воздушной смеси по всему сечению и, следовательно, для более равномерного распределения посевного материала по сошникам [4].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для улучшения работы вертикальных распределительных устройств целесообразно ис-

пользовать дополнительные элементы, позволяющие сделать поле скоростей воздушного потока более однородным по всему поперечному сечению вертикальной колонны при входе в распределительную головку, а также снизить травмирование частиц посевного материала при распределении по отводящим патрубкам.

В связи с вышеизложенным рассмотрим на примере одной частицы движение высеваемого материала в вертикальном распределительном устройстве.

Движение посевного материала в отводе. При движении потока по криволинейному участку (отводу) канала происходит изменение его структуры, что выражается в перераспределении локальных давлений и скоростей воздуха по сечению потока: скорость убывает с увеличением радиуса кривизны и, следовательно, давление у внутренней стенки меньше, чем у внешней. При входе в отвод у внутренней стенки образуется конфузурный участок, а у внешней – диффузорный, в то время как при выходе из отвода в вертикальную колонну, наоборот, у внутренней стенки образуется диффузорный, а у внешней – конфузурный участки. В диффузорных областях криволинейного участка наблюдается интенсивный рост пограничного слоя, который малоустойчив и легко отрывается от стенки канала [5, с. 147–149] (рисунок 31).

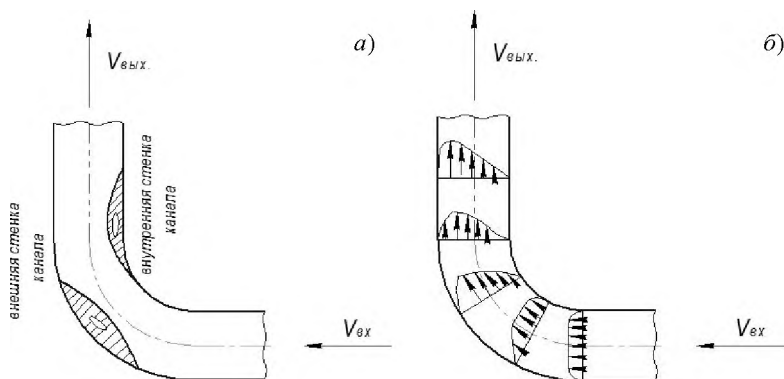


Рисунок 31 – Области отрыва потока (а), поля скоростей в отводе (б)

Анализ схемы показал, что наличие местных отрывов приводит к нарушению однородности поля скоростей на выходе из отвода, что не может не отразиться на равномерности распределения посевного материала по всему поперечному сечению вертикальной колонны.

Определим величину снижения скорости частицы при движении по отводу. При движении по отводу на частицу будут действовать сила тяжести G , реакция связи N и сила трения $F_{тр}$. (рисунок 32).

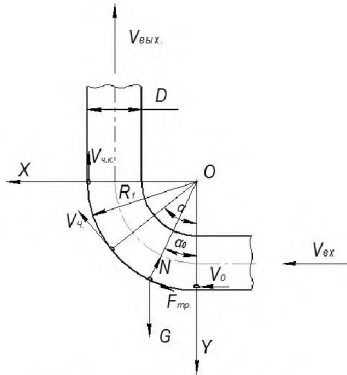


Рисунок 32 – Изменение скорости частицы при ее движении в отводе

Используем дифференциальные уравнения плоского движения материальной точки в прямоугольных координатах и напишем уравнение движения частицы в отводе, изменяющем направление с горизонтали на вертикаль [3, с. 40]:

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = -T \cdot \cos\alpha - N \cdot \sin\alpha; \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = T \cdot \sin\alpha - N \cdot \cos\alpha + G, \end{cases} \quad (1)$$

где m – масса частицы, кг;

α – текущее значение угла поворота, град.;

T – сила трения, Н;

N – реакция связи, Н;

G – сила тяжести, Н;

t – время, с.

После некоторых преобразований выражения (1) получим, что при повороте двухкомпонентного потока с горизонтали на вертикаль на угол 90° величина конечной скорости частицы определяется:

$$V_{\text{вых}} = \sqrt{\frac{V_0^2}{e^{\pi f}} - \frac{2gR_1}{1+4f^2} \left[\frac{1-2f^2}{e^{\pi f}} + 3f \right]},$$

где V_0 – скорость семян на входе в отвод, м/с;

R_1 – радиусе кривизны, м;

f – коэффициент трения.

Из полученного уравнения построен график изменения скорости семян после отвода при различных коэффициентах трения $f = 0,2 \dots 0,6$ для зерновых культур при $R_1 = 0,4$ м (рисунок 33).

Как видно из рисунка 33, существенное влияние на скорость семян при движении по отводу оказывает коэффициент трения f : чем он больше, тем больше теряется скорость семян при выходе из отвода. Так, при входной скорости в 30 м/с, радиусе кривизны 0,4 м и коэф-

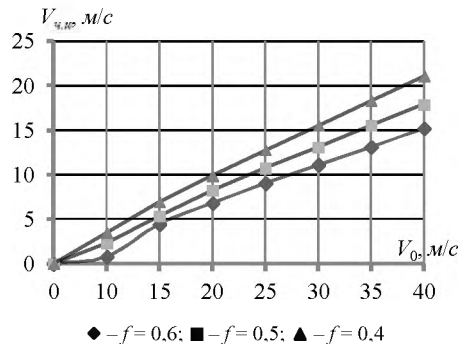
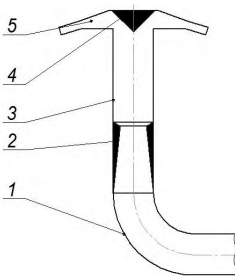


Рисунок 33 – Зависимость изменения скорости семян зерновых культур перед отводом от скорости семян за отводом при различных коэффициентах трения

фициенте трения 0,6 скорость на выходе из отвода в 2,7 раза меньше, чем на входе, что ведет к уменьшению числа Рейнольдса (Re) и к общему снижению турбулентности потока.

Изучив характер распределения полей скоростей воздушного потока в отводе, траекторию движения отдельной частицы и действующие на нее силы, а также определив величину скорости частицы на выходе из отвода, можно сделать вывод, что в отводе на частицу действует сила трения и центробежная сила, величина которой зависит от массы частицы, той скорости, которую она имела при входе в отвод, и его радиуса. Вследствие этого семена отбрасываются к внешней стенке отвода и продолжают по ней свое движение. Таким образом, семена в отводе распределяются по его наружной стенке, теряя свою скорость, что подтверждают поля скоростей на рисунке 31 б. Все это говорит о том, что необходимо выровнять скорость материало-воздушной смеси по поперечному сечению вертикальной колонны, то есть увеличить турбулентность потока.

Одним из наиболее распространенных способов повышения равномерности распределения в данном случае на практике является дополнительная турбулизация поступающей к распределительной головке материало-воздушной смеси. Дополнительная турбулизация осуществляется посредством различных по конструкции элементов, устанавливаемых на вертикальном участке подводящего трубопровода. Это способствует выравниванию концентрации частиц высеваемого материала по поперечному сечению трубопровода [6].



1 – отвод; 2 – турбулизирующая вставка; 3 – вертикальная колонна; 4 – направляющий; 5 – распределительная головка

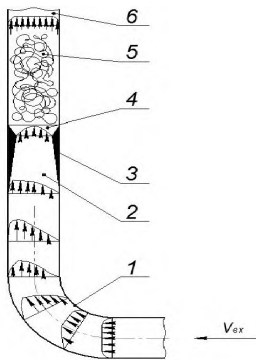
Рисунок 34 – Конструкция предлагаемого вертикального распределителя

В связи с этим нами предлагается конструкция вертикального распределителя с турбулизирующей вставкой и направляющим, который установлен в крышке распределительной головки. Вертикальная колонна состоит из участка с турбулизирующей вставкой и вертикального подводящего участка (рисунок 34).

Посевной материал, транспортируемый воздушным потоком к распределительной головке, проходит отвод, где под действием инерционных сил концентрируется у поверхности с большим радиусом кривизны. Далее посевной материал поступает в вертикальную колонну, где установлена турбулизирующая

вставка. На каждом из этих участков характер течения потока материало-воздушной смеси различный, определяемый в основном конструктивными особенностями элементов устройства и аэродинамическими параметрами транспортируемого материала.

В турбулизирующей вставке в ее впускной части конуса происходит «сжатие» материалo-воздушного потока и приближение его к центру. При этом аэродинамическое сопротивление и механическое сопротивление трения транспортируемого материала о поверхность незначительны вследствие его плавного сужения [7, с. 43–46]. При этом скорости периферийных слоев потока возрастают и выравниваются по всей площади поперечного сечения конуса. На выходе из турбулизатора образуется внезапное расширение конуса, которое вызывает образование вихревых потоков транспортирующего воздуха по всему поперечному сечению входного трубопровода [8, с. 28–30]. При этом образуются и отдельные вихри с отрицательным градиентом скорости. Все это вызывает интенсивное перемешивание транспортируемого материала с воздухом и формирование однородной материалo-воздушной смеси. Исследованиями установлено, что для равномерного распределения материала по отводящим патрубкам на входе в распределительную головку поток материалo-воздушной смеси должен стабилизироваться. Это требование выполняется при расстоянии не менее $3D$ между вставкой и входом в распределительную головку (рисунок 35).



1 – отвод; 2 – конфузорная часть вставки; 3 – турбулизирующая вставка; 4 – диффузорная часть вставки; 5 – вихревая зона; 6 – вход в распределительную головку

Рисунок 35 – Поля скоростей в распределителе с турбулизирующей вставкой

Сократив массу m в уравнении (2) и проинтегрировав, получим:

$$\frac{\partial x}{\partial t} = \kappa_n \cdot (v_a - v_q)^2 \cdot t + C_1; \quad (3)$$

$$x = 0,5 \cdot \kappa_n \cdot (v_a - v_q)^2 \cdot t^2 + C_1 \cdot t + C_2, \quad (4)$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования.

При движении в восходящем воздушном потоке на нее оказывает действие аэродинамическая сила F_a и сила тяжести G (рисунок 36).

Уравнение для условия равновесия частицы будет иметь вид:

$$F_a - G = 0,$$

где F_a – аэродинамическая сила, H .

После некоторых преобразований составим дифференциальное уравнение движения и подставим известные величины:

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = m \cdot \kappa_n \cdot (v_a - v_q)^2 - mg, \quad (2)$$

где κ_n – коэффициент парусности,

v_a – скорость воздуха, $м/с$;

v_q – скорость семян, $м/с$.

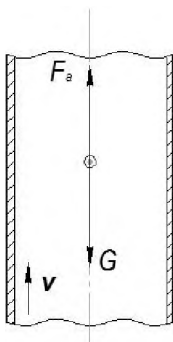


Рисунок 36 – Схема сил, действующих на частицу в восходящем воздушном потоке

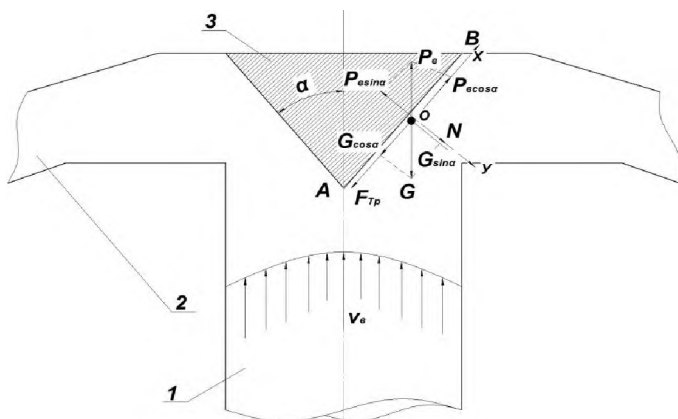
Постоянные интегрирования C_1 и C_2 будут определяться из начальных условий при $t = 0$, $x = 0$ и $\frac{\partial x}{\partial t} = 0$, что при подстановке в уравнение (3) и (4) даст: $C_1 = C_2 = 0$.

Определим закон движения частицы в вертикальной колонне:

$$x = 0,5 \cdot \kappa_n \cdot (v_e - v_y)^2 \cdot t^2.$$

Движение посевного материала в распределительной головке. Для сохранения высокой равномерности распределения посевного материала по поперечному сечению в распределительной головке и далее в семяпроводах необходимо, чтобы каждая частица с наименьшими потерями энергии и за

кратчайшее время после касания с внутренней поверхностью распределительной головки переместилась к отводящему патрубку (рисунок 37).



1 – входной трубопровод; 2 – отводящий патрубок; 3 – отражатель

Рисунок 37 – Схема сил, действующих на частицу, расположенную на внутренней поверхности распределительной головки

На частицу, расположенную на прямой AB, действуют следующие силы: сила тяжести G , трения F_{Tp} , сила реакции поверхности N и сила воздействия воздушного потока P_e . Угол наклона прямой AB к оси входного трубопровода равен α . После принятия частицы материальной точкой, в этой точке (O) располагаются координатные оси: O_x – параллельно прямой AB, а O_y – перпендикулярно. Соответствующие уравнения для условия равновесия частицы будут иметь вид:

$$P_e \cdot \cos \alpha - F_{Tp} - G \cos \alpha = 0;$$

$$N + G \sin \alpha - P_e \cdot \sin \alpha = 0.$$

Так как частица движется по поверхности распределительной головки по оси O_x , составим дифференциальное уравнение движения по этому направлению, учитывая то, что в направлении оси O_y силы уравновешиваются:

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = P_e \cdot \cos \alpha - F_{Tp} - G \cos \alpha. \quad (5)$$

Подставляя в уравнение (5) значение составляющих сил, получим следующее дифференциальное уравнение:

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = P_e \cdot \cos \alpha - f_{mp}(P_e \cdot \sin \alpha - G \sin \alpha) - G \cos \alpha,$$

или

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = 0,5k_c F \rho v_e^2 \cdot \cos \alpha - f_{mp}(0,5k_c F \rho v_e^2 \cdot \sin \alpha - mg \cdot \sin \alpha) - mg \cdot \cos \alpha, \quad (6)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м^3 ($\rho = 1,29$);

k_c – коэффициент сопротивления воздушного потока.

После замены выражения $0,5k_c F \rho v_e^2 = a$ уравнение (6) запишется в следующем виде:

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = a \cdot \cos \alpha - f_{mp}(a \cdot \sin \alpha - mg \cdot \sin \alpha) - mg \cdot \cos \alpha,$$

или
$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = (a - mg) \cdot \cos \alpha - f_{mp}(a - mg) \cdot \sin \alpha,$$

то есть

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = (a - mg) \cdot (\cos \alpha - f_{mp} \cdot \sin \alpha). \quad (7)$$

Решение уравнения (7) непосредственным интегрированием позволит получить закон движения частицы по поверхности распределительной головки:

$$x = \frac{(a - mg) \cdot (\cos \alpha - f_{mp} \cdot \sin \alpha)}{2m} t^2.$$

Заключение

Предложен способ повышения качества распределения посевного материала по семяпроводам распределителя вертикального типа посредством применения турбулизирующей вставки в вертикальной колонне и направителя в распределительной головке. Также получен закон движения частицы посевного материала по поверхности распределительной головки.

Результаты исследований использованы при разработке конструкции вертикального распределительного устройства для сеялок с пневматической системой высева, которая удовлетворяет агротехническим требованиям по норме высева различных сельскохозяйственных культур.

29.08.13

Литература

1. Ивженко, С.А. Механико-технологические основы совершенствования пневматического посева: дис... докт. техн. наук: 05.20.01 / С.А. Ивженко. – Саратов, 1992. – 506 с.
2. Сариев, Ж.А. Применение посевного комплекса «FlexicoilST-820» в опытно-производственных условиях / Ж.А. Сариев, В.В. Вьюрков, А.Е. Сарсенов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 2. – С. 33–35.
3. Зуев, Ф.Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях / Ф.Г. Зуев. – М.: Колос, 1976. – 344 с.
4. Чеботарев, В.П. Анализ вертикальных распределительных устройств пневматических сеялок / В.П. Чеботарев, А.Л. Медведев, Ю.Л. Салапура, Д.В. Зубенко // Механізація та електрифікація сільського господарства: міжвідомчий тематичний науковий збірник / ННЦ «ИМЭСХ»; редкол.: В.В. Адамчук [и др.]. – Глеваха, 2012. – Вып. 96. – С. 67–75.
5. Повх, И.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении / И.Л. Повх. – 3-е изд., перераб. и исправл. – Л.: Машиностроение, 1974. – 480 с.
6. Чеботарев, В.П. Классификация посевных машин с пневматическими системами высева / В.П. Чеботарев, Д.В. Зубенко, Ю.Л. Салапура, А.В. Новиков, В.В. Мижурин // Вестник БГСХА. – 2013. – № 2. – С. 27–32.
7. Бак, О. Проектирование и расчет вентиляторов / О. Бак, под ред. А.Р. Бушеля. – М.: Гос. научн.-техн. изд. по горному делу, 1961. – 364 с.
8. Идельчик, И.Е. Аэродинамика технологических аппаратов: подвод, отвод и распределение потока по сечению аппаратов / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1983. – 351 с.

УДК 631.331.022

**Н.Д. Лепешкин, А.Л. Медведев,
В.В. Мижурин, Д.В. Зубенко**
(РУП «ННЦ НАН Беларуси по
механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)

**АКТИВИРУЮЩЕЕ
ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛОПАСТЕЙ
ВОРОШИТЕЛЯ-
НАГНЕТАТЕЛЯ НА
ПОСЕВНОЙ МАТЕРИАЛ**

Введение

На основании анализа устройств для дозирования трудносыпучих и несипучих семян кормовых трав сделан вывод о том, что они не в полной мере соответствуют агротехническим требованиям по равномерности и устойчивости дозирования посевного материала.

Основная часть

Предлагается дозирующее устройство, состоящее из катушки и ворошилки-нагнетателя лопастного типа с лопастями криволинейного профиля в плоскости вращения. Схема этого устройства представлена на рисунке 38.

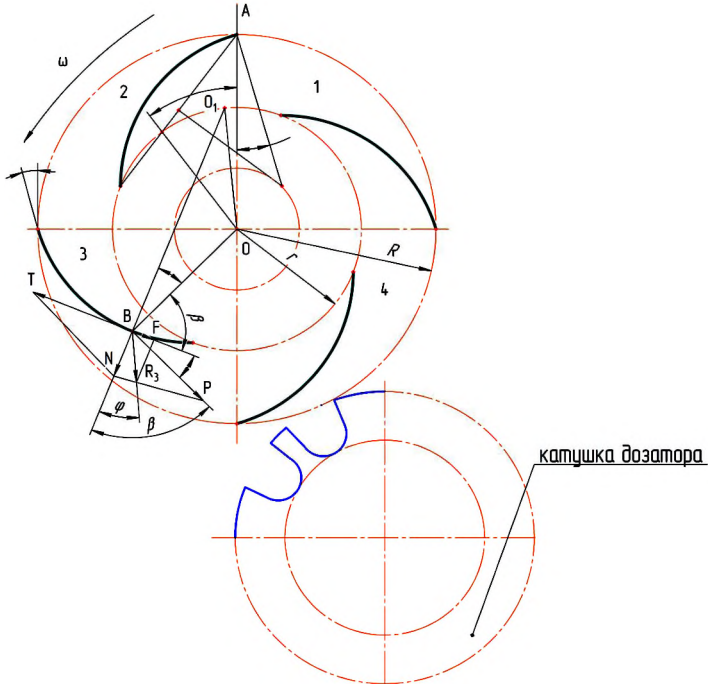


Рисунок 38 – Схема для анализа воздействия лопастного нагнетателя на посевной материал

Рассмотрим поперечное сечение области функционирования нагнетателя. Разобьем его на 4 квадранта. Из рисунка 38 видно, что в 1-м и 2-м квадрантах лопасти выполняют роль ворошилки, так как сопротивление перемещаемому материалу вверх и в сторону конструктивными элементами не оказывается (эта часть объема семенного бункера).

В 3-м и 4-м квадрантах функции ворошилки не востребованы. Здесь объем для материала уменьшается, ограничивается катушкой и стенками корпуса дозатора. Этот объем должен заполняться в результате действия лопастей с некоторым уплотнением материала, величина которого зависит от вида семян и приложенной нагрузки. Выполнение этого условия обеспечивает пассивное заполнение материалом желобков катушки без его сдвига в горизонтальной плоскости. Однако, так как ка-

тушка относительно нагнетателя в силу компоновочных причин может размещаться отлично от представленной на схеме, желательно создавать лопастями усилия, обеспечивающие послойный горизонтальный сдвиг посевного материала. Это повысит универсальность ворошилки-нагнетателя и ее функциональную эффективность.

Следовательно, необходимо определить профиль лопасти и ее пространственное расположение для выполнения изложенных требований. Желательно, чтобы оба требования выполнялись каждой лопастью без скачкообразного изменения характера взаимодействия ее с материалом. Такое взаимодействие возможно при криволинейном профиле лопасти.

Рассмотрим усилия, возникающие на поверхности лопасти при уплотнении посевного материала.

Материал сопротивляется деформации и давит на поверхность лопасти, вызывая нормальную реакцию поверхности N в точке В, действующую перпендикулярно к касательной в этой точке. Она создает силу трения F , от величины которой зависит характер перемещения уплотняемого материала.

$$F = Nf = N \operatorname{tg} \varphi,$$

где f – коэффициент трения между поверхностью лопасти и уплотняемым материалом;

φ – соответствующий угол трения.

Разложим реакцию N на составляющие P и T .

Причем P действует в направлении скорости точки поверхности лопасти – перпендикуляр в этой точке к радиусу r , а T направлено по касательной к поверхности лопасти в точке В против направления вращения ω .

Следовательно,

$$P = N / \cos \beta, \quad T = T \cdot \operatorname{tg} \beta,$$

где β – угол скольжения – угол между касательной к поверхности лопасти в точке В и радиусом вращения r .

$$\beta = 90^\circ - \psi, \tag{1}$$

где ψ – текущее значение угла между радиусом R поверхности лопасти и радиусом r вращения.

Равнодействующая от P , T и F

$$R_3 = \frac{F}{\sin \varphi} = \frac{N \operatorname{tg} \varphi}{\sin \varphi} = \frac{N}{\cos \varphi}.$$

Тогда для того, чтобы частицы уплотненного материала двигались совместно с лопастью, то есть возникало послойное перемещение со сдвигом, необходимо соблюдение условия:

$$F \geq T, \quad \text{или} \quad N \operatorname{tg} \varphi \geq N \operatorname{tg} \beta,$$

или

$$\varphi \geq \beta. \tag{2}$$

Но так как угол трения φ для определенного вида материала, в зависимости от его состояния, может колебаться в незначительном интервале, то выполнение условия выражения (2) возможно только при уменьшении значения β .

Из (1) следует, что для уменьшения угла β необходимо увеличение угла ψ .

Для создания нормальных и касательных напряжений в уплотняемой массе с целью компактного заполнения желобков катушки необходимы переменные значения угла ψ (увеличение в направлении, противоположном вращению), то есть

$$\psi_1 \geq \psi_2,$$

где ψ_1 – угол входа передней грани лопасти;

ψ_2 – угол выхода задней грани лопасти.

Параметры этих углов учитываются при геометрическом профилировании лопастей нагнетателя. При этом возможен вариант, когда в какой-то точке на поверхности лопасти угол β будет равен углу трения φ . Следовательно, эта точка определяет максимальную толщину слоя, который может быть захвачен лопастью и сдвинут в направлении дозирующей катушки.

Толщина этого слоя с незначительным допущением составляет:

$$H = (AO - OB) \cos\psi.$$

Из (1): $\psi = 90^\circ - \beta$. Значит, $\cos\psi = \cos(90^\circ - \beta) = \sin\beta$.

Тогда, с учетом выражения (2), максимальной толщина слоя будет при минимальном радиусе траектории вращения передней кромки лопасти и максимальном угле трения посевного материала о ее поверхность.

$$H_{\max} = (R - r) \sin\varphi.$$

При взаимодействии лопасти нагнетателя с семенами трав в уплотненном слое возникают только напряжения сжатия и касательные напряжения среза τ . Эти напряжения могут возникнуть одновременно на одной площадке внутри среды, они связаны зависимостью:

$$\tau \leq \pm\Phi(\sigma), \quad (3)$$

где $\Phi(\sigma)$ – непрерывная возрастающая функция от σ .

Трудносыпучие и нессыпучие семена кормовых трав как среда обладают пластической деформацией, которая возникает при нарушении равновесия частиц и их взаимного расположения, то есть при наличии скольжения частиц друг относительно друга во время увеличения нагрузки. При этом после снятия нагрузки первоначальное взаимное расположение частиц не восстанавливается. Это свойство должно быть учтено при обосновании геометрических и эксплуатационных параметров лопастного нагнетателя.

Зависимость (3) может быть представлена в виде закона пропорциональности:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi_0.$$

И прямолинейного закона:

$$\tau = \tau_0 + \sigma \operatorname{tg} \varphi_0, \quad (4)$$

где τ_0 – начальное сопротивление сдвигу, или сцепление, при отсутствии нагрузки ($\sigma = 0$);

φ_0 – угол внутреннего трения.

Следовательно, сдвиг одной части частиц среды относительно другой произойдет, когда касательное напряжение τ вследствие внешней силы окажется равным правой части равенства (4).

В случае если среда находится в какой-либо емкости (в бункере для семян и в корпусе дозирующего устройства), то при ее равновесии выполняются условия: $\tau = 0$ на свободной поверхности и $\tau \leq f \cdot \sigma$ на поверхности сопротивления среды со стенками емкости (f – коэффициент трения среды о стенку). Для стабильной подачи посевного материала из бункера к дозирующим катушкам необходимо нарушение этого равновесия воздействием на среду активизирующими конструктивными элементами, вызывающими ее текущее состояние, во время которого происходит внутреннее скольжение частиц друг относительно друга.

Заключение

Для того чтобы учесть все приведенные зависимости при разработке активирующих элементов высевающего устройства, необходимо экспериментально для трудносypучих и несypучих семян кормовых трав определить следующие показатели: относительную максимальную усадку (уплотнение) и нормальные при этом напряжения δ ; касательные напряжения τ и значения воздействующей нагрузки σ ; угол (коэффициент) внутреннего трения φ_0 .

02.09.13

УДК 631.31.06

**Н.Д. Лепешкин, А.А. Точицкий,
П.П. Костюков, Н.С. Мстиславская**
(РУП «НПЦ НАН Беларуси по
механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)

**РЕЗУЛЬТАТЫ
ИСПЫТАНИЙ АГРЕГАТА
БЕЗОТВАЛЬНОЙ
ОБРАБОТКИ ПОЧВ АБТ-4
НА СУГЛИНИСТЫХ
ПОЧВАХ**

Введение

В Республике Беларусь остается еще нерешенным вопрос обработки тяжелых по механическому составу почв, к которым относятся глинистые почвы, а также тяжелые и средние суглинки. Эти почвы содержат 25 % и более физической глины (частицы размером менее 0,01 мм).

Поэтому они обладают низкой водопроницаемостью, что вызывает переувлажнение верхнего слоя от талых вод и осадков. В результате затягиваются сроки проведения весенних полевых работ, укорачивается вегетационный период развития растений, а застой воды на поверхности полей приводит к вымоканию посевов сельскохозяйственных культур.

Пахотных земель с тяжелыми почвами в республике насчитывается 70,4 тысячи гектаров [1], а если учитывать легкие суглинки, то суглинистые почвы составляют в сумме 1053,3 тысячи гектаров (22,4 %). Самым высоким удельным весом суглинистых почв характеризуются Витебская и Могилевская области: соответственно 51,6 и 36,4 %.

Одним из приемов улучшения водопроницаемости таких почв является глубокое рыхление [2, 3, 4]. При этом обеспечивается перераспределение влаги по вертикальному профилю, улучшаются пористость и влагоемкость почвы, воздушный и тепловой режимы, а также увеличивается корнеобитаемый слой для растений.

В последние годы в странах Западной Европы все больше создается комбинированных агрегатов к энергонасыщенным тракторам, способных проводить также глубокую обработку тяжелых почв на глубину до 35 см. Они обычно оборудуются двумя рядами дисков, двумя рядами рыхлительных рабочих органов и одним рядом прикатывающих катков. Рядом фирм освоен промышленный выпуск таких агрегатов. Наиболее эффективными являются следующие модели: SL 400 фирмы «Simba» (Великобритания), Trio фирмы «Sumo» (Великобритания), Tiger MT фирмы «Horsch» (Германия) и DXRV фирмы «Gregoire-Besson» (Франция). Агрегаты отличаются друг от друга конструктивными элементами рабочих органов и порядком размещения их на раме.

Для выполнения глубокого рыхления почвы в республике освоены в производстве агрегат комбинированный почвообрабатывающий АКР-3 шириной захвата 3 м к тракторам мощностью 130–150 л.с. («Беларус-1221», «Беларус-1523») и глубокорыхлитель ГР-70 шириной захвата 4,3 м к тракторам мощностью 250–300 л.с. («Беларус-2522 ДВ», «Беларус-3022.1»).

Агрегат АКР-3 [5] оборудован жесткими стойками с долотами (5 штук) и упругими чизельными стойками с лапами (6 штук), которые размещаются на раме в два ряда с междуследием 560 мм в каждом ряду (спереди – жесткие стойки, сзади – упругие). При этом стойки заднего ряда рыхлят почву посередине промежутков между следами стоек переднего ряда. Агрегат производит сплошную безотвальную обработку почвы упругими чизельными стойками на глубину до 20 см и разуплотнение подпахотного горизонта на глубину до 26 см. Для дробления крупных комьев почвы, выравнивания и прикатывания поверхности поля применены два двухрядных спирально-планчатых катка.

Глубокорыхлитель ГР-70 [6] предназначен для рыхления тяжелых почв на глубину до 70 см с междуследием рыхлительных рабочих органов 860 мм. Оснащен пятью рыхлительными рабочими органами с ресорной защитой и трубчатым катком. Глубокорыхлитель имеет более ограниченное применение, так как не производит обработки поверхностного слоя почвы и имеет большую величину междуследий рыхлительных рабочих органов. Он может применяться, в основном, на временно переувлажняемых почвах для отвода избыточной влаги из пахотного слоя в подпахотный горизонт.

В РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан агрегат безотвальной обработки почвы АБТ-4 к энергонасыщенным тракторам мощностью 250–300 л.с. («Беларус-2522 ДВ», «Беларус-3022.1») [7, 8], который предназначен для безотвальной обработки почв на глубину до 30 см с мульчированием, выравниванием и прикатыванием поверхности поля. Используется на обработке почвы по следующим агрофонам: стерня озимых и яровых зерновых и зернобобовых культур; осенняя зябь при полупаровой обработке почвы; поля после уборки кукурузы, свеклы и картофеля; весенняя зябь.

По конструктивной схеме агрегат АБТ-4 соответствует лучшему зарубежному аналогу (SL 400 фирмы «Simba»). В качестве рабочих органов агрегата применены дисковые батареи со сферическими дисками, рыхлительные органы (стойка с долотом) и зубчатые катки. Порядок расположения их на раме: спереди фронтально располагаются две дисковые батареи «углом назад», потом – подвесная рама с рыхлительными рабочими органами, за ними – фронтально две дисковые батареи «углом вперед», потом – двухдисковая батарея в центре рамы и сзади – зубчатые катки.

Технологический процесс, выполняемый агрегатом АБТ-4, заключается в следующем: сначала агрегат с помощью гидросистемы трактора переводится в рабочее положение, включается одна из рабочих передач трактора и начинается движение по полю (по длине гона). При движении агрегата передние секции дисковых батарей производят разрезание и дробление растительных остатков и рыхление почвы, рыхлительные рабочие органы рыхлят почву, разрушая плужную подошву и разуплотняя подпахотный горизонт, задние секции батарей и двухдисковая батарея производят дополнительное рыхление почвы и мульчирование обрабатываемого слоя почвы растительными остатками, а зубчатые катки дробят комки почвы, выравнивают поверхность поля и уплотняют почву.

Преимущество агрегата АБТ-4 по сравнению с АКР-3 заключается в том, что он обеспечивает сплошное рыхление верхнего слоя почвы дисками с заделкой пожнивных и растительных остатков в этом слое и более интенсивное разрыхление плужной подошвы и подпахотного горизонта из-за меньшего значения междуследий рыхлительных рабочих органов (350 мм).

Результаты испытаний и их анализ

Опытный образец агрегата АБТ-4 был изготовлен в ОАО «Витебский мотороремонтный завод», и в 2012 году проведены его приемочные испытания в ГУ «Белорусская МИС» (протокол № И 047 (184) Б 1/2–2012 от 28 декабря 2012 года). Испытания проводились в агрегате с тракторами «Беларус-2522 ДВ» и «Беларус-3022.1» в СПК «Ольговское» Витебского района Витебской области на полях со слежавшейся зяблевой вспашкой; в РСДУП «Экспериментальная база «Зазерье» на полях со стерней зерновых культур и после уборки кукурузы; в КУСХП «Экспериментальная база «Тулово» Витебского района на полях после уборки свеклы и картофеля. При испытаниях агрегат комплектовался следующими рабочими органами: дисковыми батареями со сферическими дисками диаметром 610 мм и стыковыми сферическими дисками диаметром 510 мм, устанавливаемыми с наружной стороны батареи; стойками с долотами шириной 80 мм и зубчатыми катками диаметром по наружным кромкам зубьев 517 мм.

Общий вид агрегата АБТ-4 в рабочем положении при испытаниях представлен на рисунке 39.



Рисунок 39 – Агрегат для безотвальной обработки почв АБТ-4 с трактором «Беларус-3022.1» на весенней обработке зяби

Агротехнические показатели качества выполнения технологического процесса, эксплуатационно-технологические показатели и показатели энергопотребления, полученные в процессе испытаний агрегата АБТ-4, приведены в таблице 6.

Агротехнические показатели агрегата АБТ-4 определялись в весенний период на обработке слежавшейся пахоты, а также на обработке полей со стерней зерновых культур и после уборки кукурузы. Почва – дерново-подзолистая, средний суглинок. Влажность почвы в слое 0–15 см составляла от 23,4 до 26,8 %, а твердость в этом слое была 2,0–2,6 МПа.

Таблица 6 – Агротехнические, эксплуатационно-технологические и энергетические показатели агрегата

Наименование показателя	Значение показателей		
	фон 1	фон 2	фон 3
<i>Условия проведения испытаний агрегата</i>			
Агрофон	весенняя зябь	стерня зерновых культур	поле после уборки кукурузы
Агрегатирование	«Беларус-3022.1»	«Беларус-2522 ДВ»	
Тип почвы по механическому составу	дерново-подзолистая, средний суглинок		
Уклон поля, град.	до 2	ровный	
Влажность почвы в слое 0–15 см, %	26,8	23,4	23,6
Твердость почвы в слое 0–15 см, МПа	2,6	2,0	2,5
Высота растительных и пожнивных остатков, см	–	15	27
Масса растительных и пожнивных остатков, г/м ²	–	310	470
<i>Агротехнические показатели качества выполнения технологического процесса</i>			
Рабочая ширина захвата, м	4	4	4
Установочная глубина обработки почвы рыхлительными рабочими органами, см	20 и 30	20	20
Средняя глубина обработки, см	23,4 и 30,0	20,1	19,9
Отклонение средней глубины от заданной, см	+3,4 и 0	+0,1	–0,1
Гребнистость поверхности почвы, см	4 и 4	5	6
Полнота заделки пожнивных и растительных остатков, %	–	93,5	76,0
Подрезание сорняков, %	–	100	100
Крошение почвы (содержание комков размером до 50 мм), %	98,6 и 98,4	95,3	97,9
Плотность почвы, г/см ³ в обрабатываемом слое, см: 5–20 5–30	– 1 и 0,97	0,9 –	0,95 –
<i>Эксплуатационно-технологические показатели</i>			
Глубина обработки почвы рыхлительными рабочими органами, см	30,0	21,2 и 29,5	–
Рабочая скорость, км/ч	7,5	8,0 и 7,7	–
Транспортная скорость, км/ч	15–20		–
Производительность за 1 час, га:			
основного времени	3,0	3,2 и 3,08	–
сменного времени	2,21	2,36 и 2,27	–
эксплуатационного времени	2,19	2,33 и 2,24	–
Удельный расход топлива за сменное время работы, кг/га	16,9	13,3 и 14,1	–
Коэффициент надежности технологического процесса	0,98	0,98 и 0,98	–
<i>Показатели энергопотребления агрегата</i>			
Эффективная мощность двигателя, кВт	198	158 и 163	–
Удельные энергозатраты на физическую единицу наработки за основное время работы, кВт·ч/га	66,0	49,4 и 52,9	–

Высота растительных и пожнивных остатков после уборки зерновых и кукурузы соответственно была равна 15 и 27 см, а их масса при этом составляла 310 и 470 г/м².

В результате испытаний установлено, что агрегат при ширине захвата 4 м обеспечивает глубину обработки рыхлительными рабочими органами 19,9–30,0 см, а отклонение от установленной глубины на агрегате было в пределах от 0 до +3,4 см. Гребнистость поверхности почвы при обработке весенней зяби составила 4 см. При рыхлении полей после уборки зерновых культур и кукурузы этот показатель соответственно был равен 5 и 6 см. Увеличение гребнистости здесь связано с количеством пожнивных и растительных остатков и их высотой. От количества этих остатков также зависит и полнота их заделки. Заделка стерни составила 93,5 %, а остатков кукурузы – всего 76 %. Содержание комков почвы размером до 50 мм составляло 95,3–98,6 %, а плотность почвы в слое 5–20 см была 0,9–0,95 г/см³ и в слое 5–30 см – 0,97–1,0 г/см³. Сорняки подрезались полностью.

Эксплуатационно-технологические показатели и показатели энергопотребления агрегата определялись при обработке почвы на весенней зяби и со стерней зерновых культур. Производительность за 1 час основного времени на весенней зяби составила 3,0 га при скорости 7,5 км/ч, рабочей ширине захвата 4 м и глубине обработки 30 см, а на стерневом фоне при скорости 8,0 км/ч и глубине обработки 21,2 см – 3,2 га. При сменной производительности 2,21 и 2,36 га удельный расход топлива составил соответственно 16,9 и 13,3 кг/га. Технологический процесс обработки почвы выполнялся агрегатом надежно даже на фоне растительных остатков кукурузы высотой 26 см. Коэффициент надежности составил 0,98.

Удельные энергозатраты агрегата при рыхлении почвы на весенней зяби на глубину 30 см со скоростью 7,5 км/ч составили 66,0 кВт·ч/га, а также на стерневом фоне при глубине рыхления 21,2 см со скоростью 8,0 км/ч – 49,4 кВт·ч/га и при глубине 29,5 см со скоростью 7,7 км/ч – 52,9 кВт·ч/га. По мощности, затрачиваемой на выполнение технологического процесса, АБТ-4 нормально агрегируется с тракторами мощностью 250–300 л.с. при глубине обработки до 30 см.

Конструкция агрегата, благодаря пружинным предохранителям рыхлительных рабочих органов и подвесок зубчатых катков, обладает высокой надежностью. Нароботка на отказ II группы сложности составила 154 часа (по СТБ 1616–2011 [9] – не менее 100 ч).

Показатели приспособленности агрегата к техническому обслуживанию имели следующие значения: ежедневное время технического обслуживания равно 0,2 часа, а удельная суммарная оперативная трудоемкость технических обслуживаний – 0,04 чел.-ч/ч.

Конструкция агрегата соответствует требованиям техники безопасности. Конструктивная масса агрегата составляет 5110 кг.

Анализ экономических показателей агрегата АБТ-4 свидетельствует, что в сравнении с зарубежным аналогом SL 400 фирмы «Simba» годовой приведенный экономический эффект при загрузке 200 часов составляет 84 150,3 тысячи рублей, а срок окупаемости абсолютных капитальных вложений – 4,5 года.

Заключение

Агрегат безотвальной обработки почв АБТ-4 производит сплошную поверхностную обработку почвы дисками с мульчированием обрабатываемого слоя пожнивными и растительными остатками, разуплотнение плужной подошвы и подпахотного горизонта – стойками с долотами, выравнивание и прикатывание поверхности поля – зубчатыми катками.

При ширине захвата 4 м и глубине обработки суглинистых почв до 30 см нормально агрегируется с энергонасыщенными тракторами мощностью 250–300 л.с.

10.09.13

Литература

1. Кузнецов, Г.И. Структура земельных ресурсов Беларуси, их динамика и качественная характеристика / Г.И. Кузнецов, Н.И. Смеян, Л.И. Шибут // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 2. – С. 7–12.
2. Марчук, Р.Н. Влияние глубокого рыхления и кротования на тяжелые почвы / Р.Н. Марчук, А.П. Ковалев, Л.С. Ковалева // Гидротехника и мелиорация. – 1978. – № 8. – С. 72–76.
3. Ковалев, А.П. Агромелиоративные мероприятия на тяжелых почвах / А.П. Ковалев // Земледелие. – 1981. – № 1. – С. 46–48.
4. Глубокое рыхление и щелевание эродированных, уплотненных и временно переувлажненных почв (Временные рекомендации) / Р.Л. Турецкий [и др.]. – Минск, 1988. – 19 с.
5. Протокол № 43–2001 приемочных испытаний опытного образца агрегата комбинированного почвообрабатывающего АКР-3 / ИЦ ГУ «Белорусская МИС». – Привольный, 2001. – 33 с.
6. Глубокорыхлитель ГР-70 «Берестье» / Каталог сельскохозяйственной техники. – Брест: Брестский электромеханический завод, 2012. – С. 16.
7. Комбинированное почвообрабатывающее орудие: патент на полезную модель 7723 Республики Беларусь, МПК А 01 В 49/00 / Н.Д. Лепешкин, И.И. Федорович, А.Н. Юрич, Н.Н. Стасюкевич, Н.С. Высоцкая; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» – № u 20110251, заявл. 04.06.2011; опубл. 10.30.2011. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 5. – С. 201.
8. Лепешкин, Н.Д. АБТ-4 – агрегат специального назначения / Н.Д. Лепешкин, А.А. Точичкий, П.П. Костоков, И.И. Федорович, Н.С. Высоцкая // Белорусское сельское хозяйство. – 2012. – № 10. – С. 87–89.
9. Техника сельскохозяйственная. Показатели надежности: СТБ 1616–2011 / Госстандарт. – Минск, 2011. – 14 с.

учета силы тяжести ковша с грузом; $F_{\text{КГ}}$ – сила тяжести ковша с находящимся в нем грузом; $F_{\text{Ш}}$ – усилия на штоках стреловых гидроцилиндров; $R_{\text{ЦК}}$ – реактивные усилия в ковшовых гидроцилиндрах; L_{Γ} – горизонтальная проекция стрелы; B – расстояние от точки приложения силы $F_{\text{П}}$ до шарнира O ; $h_1, h_2, h_3, h_{\text{Ц}}, h_{\text{П}}$ – плечи соответствующих сил; h_3, h_4 – плечи тяг относительно шарниров соответственно C и A .

Изменением положения точки S приложения силы $F_{\text{П}}$ вследствие перемещения рычага, тяги и ковшового гидроцилиндра пренебрегаем, так как их влияние ввиду относительно небольших сил тяжести незначительно.

В процессе подъема стрелы рабочий орган выравнивается гидромеханизмом поворота ковша, сила тяжести $F_{\text{КГ}}$ которого оказывает действие на усилие на штоках стреловых гидроцилиндров, каждое из которых для статики можно определить по формуле [1, 2]:

$$F_{\text{Ш}} = \frac{F_{\text{КГ}}(L_{\Gamma} + h_5) + F_{\text{П}}h_{\text{П}} - R_{\text{ЦК}}h_1Z_{\text{К}}}{Z_{\text{С}}h_{\text{Ц}}\eta_{\text{Ш}}},$$

где $\eta_{\text{Ш}}$ – коэффициент, учитывающий потери на трение в шарнирах рычажной системы (обычно принимают $\eta_{\text{Ш}} = 0,9$);

$Z_{\text{К}}$ – количество ковшовых гидроцилиндров.

При этом реактивное усилие на штоке ковшового гидроцилиндра, создающее дополнительный вращающий момент относительно шарнира O крепления стрелы к порталу, без учета потерь на трение в шарнирах равно:

$$R_{\text{ЦК}} = F_{\text{КГ}} \cdot i_{\text{ЦК}} / Z_{\text{К}},$$

где $i_{\text{ЦК}}$ – мгновенное силовое передаточное отношение гидромеханизма от ковшового гидроцилиндра к ковшу, равно $i_{\text{ЦК}} = h_3 \cdot h_5 / (h_2 \cdot h_4)$.

Тогда

$$R_{\text{ЦК}} = \frac{F_{\text{КГ}}h_3h_5}{Z_{\text{К}}h_2h_4}. \quad (1)$$

Усилие на штоках стреловых гидроцилиндров погрузчика

$$F_{\text{Ш}} = \frac{F_{\text{КГ}}(L_{\Gamma} + h_5) + F_{\text{П}}h_{\text{П}} - \frac{F_{\text{КГ}}h_1h_3h_5}{h_2h_4}}{Z_{\text{С}}h_{\text{Ц}}\eta_{\text{Ш}}}.$$

Так как $L_{\Gamma} = L \sin \alpha_{\text{С}}^{(o)}$, $h_{\text{П}} = B \sin \alpha_{\text{С}}^{(o)}$, то

$$F_{\text{Ш}} = \frac{(F_{\text{КГ}}L + F_{\text{П}}B) \sin \alpha_{\text{С}}^{(o)} + F_{\text{КГ}}h_5(1 - h_1h_3/h_2h_4)}{Z_{\text{С}}h_{\text{Ц}}\eta_{\text{Ш}}}. \quad (2)$$

Выполним кинематический расчет гидромеханизма погрузочного оборудования. Рассматриваем движение звеньев гидромеханизма относительно стрелы OA . Всему гидромеханизму придаем дополнительное вращение с угловой скоростью стрелы, но направленной в обратную

сторону ($-\omega_C^{(0)}$). Здесь индексом «0» обозначена неподвижная часть (стойка). Тогда скорости звеньев в обратном движении получим, если к первоначальным значениям скоростей прибавим скорость $-\omega_C^{(0)}$. В обратном движении стрела ОА неподвижна ($\omega_C^{(0)} = 0$), значит неподвижны и оси всех рычагов.

Мгновенные угловые скорости звеньев гидромеханизма:

$$\left. \begin{array}{ll} \text{прямое движение} & \text{обращенное движение} \\ \omega_O^{(0)} = 0; & \omega_O^{(c)} = -\omega_C^{(0)}; \\ \omega_C^{(0)}; & \omega_C^{(c)} = \omega_C^{(0)} - \omega_C^{(0)} = 0; \\ \omega_1^{(0)}; & \omega_1^{(c)} = \omega_1^{(0)} - \omega_C^{(0)}; \\ \omega_2^{(0)}; & \omega_2^{(c)} = \omega_2^{(0)} - \omega_C^{(0)}; \\ \omega_K^{(0)}; & \omega_K^{(c)} = \omega_K^{(0)} - \omega_C^{(0)}. \end{array} \right\} \quad (3)$$

Здесь обозначены мгновенные угловые скорости:

$\omega_C^{(0)}$, $\omega_O^{(c)}$, $\omega_C^{(c)}$ – соответственно стрелы при неподвижной стойке, стойки при неподвижной стреле и стрелы при неподвижной стреле; соответственно при неподвижной стреле и стойке:

$\omega_K^{(c)}$, $\omega_K^{(0)}$ – ковша; $\omega_1^{(c)}$, $\omega_1^{(0)}$ – рычага; $\omega_2^{(c)}$, $\omega_2^{(0)}$ – тяги.

Определяем мгновенное кинематическое передаточное отношение $i_{KC}^{(0)}$ от ковша к стреле при ее подъеме (движение по часовой стрелке принимаем за положительное; ковш и стрела вращаются в разные стороны):

$$i_{KC}^{(0)} = \frac{-\omega_K^{(0)}}{\omega_C^{(0)}} = \frac{-\omega_K^{(c)} + \omega_C^{(0)}}{\omega_C^{(0)}} = \left(1 - \frac{\omega_K^{(c)}}{\omega_C^{(0)}}\right). \quad (4)$$

Находим мгновенное кинематическое передаточное отношение $i_{KO}^{(c)}$ от ковша к стойке в обратном движении (при неподвижной стреле ковш и стойка вращаются в одну сторону):

$$i_{KO}^{(c)} = \frac{-\omega_K^{(c)}}{-\omega_0^{(c)}} = \frac{\omega_K^{(c)}}{\omega_0^{(c)}} = -\frac{\omega_K^{(c)}}{\omega_C^{(0)}}.$$

Тогда $i_{KC}^{(0)} = i_{KO}^{(c)} + 1$, и так как $i_{KO}^{(c)} = \frac{h_1 h_3}{h_2 h_4}$, то

$$i_{KC}^{(0)} = \frac{h_1 h_3}{h_2 h_4} + 1 = 1 - \frac{\omega_K^{(c)}}{\omega_C^{(0)}}.$$

Окончательно выражение (2) запишем так:

$$F_{III} = \frac{(F_{KГ}L + F_{П}B)\sin\alpha_C^{(o)} + F_{KГ}h_5(2 - i_{KC}^{(o)})}{Z_C h_{Ц} \eta_{III}}. \quad (5)$$

Рассмотрим случаи, когда суммарный момент от реактивных усилий в ковшовых гидроцилиндрах равен нулю.

Первый случай.

Умножив выражение (1) на h_1 , получим:

$$\frac{F_{KГ}h_1h_3h_5}{h_2h_4} = 0.$$

Поскольку $h_2h_4 \neq \infty$, следовательно $h_1 \cdot h_3 \cdot h_5 = 0$; так как $F_{KГ} > 0$, $h_3 > 0$ и $h_5 > 0$, то $h_1 = 0$ ($i_{KC}^{(o)} = 1$), что означает отсутствие выравнивания ковша.

При этом

$$F_{III} = \frac{(F_{KГ}L + F_{П}B)\sin\alpha_C^{(o)} + F_{KГ}h_5i_{KC}^{(o)}}{Z_C h_{Ц} \eta_{III}}. \quad (6)$$

Второй случай.

При $h_5 = 0$ имеем $i_{ЦК} = 0$, что соответствует углу между прямой АК и вертикалью $\alpha_K^{(o)} = 0$. В этом случае

$$F_{III} = \frac{(F_{KГ}L + F_{П}B)\sin\alpha_C^{(o)}}{Z_C h_{Ц} \eta_{III}}. \quad (7)$$

В остальных случаях, когда $i_{KC}^{(o)} < 1$ или $i_{KC}^{(o)} > 1$, усилие в стреловых гидроцилиндрах соответственно увеличивается и уменьшается по сравнению с первым рассмотренным случаем.

Рассмотрим, как движется ковш при указанных передаточных отношениях:

$$\Delta\alpha_K^{(o)} = \Delta\alpha_C^{(o)}i_{KC}^{(o)} = \Delta\alpha_C^{(o)}(i_{KO}^{(o)} + 1),$$

где $\Delta\alpha_K^{(o)}$ – приращение угла поворота ковша, участвующего в двух вращательных движениях, относительно мгновенной оси вращения;

$\Delta\alpha_C^{(o)}$ – приращение угла поворота стрелы (по часовой стрелке) относительно неподвижной точки О портала.

При $i_{KC}^{(o)} = 0$ имеем $i_{KO}^{(o)} = -1$; $-\omega_K^{(o)} = \omega_C^{(o)}$; $-\Delta\alpha_K^{(o)} = \Delta\alpha_C^{(o)}$ – соответствует поступательному движению ковша;

при $i_{KC}^{(o)} < 0$ имеем $i_{KO}^{(o)} < -1$; $-\omega_K^{(o)} > \omega_C^{(o)}$; $-\Delta\alpha_K^{(o)} > \Delta\alpha_C^{(o)}$ – ковш разгружается;

при $i_{KC}^{(o)} > 0$ имеем $i_{KO}^{(o)} > -1$; $-\omega_K^{(o)} < \omega_C^{(o)}$; $-\Delta\alpha_K^{(o)} < \Delta\alpha_C^{(o)}$ – ковш запрокидывается,

где $-\Delta\alpha_K^{(o)}$ – приращение угла поворота ковша относительно стрелы.

Знак «минус» в приведенных выражениях указывает, что стрела и ковш вращаются в разные стороны.

При анализе динамики режим движения рабочей жидкости в стреловых гидроцилиндрах принимаем установившимся, и ее податливость не учитываем (скорость выдвигения штоков постоянна).

При этом $h_{Ц}$, h_5 , $\omega_C^{(o)}$, $\omega_K^{(o)}$ и $\dot{\omega}_K^{(o)}$ будут переменными и выражение (5) с учетом сил инерции погрузочного оборудования и ковша с грузом запишется так:

$$F_{III} = \frac{\left[(F_{КГ} + J_{КГ} \frac{d^2 \alpha_K^{(o)}}{dt^2})L + (F_{II} + J_{II} \frac{d^2 \alpha_C^{(o)}}{dt^2})B \right] \sin \alpha_C^{(o)} + (F_{КГ} + J_{КГ} \frac{d^2 \alpha_K^{(o)}}{dt^2})h_5 \cdot \frac{-d\alpha_K^{(o)}}{dt}}{Z_C h_{Ц} \eta_{III}},$$

или

$$F_{III} = \frac{\left[(F_{КГ} + J_{КГ} \frac{d^2 \alpha_K^{(o)}}{dt^2})L + (F_{II} + J_{II} \frac{d^2 \alpha_C^{(o)}}{dt^2})B \right] \sin \alpha_C^{(o)} + (F_{КГ} + J_{КГ} \frac{d^2 \alpha_K^{(o)}}{dt^2})h_5 \left(1 + \frac{-d\alpha_K^{(o)}}{dt} \right)}{Z_C h_{Ц} \eta_{III}}, \quad (8)$$

где $J_{КГ}$, J_{II} – соответственно моменты инерции ковша с грузом относительно мгновенной оси вращения и погрузочного оборудования относительно оси вращения стрелы;

$\alpha_K^{(o)}$ – угол поворота ковша относительно мгновенной оси вращения.

При поступательном движении ковша $\alpha_K^{(o)} = \text{const}$ и $-\alpha_K^{(o)} = \alpha_C^{(o)}$, следовательно, выражение (8) после преобразований имеет вид:

$$F_{III} = \frac{[F_{КГ}L + (F_{II} + F_{ИО})B] \sin \alpha_C}{Z_C h_{Ц} \eta_{III}},$$

где $F_{ИО} = J_{II} \frac{d^2 \alpha_C^{(o)}}{dt^2}$ – сила инерции погрузочного оборудования без учета силы тяжести ковша с грузом.

Заключение

Таким образом, наилучшей кинематической схемой с позиции энергосбережения будет та, у которой ковш в процессе подъема постоянно запрокидывается, лучшие показатели – у схемы с поступательным движением ковша и наилучшие – у схемы с опрокидыванием ковша. Возможность обеспечения строго поступательного движения ковша для погрузчика с Z-образным перекрестным рычажным механизмом рассмотрена в работе [3]. Поскольку уменьшать угол $\alpha_K^{(o)}$, определяющий

положение ковша к вертикали при его подъеме, возможно до определенных пределов во избежание высыпания материала, можно рекомендовать производить разгрузку ковша совмещенным способом (при одновременном подъеме стрелы) на конечном участке движения стрелы, что даст значительное энергосбережение и экономический эффект, выражающийся в экономии топлива и увеличении ресурса гидрооборудования вследствие уменьшения силы $F_{\text{ш}}$, а следовательно, и давления в стреловых гидроцилиндрах в процессе разгрузки ковша.

27.09.13

Литература

1. Базанов, А.Ф. Самоходные погрузчики / А.Ф. Базанов, Г.В. Забегалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 406 с.
2. Справочник конструктора дорожных машин. – 2-е изд., перераб. и доп. / И.П. Бородачев [и др.]; под ред. И.П. Бородачева. – М.: Машиностроение, 1973. – 503 с.
3. Система слежения и управления рабочим органом одноковшового фронтального погрузчика: пат. 16237 Респ. Беларусь, МПК 16237 С2 Е 02F 343 / А.Н. Смирнов; заявитель ОАО «Амкодор». – № а 20091596; заявл. 12.11.09; опубл. 30.08.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 4. – С. 109.

УДК 631.312

**Н.Д. Лепешкин, П.П. Костюков,
Г.И. Павловский, Е.Л. Шибут**

*(РУП «НПЦ НАН Беларусі по
механізацыі сельскага гаспадарства»,
г. Мінск, Рэспубліка Беларусь)*

**РЕЗУЛЬТАТЫ
ИСПЫТАНИЙ ПЛУГА
ПОЛУНАВЕСНОГО
ОБОРОТНОГО
ПО-(6+4)-40/45**

Введение

В системе традиционного земледелия в Республике Беларусь еще широко применяется вспашка почв. Она обеспечивает оборачивание пласта, крошение и перемешивание почвы, позволяет заделывать в почву все пожнивные остатки и органические удобрения, а также уничтожать сорняки. Кроме того, в процессе вспашки к поверхности почвы перемещаются питательные вещества, вымытые водой в нижние части пахотного горизонта.

С целью улучшения качества вспашки, исключения дополнительных операций по разбивке полей на загоны и разделке развалных борозд, а также повышения производительности пахотных агрегатов в Республике Беларусь в первой из стран СНГ начала внедряться в сельскохозяйственных предприятиях гладкая вспашка вместо загонной. В настоящее время уже освоено производство семейства навесных и по-

дунавесных оборотных плугов, отличающихся количеством корпусов – от 3 до 9 штук, агрегируемых с тракторами мощностью 80–300 л.с. [1]. При этом плуги с максимальным количеством корпусов 8–9 штук обеспечивают оптимальную загрузку тракторов мощностью 250–300 л.с. ПО «Минский тракторный завод» разработало и выпускает тракторы «Беларус-3522» и «Беларус-3522.5» мощностью 350 л.с. Как показывает опыт ведущих фирм Европы, для их загрузки должны применяться десятикорпусные плуги.

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан полунавесной оборотный плуг ПО-(6+4)-40/45 [2], который предназначен для гладкой вспашки различных почв, в том числе засоренных камнями, с удельным сопротивлением до 0,09 МПа на глубину до 27 см.

Плуг может применяться на вспашке полей, вышедших из-под однолетних и многолетних трав, зерновых, овощных и технических культур, с абсолютной влажностью почвы в обрабатываемом слое не выше 25 % и уклоном не более 80. Высота стерни и травостоя не должна превышать 25 см. Наличие на поле скоплений остатков необранной соломы не допускается.

Отличительными особенностями плуга являются шарнирное крепление корпусов к раме, обеспечивающее установку их при вспашке по направлению линии тяги, рессорная система защиты корпусов, регулирование ширины захвата корпусов в пределах от 40 до 45 см, возможность вести трактор колесом как в борозде, так и возле борозды.

Плуг оборудуется двумя катковыми приставками для дробления глыб, уплотнения почвы и выравнивания поверхности поля. Используется с приставками при подготовке почвы для возделывания сельскохозяйственных культур, а для зяблевой вспашки применяется без приставок.

Конструктивная схема плуга соответствует лучшему зарубежному аналогу (десятикорпусному плугу PW 100-10 фирмы «Kverneland» (Норвегия)). В центре плуга располагается опорная тележка, а спереди тележки размещаются на раме шесть корпусов и четыре – сзади.

Плуг агрегируется с тракторами мощностью не менее 350 л.с. («Беларус-3522» и их зарубежными аналогами).

Технологический процесс вспашки заключается в следующем: при работе плуга правооборачивающие и левооборачивающие корпуса попеременно вступают в работу на прямом и обратном ходу агрегата, благодаря чему оборот пласта всегда производится в одну сторону и агрегат работает челночным способом. При этом долота и лемеха корпусов подрезают пласты почвы и подают их на отвалы. Отвалы поднимают пласты почвы, частично крошат и оборачивают их. Отвал углоснима срежет угол оборачиваемого пласта и бросает его на дно борозды, образованной предыдущим корпусом.

Приставки катками взаимодействуют с почвой, перекапываясь по ее поверхности. При этом происходит дробление глыб, уплотнение и выравнивание верхнего слоя почвы.

Результаты испытаний и их анализ

Опытный образец плуга ПО-(6+4)-40/45 был изготовлен РУП «Сморгонский агрегатный завод», в 2012 году проведены его приемочные испытания в ГУ «Белорусская МИС» (протокол № И 061 (187) Б½-2012). Испытания проводились в агрегате с трактором «Беларус-3522» в РСДУП «Экспериментальная база «Зазерье» Пуховичского района и в МРУП «Агрокомбинат «Ждановичи» Минского района на полях после уборки зерновых и технических культур, а также после скашивания однолетних и многолетних трав.

Общий вид плуга ПО-(6+4)-40/45 в рабочем положении представлен на рисунке 41.



Рисунок 41 – Плуг полунавесной оборотный ПО-(6+4)-40/45 в агрегате с трактором «Беларус-3522» на вспашке поля со стерней зерновых культур

Условия испытаний плуга ПО-(6+4)-40/45 приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Условия испытаний плуга

Наименование показателя	Значение показателей	
	фон 1	фон 2
Агрофон	стерня зерновых	многолетние травы
Тип почвы по механическому составу	дерново-подзолистая, средний суглинок	
Рельеф (уклон поля), град.	ровный	
Влажность поля в слое 0–20 см, %	14,8	20,9
Твердость почвы в слое 0–20 см, МПа	3,1	4,0
Высота растительных и пожнивных (поукосных) остатков, см	17	14
Масса растительных и пожнивных (поукосных) остатков, г/м ²	370	550
Количество камней, шт./м ²	0,8	0,4
Средний размер камней, мм	77	56

Агротехнические показатели качества выполнения технологического процесса вспашки, эксплуатационно-технологические показатели и показатели энергопотребления, полученные в процессе испытаний плуга ПО-(6+4)-40/45, приведены в таблице 8.

Агротехнические показатели плуга ПО-(6+4)-40/45 определялись на двух агрофонах: стерне зерновых и пласте многолетних трав. Тип почвы – дерново-подзолистая, средний суглинок. Влажность почвы в слое 0–20 см составляла от 14,8 до 20,9 %, а твердость в этом слое была 3,1–4,0 МПа. Высота пожнивных остатков равнялась 17 см, а поукосных – 14 см, их масса при этом составляла 370 и 550 г/м². Наличие камней в пахотном слое было 0,4–0,8 шт./м² со средним размером 56–77 мм. В результате испытаний установлено, что плуг ПО-(6+4)-40/45 качественно выполняет основную обработку почвы. Он обеспечивает вспашку на заданную глубину с отклонением по глубине от 0 до +1 см. Рабочая ширина захвата плуга на двух агрофонах была больше установочной. Отклонение составляло от 3 до 33 см (0,7–6,8 %). Глубина заделки плугом пожнивных (поукосных) и растительных остатков находилась в пределах от 12 до 14 см с полнотой заделки 99–100 %. При вспашке поля со стерней зерновых культур гребнистость поверхности пашни составила 3 см во всех вариантах использования плуга, а при вспашке полей с многолетними травами гребнистость пашни при работе без приставок составила 4 см, с приставками – 3 см. Крошение пласта почвы (содержание комков размером до 50 мм) при вспашке без приставок составляло 90,0–94,2 %, а с приставками – 93,4–97,8 %. Все вышеприведенные агротехнические показатели, характеризующие качество вспашки, соответствуют требованиям СТБ 1388–2003 [3].

Эксплуатационно-технологические и энергетические показатели плуга определялись так же, как и агротехнические, на двух агрофонах. Плуг использовался без катковых приставок и с приставками, а его установочная ширина захвата составляла 4,0 и 4,5 м.

В результате испытаний установлено, что при глубине вспашки 20 см производительность плуга при работе без приставок и ширине захвата 4 м за 1 час сменного времени составила 2,21 га, а при ширине захвата 4,5 м – 2,48 га. При этом удельный расход топлива за сменное время работы соответственно был равен 17,9 и 16,3 кг/га. При работе плуга с приставками и ширине захвата 4,0 и 4,5 м эти показатели соответственно были равны: производительность – 2,25 и 2,65 га, расход топлива – 17,9 и 15,1 кг/га. Технологический процесс вспашки при наличии стерни массой 370 г/м² и травы 550 г/м² плугом выполняется надежно. Коэффициент надежности составил 0,99.

Удельные энергозатраты плуга во всех его комплектациях изменялись в пределах от 51,88 до 62,5 кВт·ч/га, а максимальная эффективная мощность двигателя трактора составила 230,4 кВт. По мощности,

Таблица 8 – Агротехнические, эксплуатационно-технологические и энергетические показатели плуга

Наименование показателя	Значение показателей							
	фон 1				фон 2			
	плуг без приставок		плуг с приставками		плуг без приставок		плуг с приставками	
	Установочная ширина захвата плуга, м							
	4,0	4,5	4,0	4,5	4,0	4,5	4,0	4,5
<i>Агротехнические показатели вспашки</i>								
Установочная глубина обработки, см	20	20	20	20	20	20	20	20
Средняя глубина обработки, см	21	20	21	20	21	20	21	20
Отклонение средней глубины от заданной, ±см	+1	0	+1	0	+1	0	+1	0
Средняя рабочая ширина захвата плуга, см	4,15	4,53	4,15	4,53	4,11	4,83	4,11	4,83
Отклонение рабочей ширины захвата плуга от установочной, %	3,6	0,7	3,6	0,7	2,7	6,8	2,7	6,8
Глубина заделки пожнивных (поукосных) и растительных остатков, см	14	12	15	12	14	13	13	13
Полнота заделки пожнивных (поукосных) и растительных остатков, %	100	100	100	100	99	99	99	99
Гребнистость поверхности пашни, см:								
– вспашка без приставок	3	3	–	–	4	4	–	–
– вспашка с приставками	–	–	3	3	–	–	3	3
Крошение пласта почвы (содержание комков размером до 50 мм), %:								
– вспашка без приставок	92,4	90,0	–	–	94,2	93,4	–	–
– вспашка с приставками	–	–	96,4	97,0	–	–	97,8	97,2
<i>Эксплуатационно-технологические показатели</i>								
Глубина обработки, см	20	20	20	20	20	20	20	20
Рабочая скорость, км/ч	9,0	9,5	10,0	9,8	9,0	9,0	9,2	9,8
Производительность за 1 час, га:								
– основного времени	3,6	4,28	4,00	4,41	3,6	4,05	3,68	4,41
– сменного времени	2,21	2,59	2,39	2,65	2,21	2,48	2,25	2,65
– эксплуатационного времени	2,16	2,54	2,34	2,59	2,16	2,43	2,20	2,59
Удельный расход топлива за сменное время, кг/га:								
– вспашка без приставок	17,9	15,3	–	–	17,9	16,3	–	–
– вспашка с приставками	–	–	16,3	15,1	–	–	17,9	15,1
Коэффициент надежности технологического процесса, %	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
<i>Показатели энергопотребления плуга</i>								
Эффективная мощность двигателя, кВт	225,0	225,9	226,3	230,4	225,0	229,9	227,1	228,8
Удельные энергозатраты на физическую единицу наработки за основное время работы, кВт·ч/га	62,50	52,78	56,57	52,24	62,50	56,76	61,71	51,88

затрачиваемой на выполнение вспашки на глубину 20 см, плуг ПО-(6+4)-40/45 нормально агрегатируется с тракторами мощностью 350 л.с.

За период испытаний на надежность наработка плуга составила 170 часов основного времени (годовая нормативная наработка по СТБ 1616–2011 [4] – 150 часов). Производилась вспашка полей после уборки зерновых и технических культур, а также после скашивания однолетних и многолетних трав. Всего было вспахано 680 га. При этом детали корпусов плуга (долота, лемеха, отвалы, полевые доски) имели допустимый износ и пригодны к дальнейшей эксплуатации. Коэффициент готовности плуга по оперативному времени составил 0,98, а с учетом организационного времени – 0,97.

Показатели приспособленности агрегата к техническому обслуживанию имели следующие значения: ежесменное время технического обслуживания равно 0,2 часа, а удельная суммарная оперативная трудоемкость технических обслуживаний – 0,04 чел.-ч/ч, что соответствует требованиям СТБ 1616–2011.

Конструкция плуга соответствует требованиям техники безопасности. Масса плуга без приставок – 7070 кг, а с приставками – 7740 кг.

Анализ экономических показателей плуга ПО-(6+4)-40/45 свидетельствует, что в сравнении с плугом PW 100-10 фирмы «Kverneland» годовой приведенный экономический эффект при загрузке 150 часов составляет 479 108 тысяч рублей, а срок окупаемости абсолютных капитальных вложений – 0,4 года.

Заключение

Плуг полунавесной оборотный ПО-(6+4)-40/45 без катковых приставок и с приставками качественно выполняет гладкую вспашку с заделкой растительных остатков полей со стерней зерновых культур и с многолетними травами.

При ширине захвата 4,5 м и глубине обработки суглинистых почв 20 см нормально агрегатируется с энергонасыщенными тракторами мощностью 350 л.с.

18.09.13

Литература

1. Плуги / Каталог «Belarus». – ПО «Минский тракторный завод», 2013. – С. 74–76.
2. Лепешкин, Н.Д. Плуг полунавесной оборотный ПО-(6+4)-40/45 / Н.Д. Лепешкин, П.П. Костюков, Г.И. Павловский, Е.Л. Шибут, Ж.В. Шевчук // Сельскохозяйственная научно-техническая и рыночная информация. – 2013. – № 9. – С. 40–43.
3. Плуги тракторные лемешные общего назначения. Общие технические условия: СТБ 1388–2003. – Введ. 01.11.2003. – Минск: Госстандарт, 2003. – 12 с.
4. Техника сельскохозяйственная. Показатели надежности: СТБ 1616–2011. – Введ. 01.01.2012. – Минск: Госстандарт, 2011. – 14 с.

**Н.Д. Лепешкин, А.В. Сядура,
Н.С. Козлов, В.В. Мижурин**
(РУП «НПЦ НАН Беларуси по
механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)

К ВЫБОРУ КОНСТРУКТОРСКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ШИРОКОЗАХВАТНОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕ- ПОСЕВНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Введение

Совмещение технологических операций путем создания и широко-го применения комбинированных машин – основное направление модернизации технологий обработки почвы и посева в целях повышения качества выполняемых работ, плодородия почвы и снижения ресурсопотребления.

Для совмещения операций предпосевной обработки почвы и посева зерновых и других культур в республике освоены в производстве и выпускаются в ОАО «Брестский электромеханический завод» почвообрабатывающе-посевные агрегаты АПП-3, АПП-3А, АПП-4А, АПП-6АБ, АППМ-4, АППМ-6, в ОАО «Лидагропромаш» – АПП-6, АПП-6А, АПП-6Г, АПП-6Д, в ОАО «Витебский мотороремонтный завод» – АКПД-6, в ОАО «Бобруйсксельмаш» – АППА-6, АППА-6-01, АППА-6-02. Применение этих агрегатов обеспечило повышение производительности труда до 60 % и снижение расхода топлива на 1,5–2 кг/га по сравнению с раздельным выполнением операций предпосевной подготовки почвы агрегатами семейства АКШ (АКШ-3,6, АКШ-6, АКШ-7,2) и посева сеялками СПУ (СПУ-3, СПУ-4, СПУ-6).

Вместе с тем в освоенных в республике почвообрабатывающе-посевных агрегатах максимальная ширина захвата составляет от 3 до 6 метров, что обеспечивает оптимальную загрузку тракторов мощностью до 300 л.с. Поскольку в настоящее время в республике разработаны и проходят испытания тракторы мощностью 350–420 л.с., то для их загрузки должны быть разработаны посевные агрегаты шириной захвата 9, 12 и более метров.

Наряду с загрузкой создаваемых тракторов повышенной мощности разработка широкозахватного почвообрабатывающе-посевного агрегата обусловлена и имеющимися в республике условиями их эффективного использования. Это в первую очередь поля длиной гона 600 м и более, общая площадь которых составляет 584,6 тыс. га. Поэтому обоснованный выбор схемы перспективного агрегата для условий Республики Беларусь с учетом мирового опыта является весьма актуальной задачей.

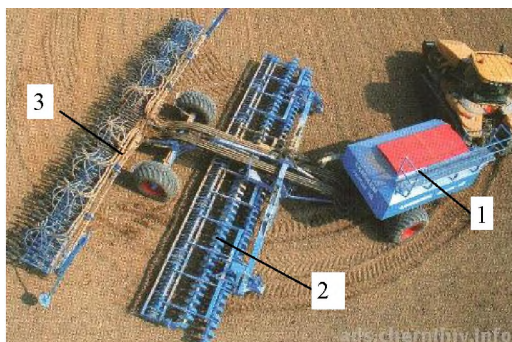
Основная часть

До недавнего времени выпускаемые большинством фирм Западной Европы («Kverneland», «Horsh»), Канады («Morris», «Bourgaul»), США

(«JohnDeer»), Украины («Чырвона Зірка»), России («Агрохиммаш») широкозахватные посевные агрегаты предназначались, в основном, для посева в стерню. При этом высев семян осуществлялся через культиваторные лапы, что для условий Республики Беларусь было неприемлемо, так как они не могли обеспечить требуемой глубины заделки зерновых, которая для республики составляет 2–5 см, а тем более – мелкосеменных культур. Кроме того, в таких агрегатах равномерность глубины заделки семян могла быть обеспечена лишь на ровных полях, так как копирование рельефа поля осуществлялось только секциями рамы культиватора. Недостатком этих агрегатов являлось и то, что расположенный после культиватора посевной бункер своими опорными колесами переуплотнял посеvy.

Для устранения этих недостатков в последние годы рядом фирм разработаны посевные агрегаты, выполненные по схеме: впереди – посевной бункер, затем – почвообрабатывающая часть в виде дисковой бороны или культиватора, далее – прикатывающий каток и сошниковый брус. Такая конструкция агрегатов позволяет разделить технологический процесс подготовки почвы и посева и обеспечить требуемую, в том числе и мелкую, заделку семян по глубине, а также обеспечить более равномерную их заделку по ширине захвата агрегата, независимо от неровности поля.

Известными выполненными по этой схеме являются агрегаты «Янтарь 12 + Гелиодор 12 DS» фирмы «Lemken» (Германия) (рисунок 42), модель 1910 + 730 LL фирмы «JohnDeer» (США) (рисунок 43), ПК «Прогресс» 03.945/64-V 12 000 фирмы «Агрохиммаш» (Россия), ТН 12 «Terminator» фирмы «Hatzenbiehler» (Австрия).



- 1 – посевной бункер;
- 2 – дисковая борона;
- 3 – сошниковый брус

*Рисунок 42 – Почво-
обрабатывающе-
посевной агрегат
«Янтарь 12 +
Гелиодор 12 DS»
фирмы «Lemken»*

Наибольший интерес среди этих агрегатов представляет ТН 12 «Terminator», так как на сегодняшний день он не имеет аналогов в плане multifunctionality и способности выполнять все основные технологические операции обработки почвы, внесения удобрений и посева

различных культур. Конструктивная особенность его состоит в том, что к посевному бункеру присоединяется универсальная рама, на которую могут монтироваться по мере необходимости сменные секции культиватора для предпосевной подготовки почвы со стрелчатыми или долотообразными лапами на S-образной стойке, которые подрезают сорняки, рыхлят и выравнивают почву (рисунок 44), либо секции с дисковыми рабочими органами (дискаторы), обрабатывающие почву на глубину до 15 см (рисунок 45).



- 1 – посевной бункер;
- 2 – культиватор;
- 3 – сошниковый брус

Рисунок 43 – Почво-обрабатывающе-посевной агрегат 730LL фирмы «John Deer»



Рисунок 44 – Почвообрабатывающе-посевной агрегат «Terminator» фирмы «Hatzenbichler» с установленными на универсальной раме секциями культиваторных почвообрабатывающих рабочих органов

Такой набор сменных рабочих органов позволяет использовать посевной комплекс как в системе традиционной отвальной, так и минимальной мульчирующей обработки почвы.

Установленные на агрегате сменные почвообрабатывающие секции представляют собой отдельные орудия шириной захвата 3 метра и могут монтироваться как на основной раме агрегата, так и использоваться отдельно, как самостоятельные орудия с тракторами малой мощности. Это позволяет отказаться от приобретения таких агрегатов, как широкозахватный культиватор и дискатор, поскольку, снимая сошниковый брус,

мы получаем широкозахватный почвообрабатывающий агрегат, которым можно пользоваться не только на посеве, но и на проведении других обработок.



Рисунок 45 – Почвообрабатывающе-посевной агрегат «Terminator» фирмы «Hatzenbichler» с установленными на универсальной раме секциями дисковых почвообрабатывающих рабочих органов

Наряду с приведенными преимуществами данная схема агрегата позволяет его использовать не только для посева зерновых, но и пропашных культур (кукурузы, свеклы, подсолнечника, сои и т.д.). Для чего достаточно отсоединить от основной рамы сошниковый брус для посева зерновых, а вместо него установить секции для точного высева пропашных культур (рисунок 46).



Рисунок 46 – Почвообрабатывающе-посевной агрегат «Terminator» фирмы «Hatzenbichler» с секциями для посева пропашных культур

Таким образом, указанный зарубежный почвообрабатывающе-посевной агрегат может служить прототипом для разработки отечественного агрегата. При этом, учитывая возможности конструкции агрегата, а также агротребования выполнения основных технологических операций весеннего закрытия влаги и удобрений, предпосевной подготовки

почвы, обработки пласта трав, лущения жнивья, послеуборочной обработки агрофонов на зябь в системе традиционного земледелия, почвообрабатывающая часть агрегата для условий Республики Беларусь должна комплектоваться сменными секциями: 1) культиватора с лапами на S-образных стойках (типа агрегата АКШ-6-02) с устройствами для внесения удобрений в бороздки (рисунок 47 а); 2) чизельного культиватора на пружинных стойках с устройствами для внесения удобрений в бороздки (рисунок 47 б); 3) дискатора со сферическими дисками и устройствами для внесения удобрений в бороздки.



а)



б)

а) лапа на S-образной стойке; б) лапа на чизельной пружинной стойке

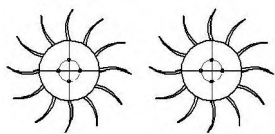
Рисунок 47 – Лаповые рабочие органы с устройством для внесения минеральных удобрений

В системе почвозащитного земледелия выполняются следующие основные технологические операции:

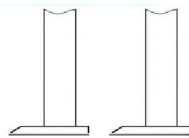
- первая мульчирующая обработка (на глубину до 12 см) стерни с разбросанной измельченной соломой после уборки колосовых предшественников с внесением азотных удобрений;
- вторая мульчирующая обработка (на глубину до 8 см) для уничтожения сорняков и внесения основной дозы удобрений;
- предпосевная мульчирующая обработка на глубину 4–6 см;
- обработка пласта многолетних трав;
- глубокая (25–27 см) обработка агрофонов на зябь под посев пропашных культур (свеклы, картофеля, кукурузы и др.).

Для выполнения технологических операций в системе почвозащитного земледелия почвообрабатывающая часть почвообрабатывающего агрегата должна комплектоваться секциями:

- 1) дискатора со сферическими дисками и устройством для внесения удобрений;
- 2) дискатора с игольчатыми дисками (рисунок 48 а);
- 3) плоскорезов (рисунок 48 б).



а) игольчатые диски; б) плоскорезы



б)

Рисунок 48 – Рабочие органы для выполнения технологических операций в системе почвозащитного земледелия



Рисунок 49 – Трехсекционный бункер с загрузочным устройством

Зарубежный опыт позволяет констатировать, что агрегат должен иметь трехсекционный бункер и обеспечивать высев семян, основной и стартовой дозы минеральных удобрений. При этом основная доза должна вноситься в бороздки, образованные культиваторными лапами или дисками. Кроме того, бункер должен быть оборудован загрузочным устройством (рисунок 49).

Заключение

Перспективный широкозахватный почвообрабатывающе-посевной агрегат для условий Республики Беларусь должен быть выполнен по схеме: впереди – трехсекционный посевной бункер для высева семян, основной и стартовой дозы минеральных удобрений, затем – установленная на основной раме с возможностью самостоятельного использования почвообрабатывающая часть в виде культиватора или дисковой бороны (дискатора) с прикатывающим катком, далее – присоединенный к основной раме сошниковый брус с сошниками для рядового посева зерновых или секции для точного высева пропашных культур.

сошниками для рядового посева зерновых или секции для точного высева пропашных культур.

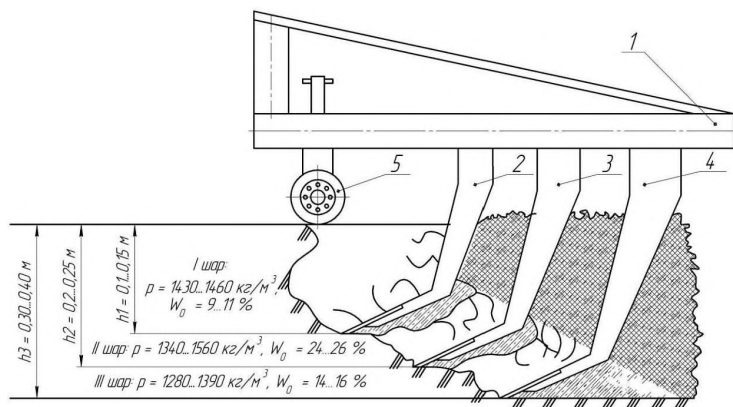
23.09.13

**МЕТОДИКА
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ
ОРГАНОВ ЯРУСНОГО
ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ
С ПОЧВОЙ****Введение**

В результате взаимодействия рабочих органов глубокорыхлителя с грунтом возникают силы сопротивления, которые влияют на положение основной рамы. В связи с тем, что рабочие органы жестко связаны с основной рамой, изменение ее положения приведет к изменению глубины хода и их сопротивления. Поэтому колебания рамы глубокорыхлителя во время работы будут способствовать ухудшению качества обработки почвы и повышению тягового сопротивления машины в целом [1–4].

Основная часть

В технологическую схему глубокорыхлителя с послойной обработкой почвы (рисунок 50) входят следующие элементы: жесткая рама 1, рабочие органы 2, 3, 4, опорные колеса 5. Глубокорыхлитель для послойной деблокированной обработки работает следующим образом:



1 – жесткая рама; 2, 3, 4 – рабочие органы; 5 – опорные колеса

Рисунок 50 – Конструктивно-технологическая схема глубокорыхлителя для послойной деблокированной обработки

рама 1 присоединяется к трактору, устанавливается нужная глубина обработки опорно-регулирующим механизмом с винтом. Во время технологического процесса передний ряд рабочих органов 2 сминает опреде-

ленный объем почвы на глубине 10–15 см, после этого, в процессе скола слоя почвы, остается свободное пространство, которое заполняется объемом грунта, деформированного рабочими органами второго ряда 3, смещенного относительно рабочих органов первого и третьего рядов в продольно-вертикальной плоскости. Второй ряд рабочих органов 3 в то же время сминает объем почвы на глубине 20–25 см, в процессе скола слоя почвы образуется аналогичное свободное пространство, которое заполняется объемом грунта, деформированного рабочими органами третьего ряда 4, которые работают на глубине 30–40 см [5].

В процессе теоретических исследований [6] построена математическая модель функционирования глубокорыхлителя с послойной обработкой почвы и получена зависимость угла поворота рамы относительно точки крепления глубокорыхлителя к трактору от размещения его рабочих органов:

$$\varphi = 4,4 - 19,9 \cdot x_3 + 93,3 \cdot x_3^2 - 8,3 \cdot x_4 - 48,3 \cdot x_3 \cdot x_4 + 24,9 \cdot x_4^2,$$

где φ – угол поворота рамы относительно точки крепления глубокорыхлителя к трактору;

x_3 – расположение рабочих органов первого ряда относительно второго по длине рамы, м;

x_4 – расположение рабочих органов третьего ряда относительно второго по длине рамы, м.

Проведенные теоретические исследования [6] позволили определить размещение рабочих органов глубокорыхлителя по длине на раме орудия, при котором амплитуда колебаний угла поворота рамы относительно точки крепления глубокорыхлителя к трактору является наименьшей: расстояние между рабочими органами первого и второго рядов $x_3 = 0,18...0,22$ м, расстояние между рабочими органами второго и третьего рядов $x_4 = 0,33...0,37$ м. Обосновано расстояние между рабочими органами глубокорыхлителя, которое обеспечивает обработку почвы без огрехов. При глубине хода рабочих органов $h_1 = 0,1...0,15$ м и $h_2 = 0,2...0,25$ м расстояние между ними должно быть $x_1 = 0,4...0,53$ м.

Цель исследований – разработать методику экспериментальных исследований для проверки и корректировки теоретических положений и выводов по обоснованию размещения рабочих органов на раме орудия.

Материалы и результаты исследований

Исследования проводились с применением метода математического планирования многофакторного эксперимента, который позволяет определить математические модели процессов в виде уравнений регрессии. В соответствии с поставленными задачами был выбран D-оптимальный план второго порядка для 4 факторов. Исходя из теоретических исследований, факторами эксперимента были выбраны расстояние между рабочими органами первого и второго ряда (по ширине) x_1 , глубина обработки

рабочими органами второго ряда x_2 , расположение рабочих органов первого ряда относительно второго по длине машины x_3 , расположение рабочих органов третьего ряда относительно второго по длине машины – x_4 (рисунок 51). Параметры и диапазоны их варьирования приведены в таблице 9. Матрица D-оптимального четырехфакторного плана второго порядка приведена в таблице 10.

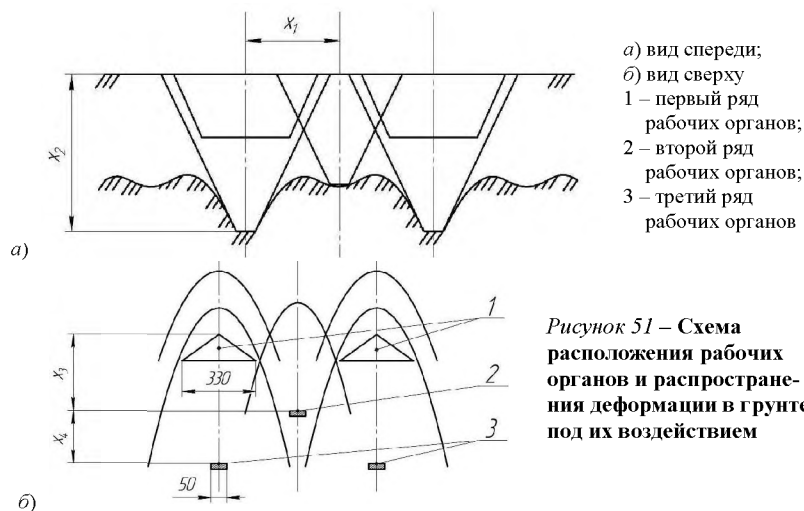


Рисунок 51 – Схема расположения рабочих органов и распространения деформации в грунте под их воздействием

Таблица 9 – Параметры варьирования в экспериментальных исследованиях

Обозначение фактора	Уровень факторов			Интервалы варьирования
	-1	0	+1	
x_1	0,35	0,50	0,65	0,15
x_2	0,20	0,30	0,40	0,10
x_3	0,15	0,25	0,35	0,10
x_4	0,25	0,45	0,65	0,20

букорыхлителя. Испытания проводились в соответствии с разработанной общей методикой в агрофирме «Дружба» Токмакского района Запорожской области, Украина. Агрофон – стерня озимой пшеницы после дискования. Тип почвы – темно-каштановая среднесуглинистая. Скорость агрегата – 1,67...3,33 м/с. Глубина обработки – 10...40 см.

Параметрами оптимизации в опытах выбраны качественные, количественные и энергетические показатели процесса рыхления почвы [2, 4]: K_p – показатель качества рыхления почвы, %; R_x – среднее значение тягового сопротивления рабочих органов, кН; σ_R – среднеквадратическое отклонение тягового сопротивления рабочих органов, кН.

Таблица 10 – Матрица планирования экспериментальных исследований

№ п/п	Факторы				Варианты геометрических параметров размещения рабочих органов и глубины обработки			
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1	x_2	x_3	x_4
1	+1	-1	0	-1	0,650	0,200	0,250	0,250
2	-1	+1	-1	-1	0,350	0,400	0,150	0,250
3	-1	-1	+1	-1	0,350	0,200	0,350	0,250
4	-0,25	+1	+0,25	-0,25	0,463	0,400	0,275	0,400
5	-1	+1	+1	-1	0,350	0,400	0,350	0,250
6	0	-0,25	-1	-1	0,500	0,275	0,150	0,250
7	0	-1	+1	+1	0,500	0,200	0,350	0,650
8	+1	+1	-1	+0,5	0,650	0,400	0,150	0,550
9	-1	+1	+1	+1	0,350	0,400	0,350	0,650
10	+1	-0,25	+1	0	0,650	0,275	0,350	0,450
11	-1	-0,25	0	+1	0,350	0,275	0,250	0,650
12	+1	-1	-1	+1	0,650	0,200	0,150	0,650
13	-1	-1	-1	0	0,350	0,200	0,150	0,450
14	-0,5	+1	-1	+1	0,425	0,400	0,150	0,650
15	+1	+1	+0,5	+1	0,650	0,400	0,300	0,650

Полевая установка состояла из исследуемого глубокорыхлителя, рамки с тензометрическим звеном и регистрирующей аппаратуры (рисунок 52а). Регистрирующая аппаратура включала осциллограф К12-22 и тензоусилитель «Топаз-3», который используется как источник бесперебойного питания тензомоста датчика (рисунок 52б). Хорошая чувствительность тензодатчика позволяет фиксировать показания, которые поступают с тензомостов, без усиления сигнала (рисунок 52в). Питание устройств осуществляется от двух аккумуляторных батарей СТ-175, которые устанавливаются в кабине трактора.



Рисунок 52 – Общий вид экспериментальной полевой установки (а), регистрирующей аппаратуры (б) и кольцевого тензовена (в)

Заклученне

1. Разработана методика эксперыментальных исследований для проверки и корректировки теоретических положений и выводов по обоснованию размещения рабочих органов на раме орудия глубокорыхлителя.

2. Обоснован выбор факторов эксперыментальных исследований: расстояние между рабочими органами первого и второго ряда (по ширине) x_1 , глубина обработки рабочими органами второго ряда x_2 , расположение рабочих органов первого ряда относительно второго по длине машины x_3 , расположение рабочих органов третьего ряда относительно второго по длине машины x_4 .

3. Определены критерии оптимизации (показатель качества рыхления почвы K_p , среднее значение тягового сопротивления рабочих органов R_x , среднеквадратическое отклонение тягового сопротивления рабочих органов σ_R) и план эксперыментальных исследований (D-оптимальный план второго порядка для 4 факторов).

Літэратура

1. Shevchenko, I. Doskonalenie technologii i narzedzi uprawowych w aspekcie wlasciwosci agrofizycznych gleb / I. Shevchenko. – Warszawa: IBMER (Poland), 1997. – S. 111.
2. Шевченко, И.А. Экспериментальное обоснование расстояния между ступенями на ступенчатом лемехе / И.А. Шевченко, А.С. Кушнарев // Техника в сельском хозяйстве. – 1991. – № 6.
3. Зеленин, А.Н. Основы разрушения грунтов механическим способом / А.Н. Зеленин – М.: Машиностроение, 1968. – 376 с.
4. Shevchenko, I. Agrotechnological background of methods development for designing of technologies and soil tillage facilities / I. Shevchenko, N. Krughachkovskij // Internah. Conference ISTRO: Contemporary state and perspectives of the agronomical practicies after year 2000. – Brno (Czech Republic), 1999. – P. 68.
5. Глибокорозпушувач для пошарового деблокованого обробітку ґрунту: пат. 22390 Україна, МПК (2007.01) А 01В 13/16, А 01В 13/08. / І.А. Шевченко, Ю.М. Лабатюк, В.С. Пасічник, О.В. Білокопитов, С.М. Саньков; заявник і патентовласник Таврійська державна агротехнічна академія. – № у 2006 11600; заявл. 03.11.2006; опублік. 25.04.2007. – 2007. – Бюл. № 5.
6. Шевченко, І.А. Теоретичне обґрунтування розміщення робочих органів глибокорозпушувача на рамі знаряддя / І.А. Шевченко, Ю.М. Лабатюк // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2013. – Вип. 97, т. 1. – С. 168–176.

22.08.13

Введение

Многочисленные агрономические исследования и мировая практика показывают, что среди всех известных мероприятий по защите почв от эрозии наиболее эффективным является применение бесплужных минимальных обработок. Одна из задач при проведении таких обработок – качественное измельчение и заделка в почву пожнивных остатков.

Тщательное измельчение растительной массы и заделка ее в почву обеспечивают быстрое разложение органики за счет деятельности аэробных почвенных бактерий, перерабатывающих целлюлозу. Многолетний опыт послеуборочной заделки растительных остатков рапса, кукурузы и зеленых удобрений имеющимися техническими средствами (дисковыми боронами, культиваторами, дисколаповыми агрегатами) показывает, что не обеспечивается требуемое качество измельчения и заделки в почву остатков длинностебельных культур. В результате растительные остатки не имеют полного разложения к началу проведения позднелетних и весенне-полевых работ, что снижает биологическую активность почвы и увеличивает количество токсических веществ и зараженность возбудителями болезней. Все это отрицательно сказывается на развитии растений нового посева.

Совершенствовать же рабочие органы почвообрабатывающих машин с целью повышения качества их работы можно, только изучив существующие. Качественно решить данную задачу и выявить тенденции развития можно с помощью изучения патентной информации.

Основная часть

Для исследования уровня патентования рабочих органов для почвозащитного земледелия был проведен отбор патентов и авторских свидетельств по этому направлению.

Чтобы проанализировать тенденции развития рабочих органов почвообрабатывающих машин, отбор документов был произведен по фондам таких стран, как Россия, Германия, США, Япония, Франция, Великобритания, Беларусь. Патентные документы проанализированы за 19 лет – с 1994 по 2012 год.

Результат отбора документов по годам патентования представлен в таблице 11.

Для определения темпа роста патентования по странам и тенденций развития технического направления на основе патентной информации

используют, в основном, два метода: количественный и качественный. Первый метод имеет преимущество. Поэтому для выявления изобретательской активности можно построить зависимость [1, с. 18]:

$$N = f(T),$$

где N – число отобранных патентных документов за период с 1994 по 2012 годы;

T – время публикации, в годах.

Таблица 11 – Патентование рабочих органов почвообрабатывающих машин

Год	Страна подачи заявки							Итого
	Россия	Германия	США	Япония	Франция	Великобритания	Беларусь	
	Количество патентов, опубликованных заявок по годам подачи заявки (исключая патенты-аналоги)							
1994	1	1	1	1	–	–	–	4
1995	1	–	–	–	–	–	–	1
1996	1	1	1	–	1	–	1	5
1997	7	2	–	–	–	–	1	10
1998	4	5	5	–	–	–	1	15
1999	5	–	2	–	1	1	–	9
2000	1	–	–	–	–	–	1	2
2001	4	1	3	–	–	–	8	16
2002	5	–	–	–	–	–	2	7
2003	2	–	1	–	–	5	–	8
2004	5	1	–	–	2	–	1	9
2005	5	–	1	1	–	–	–	7
2006	5	–	–	–	–	1	–	6
2007	4	1	1	–	–	1	3	10
2008	1	–	–	–	–	–	2	3
2009	–	1	–	–	–	–	2	3
2010	6	–	–	–	–	–	2	8
2011	2	4	1	–	–	–	–	7
2012	3	0	1	0	0	0	0	4
Итого	62	17	17	2	4	8	24	134

Для большей наглядности представленных данных объединяем патенты стран дальнего зарубежья и стран СНГ. Тогда получаем кривые уровня патентования в странах СНГ и странах дальнего зарубежья (рисунк 53).

Для выравнивания динамического ряда потока патентных документов, исходя из внутренней логики, специфики и взаимосвязи процесса патентования, проводим аппроксимацию, то есть приближенное, более простое выражение динамического ряда с помощью полиномиального тренда.

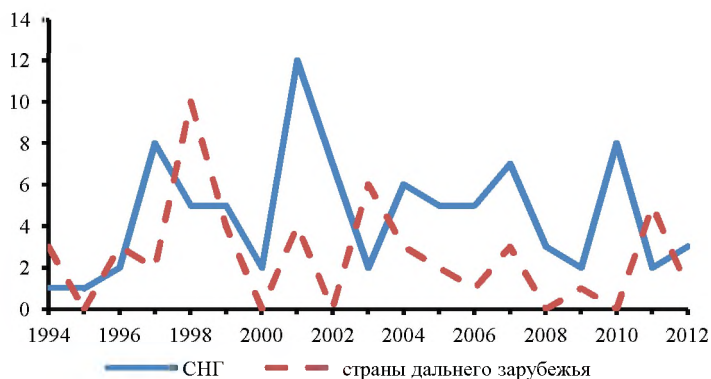


Рисунок 53 – Уровень патентования

Для выявления тенденций изобретательской активности вследствие нестабильности поступления патентных документов по годам публикации (кривая потока патентных документов зигзагообразная) проводим их регрессионный анализ на эмпирической зависимости параболического вида [2, с. 92–98]:

$$y = a + bt + ct^2,$$

где y – зависимая переменная, показывающая аппроксимированное поступление патентных документов по годам;

a, b, c – параметры системы уравнений;

t – порядковый номер года публикации патентного документа при исследуемой глубине поиска.

Численное значение параметров a, b, c определяем методом наименьших квадратов по формулам [3, с. 109–120]:

$$a = \frac{\sum \alpha_t y_t}{M}, \quad b = \frac{\sum \beta_t y_t}{M}, \quad c = \frac{\sum \gamma_t y_t}{M},$$

где $\alpha_t, \beta_t, \gamma_t, M$ – табличные значения, зависящие от глубины поиска патентных документов;

y_t – количество патентных документов по годам.

При глубине поиска $T = 19$ лет по таблице [3, с. 194] находим значение $\alpha_t, \beta_t, \gamma_t, M$. На основании чего находим $\sum \alpha_t y_t, \sum \beta_t y_t, \sum \gamma_t y_t$ отдельно для стран СНГ и стран дальнего зарубежья. После этого определяем параметры a, b, c уравнений тренда.

Тогда уравнение тренда с оценочными параметрами для стран СНГ имеет вид:

$$y = 0,61 + 1,0417 x - 0,05 x^2. \quad (1)$$

А уравнение тренда с оценочными показателями для стран дальнего зарубежья принимает вид:

$$y = 2,79 + 0,1108 x - 0,0105 x^2. \quad (2)$$

Тренды, представленные уравнениями (1) и (2) и характеризующие изобретательскую активность стран СНГ и стран дальнего зарубежья, показаны на рисунке 54.

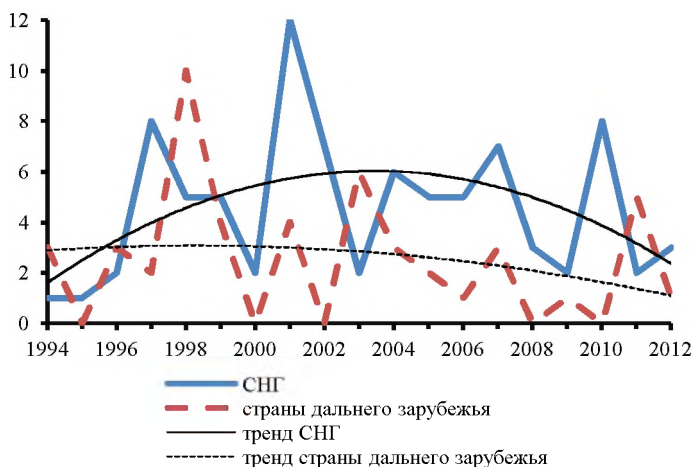


Рисунок 54 – Кривые потока патентных документов и тренды изобретательской активности

Из анализа линий тренда видно, что в странах дальнего зарубежья и в странах СНГ происходит снижение патентования рабочих органов машин для почвозащитного земледелия.

Заключение

Анализ полученных эмпирических уравнений линий тренда и построенных по ним графических зависимостей показывает, что уровень патентования рабочих органов машин для почвозащитного земледелия как в странах дальнего зарубежья, так и в странах СНГ снижается. При этом процесс снижения уровня патентования в странах СНГ идет медленнее.

Поскольку пик активности патентования в странах дальнего зарубежья на несколько лет опережал пик в странах СНГ, то можно сказать (что подтверждает и практика), в странах дальнего зарубежья повышенный спрос на новые машины для осуществления почвозащитных технологий появился раньше, чем в СНГ, а последующее снижение уровня патентования указывает, что в настоящее время рынок данной продукции практически полностью насыщен, спрос на нее падает.

Что касается стран СНГ, то в настоящее время спрос на машины для почвозащитного земледелия остается достаточно высоким, а спад динамики патентования в этих странах можно объяснить тем, что из-за

продолжительного срока рассмотрения заявок публикации патентов на многие из них еще отсутствуют.

27.09.13

Литература

1. Почвообрабатывающие машины для почвозащитного земледелия: обзорная информация / Т.Г. Гурова [и др.]. – М.: ВНИИПИ, 1991. – 100 с. – (Сельское хозяйство).
2. Румшиский, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л.З. Румшиский. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
3. Четыркин, Е.М. Статистические методы прогнозирования / Е.М. Четыркин. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Статистика, 1977. – 200 с.

УДК 631.171:621.396

**Ю.В. Авдеев, А.Д. Кононов,
А.А. Кононов**
(Воронежский ГАСУ,
г. Воронеж, Российская Федерация)

**СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОЙ
ПЕРЕДАЧИ КОМАНД
УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ
МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ
АГРЕГАТОВ**

Введение

Для организации дистанционного автоматического управления машинно-тракторными агрегатами (МТА) может применяться навигационный метод [1, 2], основанный на измерении текущих координат объекта и сопровождении его перемещения по заданной программной траектории. Метод реализуется разностно-дальномерной системой, использующей разнесенные передающие станции, с обработкой выходных сигналов на ЭВМ.

Устройства цифровой обработки информации, реализованные на базе современной микроэлектроники, имеют ряд преимуществ перед аналоговыми радиотехническими устройствами. Важнейшими из них являются возможность длительного накопления слабых сигналов, стабильность характеристик, большой динамический диапазон, высокая скорость выполнения расчетных операций, надежность, малый вес и габариты, возможность гибкой оперативной перестройки параметров рабочего комплекса. Все перечисленное дает перспективу создания высокоэффективной многофункциональной автоматизированной системы, обеспечивающей в реальных условиях слежение и управление многими подвижными рабочими агрегатами.

Объект исследований

Для навигационной координатной системы, осуществляющей определение параметров, характеризующих местоположение дистанционно управляемого подвижного агрегата [1, 3], определение координат

осуществляется на основе обработки фазовых характеристик выходных сигналов от передающих излучателей. В работе предлагается вариант технической реализации системы дистанционного управления МТА, в качестве примера которого будем рассматривать гусеничный трактор.

На рабочий агрегат необходимо передавать как дискретные, так и пропорциональные (аналоговые) команды. Под дискретными командами управления понимаются команды типа «вкл.», «выкл.», «перекл.», под пропорциональными – команды, для которых существует пропорциональная монотонная связь между положением ручки на пульте управления и величиной выходного сигнала приемного устройства.

Назначение и состав аппаратуры

В состав комплекта входит носимый пульт управления (ПУ), устройство приемное (УП) и информационное табло (ИТ). ПУ и УП представляют собой кодирующее и декодирующее устройства (кодек), используемые в системе дистанционной передачи команд управления на рабочий агрегат. ИТ является сервисным устройством, позволяющим производить визуальный контроль функционирования аппаратуры.

В качестве канала связи между ПУ и УП используются передатчик и приемник с частотно модулированной несущей в диапазоне 160 МГц, номинальной мощностью передатчика 30 мВт, девиацией частоты 2,5–5 кГц, коэффициентом нелинейных искажений передатчика в диапазоне модулирующих частот не более 10 %, отклонением частоты передатчика не более $2 \cdot 10^{-5}$ при точности установки частоты $6 \cdot 10^{-6}$ и чувствительностью приемника при отношении сигнал/шум 12 дБ не более 5 мкВ.

Время передачи дискретных команд управления в аппаратуре, то есть время с момента подачи команды с ПУ до момента появления управляющего сигнала на выходе УП, не должно превышать 0,1 с. Необходимое количество различных дискретных команд – 50. По достоверности передачи дискретных команд аппаратура должна иметь следующие характеристики:

- вероятность трансформации переданной команды – 10^{-7} ;
- вероятность отказа исполнения посланной команды (при повторении передачи до трех раз) – 10^{-6} ;
- вероятность возникновения одного ложного сигнала в год в отсутствии передачи – $6 \cdot 10^{-9}$.

Величины пропорциональных команд управления допускается передавать дискретно во времени, при этом шаг временной дискретизации должен быть не более 0,15 с. Пропорциональные команды (то есть передача непрерывной аналоговой информации) требуются для шести исполнительных механизмов (ИМ) управления работой трактора: механизма левого бортового фрикциона (ЛФ), механизма левого бортового тормоза (ЛТ), механизма правого бортового фрикциона (ПФ), механизма

правого бортового тормоза (ПТ), механизма муфт сцепления (МСц), механизма управления рабочим оборудованием трактора (ОТ). Передача пропорциональных команд для первых четырех механизмов – ЛФ, ЛТ, ПФ, ПТ, может осуществляться по одному информационному каналу (частотному или временному), так как при управлении одним из этих четырех механизмов состояния остальных трех однозначно определены.

Пропорциональные команды должны передаваться с приведенной среднеквадратичной погрешностью $\pm 0,5\%$ в точках, соответствующих нулевому (нейтральному) и максимальному отклонению ручки управления.

ПУ должен иметь минимальные энергетическое потребление, вес и габариты, аппаратура должна быть простой и надежной в эксплуатации.

Принцип реализации кодека

Для передачи пропорциональных команд используется относительная фазовая модуляция сигнала низкой частоты f_c . Выходной сигнал ПУ (сигнал на модуляционном входе (МВ) передатчика) в случае излучения пропорциональных команд показан на рисунке 55а. Сигнал f_{CO} имеет нулевую фазу, относительно которой в УП определяются фазы сигналов от трех излучателей [1, 3]: $f_{C\phi_1}$, $f_{C\phi_2}$, $f_{C\phi_3}$, принимающие на практике значения от 0° до $\pm 170^\circ$. Для синхронизации информационных каналов во времени введен сигнал с частотой $f_{оп}$.

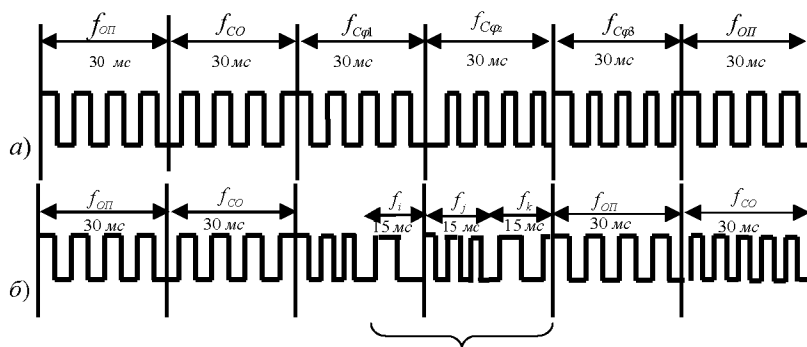


Рисунок 55 – Сигналы на модуляционном входе приемника

Для передачи дискретных команд используется трехчастотный последовательный код. Выходной сигнал ПУ в случае передачи дискретной команды показан на рисунке 55б. Код образуется на основании пяти кодовых частот. Кодовые комбинации с повторением подряд сигналов с одинаковыми кодовыми частотами исключаются. Общее количество комбинаций, получаемых в таком случае, определяется выражением $N = t^n$, где $t = 5$ – основание кода, $n = 3$ – количество позиций (симво-

лов). Таким образом, данный равномерный код позволяет построить 125 различных кодовых слов, которые могут использоваться для передачи $M = N$ различных сообщений. Для повышения помехоустойчивости кодирования обычно используются не все кодовые комбинации, а лишь часть из них, то есть $M < N$.

Дискретные команды формируются и передаются в произвольные моменты времени, нарушая при этом формирование пропорциональных команд. Это нарушение практически незаметно, так как общее время передачи дискретных команд составляет не более 1 % времени передачи пропорциональных команд. При декодировании дискретной команды используется поэлементный контроль качества приема. Команда не воспринимается (стирается), если в контрольной точке отсутствует элемент кода или обнаружена запрещенная комбинация.

Пульт управления (ПУ)

Все сигналы с частотами, участвующими в кодообразовании как дискретных, так и аналоговых команд, получают делением частоты задающего кварцевого генератора (КГ), равной 120 кГц. На выходах (рисунок 56) делителя частоты (ДЧ) формируются два сигнала с частотой f_c , сдвинутых по фазам на 90° . После фильтра нижних частот (ФНЧ) они приобретают синусоидальную форму, необходимую для нормальной работы фазовращающих трансформаторов (ФВТ). С выходов ФВТ снимаются сигналы $\sin(\omega_c \pm \varphi_1)t$, $\sin(\omega_c \pm \varphi_2)t$ и $\sin(\omega_c \pm \varphi_3)t$. Величина углов фаз φ_1 , φ_2 , φ_3 зависит от положения ручки управления фазовращающим трансформатором. Сигналы с выходов ФВТ и сигнал $\sin\omega t$ поступают в коммутатор (К), который по сигналам схемы управления и временной синхронизации (СУВС) обеспечивает их необходимое временное расположение. Суммарный сигнал с выхода коммутатора поступает в схему ИЛИ, куда также на своих временных позициях с выхода формирователя кодовых частот (ФКЧ) поступают сигналы с частотами $f_{оп}$ и $f_{со}$. Таким образом, формируется полный сигнал для пропорциональных команд, показанный на рисунке 55 а.

Формирование дискретных команд осуществляется следующим образом: по сигналам от ключей управления (КУ) и временной синхронизации формируются сигналы, управляющие ФКЧ. На выходе ФКЧ появляются сигналы, соответствующие коду дискретной команды, которые поступают через схему ИЛИ на модуляционный вход передатчика. Код каждой дискретной команды заканчивается колебанием с частотой $f_{оп}$. Во время формирования дискретной команды сигнал на выходе коммутатора отсутствует. Полный сигнал для дискретной команды показан на рисунке 55б.

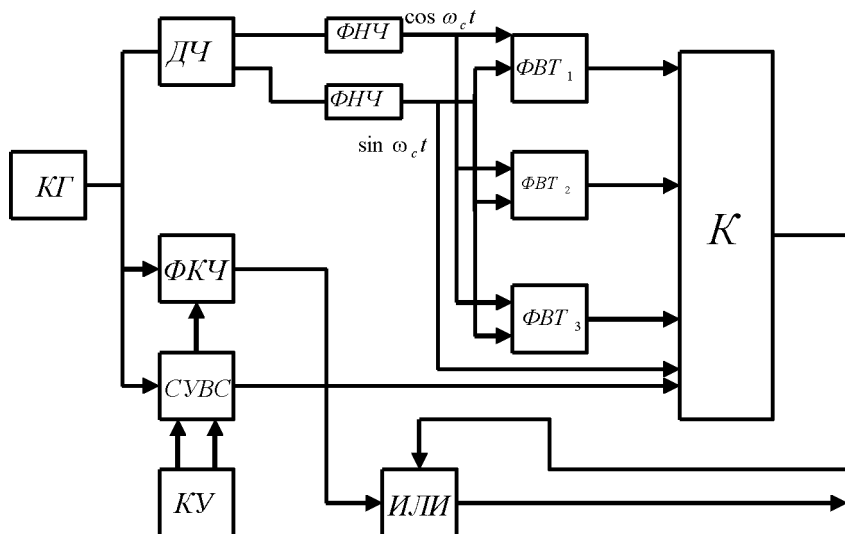


Рисунок 56 – Структурная схема пульты управления

От ключей управления в СУВС могут поступать одновременно два или более сигнала. При этом СУВС обеспечивает последовательное во времени формирование соответствующих дискретных команд.

Устройство приемное

По функциональному признаку УП (рисунок 57) можно разделить на три основных блока: блок дифференциальных фильтров (БДФ), блок декодирования пропорциональных команд, блок декодирования дискретных команд.

Выходные сигналы ПУ (рисунок 55) через радиоканал (РК) поступают на вход БДФ. В БДФ входят восемь (по числу применяемых частот) избирательных активных RC-фильтров, восемь амплитудных детекторов и восемь компараторов напряжения. Полосы пропускания фильтров согласованы с длительностью принимаемых частотных сигналов ($\Delta F = 1/\tau$). Форма частотных характеристик фильтров в данном случае не имеет большого значения при анализе качества приема, так как величина отношения сигнал/помеха на выходе фильтров, согласованных по полосе пропускания ΔF с длительностью посылки τ , будет практически одинакова для различных типов фильтров, имеющих на входе одинаковые величины отношения сигнал/помеха.

Сигнал с выхода каждого фильтра поступает на свой амплитудный детектор, на выходе последнего формируется сигнал, напряжение U_d которого с коэффициентом $1/n$ поступает на один вход компаратора, а

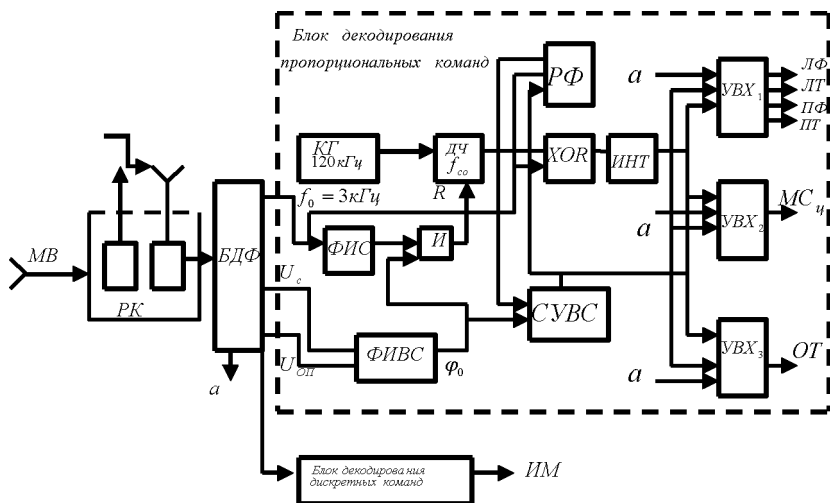


Рисунок 57 – Структурная схема устройства приемного

на другой его вход поступает напряжение с выходов остальных семи детекторов. При этом напряжение на втором входе компаратора определяется максимальным напряжением из всех напряжений на выходах этих семи амплитудных детекторов. Импульс на выходе компаратора появится только тогда, когда напряжение сигнала U_d превысит в n раз максимальное из существующих на других детекторах напряжений (при экспериментальных исследованиях $n = 2$).

Декодирование пропорциональных команд осуществляется следующим образом. По сигналам $U_{оп}$ и U_c , снимаемым с выходов соответствующих компараторов, в формирователе импульса временной стабилизации (ФИВС) возникает импульс φ_0 , который поступает в СУВС. В СУВС также поступает с делителя частоты (ДЧ) сигнал $f_{с0}$, который используется для формирования временных интервалов. На выходе СУВС формируются импульсы выборки и временной синхронизации $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$, показанные на рисунке 58.

Импульс φ_0 формируется при условии, что сразу после окончания импульса $U_{оп}$ следует импульс U_c . Временное расположение импульса φ_0 относительно начала входного сигнала $f_{с0}$ практически не зависит от уровня сигнала на входе БДФ. Это условие обеспечивается принципом работы БДФ.

Формирователь импульсов стробирования (ФИС) создает короткие импульсы срабатывания $\tau = 0,5 \text{ мкс}$, которые по времени совпадают с положительными фронтами сигнала f_c . Импульсы стробирования через схему И, управляемую сигналом φ_0 , поступают на входы R дели-

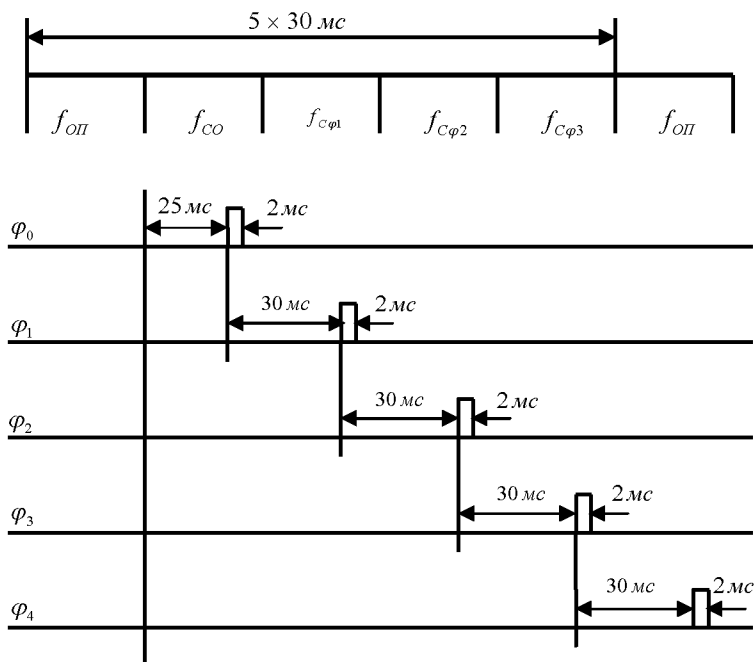


Рисунок 58 – Импульсы считывания пропорциональных команд

теля частоты ДЧ, и на выходе делителя формируется сигнал $f_{со}$, частота которого равна 3000 Гц , а фаза соответствует нулевому значению.

Сигналы $f_{со}$ и f_c поступают на схему «исключающее ИЛИ» (XOR), на выходе которой формируются прямоугольные импульсы с частотой $2 f_c$ и скважностью, зависящей от рассогласования фаз входных сигналов. Со схемы XOR сигнал поступает на интегратор ИНТ, где выделяется среднее значение его напряжения, то есть на выходе ИНТ получается напряжение, величина которого линейно зависит от рассогласования фаз входных сигналов $f_{со}$ и $f_{сφ}$.

Напряжение с выхода ИНТ поступает в устройства выборки и хранения (УВХ1, УВХ2, УВХ3), которые имеют двухступенчатую структуру.

Необходимость двухступенчатой памяти УВХ объясняется тем, что при прерывании пропорциональной команды дискретной происходит искажение информации, принимаемой в момент $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ (рисунок 58). В момент импульса φ_4 , который формируется только при наличии входного сигнала $f_{оп}$, во вторую ступень памяти переписывается только неискаженная информация, так как наличие импульса φ_4 является признаком того, что информация не была искажена дискретной командой.

В схеме определения знака рассогласования фаз (РФ) определяется знак фаз $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$. Передача информации на выход схемы происходит по импульсу выборки φ_4 . Сигналы знака рассогласования поступают в УВХ и обеспечивают разделение выходных сигналов второй ступени памяти по знаку рассогласования.

Результаты исследований

В результате проведенных исследований разработаны оригинальные схемы пульта управления и передающего устройства, обеспечивающие канальное излучение пропорциональных и дискретных команд коррекции тракторного перемещения МТА в рабочем процессе.

Разработана также схема приемного устройства, реализующего разделение, декодирование и взаимодействие пропорциональных и дискретных команд с выходом на исполнительные механизмы управления работой МТА.

Заключение

1. Представленный вариант реализации устройства управления по выходным сигналам разностно-дальномерной системы представляется перспективным, так как обладает достаточной надежностью и обеспечивает оперативное устранение уводов мобильных объектов от заданной траектории в рабочем процессе.

2. Предлагаемое устройство цифровой обработки выходных сигналов координатной системы для дистанционного управления движением мобильных объектов, реализованное с применением элементов дискретной микроэлектроники, обладает высокой стабильностью, а также удовлетворяет требованиям всепогодности, работе в любое время суток, имеет малый вес и габариты.

3. Проведенные исследования имеют практическое значение и могут быть полезны при разработке систем дистанционного управления мобильными объектами. Приведенный вариант аппаратуры для управления работой МТА (на примере гусеничного трактора) является мало-затратным и обеспечивает достаточно устойчивое сопровождение ведомого агрегата.

03.06.13

Литература

1. Маршаков, В.К. Система определения координат для автоматического управления мобильными объектами / В.К. Маршаков, А.А. Кононов, В.Н. Аникин // Сб. докладов XVII Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь». – Воронеж, 2011. – Т. 2. – С. 1118–1125.
2. Авдеев, Ю.В. Разработка алгоритма определения координат в задаче дистанционного управления движением машинно-тракторных агрегатов / Ю.В. Авдеев, А.Д. Кононов, А.А. Кононов // Механизация и электрификация сельского

хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2012. – Вып. 46. – С. 24–31.

3. Авдеев, Ю.В. Устройство цифровой обработки выходных сигналов координатной системы для дистанционного управления землеройно-транспортными машинами / Ю.В. Авдеев, А.Д. Кононов, А.А. Кононов, Н.А. Варданян // Изв. ВУЗов. Строительство. – 2011. – № 10. – С. 74–79.

УДК 631.331.022

**Ю.Л. Салапура, В.Ф. Марышев,
Д.В. Зубенко**

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

А.В. Новиков

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

**РЕЗУЛЬТАТЫ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ПИТАТЕЛЯ
ЭЖЕКТОРНОГО ТИПА
ЗЕРНОВОЙ
ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ
СЕЯЛКИ**

Введение

Проблема увеличения производства зерна была и остается ключевой задачей, решение которой служит основой продовольственной безопасности страны. Поэтому Государственной программой устойчивого развития села на 2011–2015 годы предусматривается доведение валового сбора зерна в республике в 2015 году до 12 млн тонн [1]. Хотя селекционерами получены сорта хлебных злаков урожайностью более 80 ц/га, но на практике уровень ее реализации не по всем культурам превышает 50 % [2]. И это зависит от ряда значимых факторов: почвенно-климатических условий, сорта семян возделываемых культур, вносимых удобрений и средств защиты растений. Однако даже при всех благоприятных факторах получение высокого урожая невозможно без применения надлежащей технологии возделывания и технических средств для ее реализации. От того, насколько правильно и в требуемые агротехнические сроки для конкретных условий будет подготовлена почва под посев, равномерно распределены семена по площади поля и заделаны на требуемую глубину, зависит их полевая всхожесть, выживаемость и интенсивность дальнейшего развития, а в конечном итоге – величина урожая.

Для решения поставленных задач необходимо применение высокопроизводительных широкозахватных зерновых сеялок и комбинированных почвообрабатывающе-посевных агрегатов, на которых, в основном, возможно применение пневматической системы высева.

Анализ исследований и публикаций

В настоящее время в мировой практике производства посевных машин, где в качестве транспортирующего элемента используется воз-

душный поток, различают три типа высевующих систем: централизованного (одно- и двухступенчатые), индивидуального и группового дозирования посевного материала.

В последние годы находят все более широкое применение пневматические сеялки с системой группового дозирования семян. Такая система состоит из нескольких самостоятельных высевующих секций, каждая из которых содержит следующие рабочие органы: дозатор, питатель и одноступенчатый распределитель потока посевного материала. Все секции через дозаторы связаны с единым бункером, при этом каждая из них предназначена для определенного количества сошников. Так как количество материала, подаваемого катушкой дозатора, уменьшается, возрастает и точность дозирования. Посевные агрегаты с такой системой посева могут комплектоваться распределителями горизонтального или вертикального типа, что расширяет диапазон ее применения.

Конструктивное исполнение устройств для ввода посевного материала в пневмотранспортную сеть определяется типом применяемой системы посева. Она бывает герметичная (закрытая) и негерметичная (открытая). В первой системе за счет герметизации давление в бункере и зоне ввода материала в пневмоматериалопровод одинаковое. В таких системах поток семян от дозатора беспрепятственно поступает в пневмоматериалопровод и далее транспортируется к распределителям. Для поддержания стабильности давления в системе воздушный поток, создаваемый вентилятором, подается в бункер и дозатор.

Герметичные системы в настоящее время находят применение в сеялках и почвообрабатывающе-посевных агрегатах шириной захвата 8 м и более. Несмотря на кажущуюся простоту, герметичная система не лишена недостатков. Обеспечение герметичности конструкции всех элементов системы требует высокого технологического уровня и культуры производства. Кроме того, при изменении уровня семян в бункере устойчивость посева снижается и требуется применение более производительных вентиляторов.

Эти недостатки отсутствуют в негерметичных системах посева, в которых для ввода посевного материала в пневмоматериалопровод используются специальные устройства в виде шлюзового затвора, шнекового или эжекторного питателя (используется чаще всего). Поэтому негерметичные системы посева с питателями эжекторного типа получили наибольшее распространение.

Теоретические и экспериментальные исследования, связанные с разработкой пневматических высевующих систем сеялок и их элементов, рассмотрены в работах Ф.Г. Гусинцева, К.К. Куриловича, А.С. Сентюрова, Г.Н. Лысевского, В.И. Смагляя, Н.Н. Карягдыева, В.А. Насонова, Н.П. Крючина, В.С. Астахова и других ученых. В них установлено, что наибольшие потери давления воздушного потока в пневматической

системе высева возникают в питателе эжекторного типа, что сказывается на его производительности и производительности всей системы в целом. В то же время работа данного устройства влияет и на продольную неравномерность распределения посевного материала в рядке, что, в свою очередь, оказывает влияние на урожайность сельскохозяйственной культуры.

Цель работы – провести экспериментальные исследования питателя эжекторного типа для определения влияния параметров давления воздушного потока в его проточной части на производительность.

Методика проведения исследований

Принцип действия эжекторного питателя основан на преобразовании статического давления в динамическое, что позволяет создавать в месте ввода материала статическое давление, равное атмосферному или несколько ниже, и на обратном преобразовании динамического давления в статическое для транспортирования материала [3, с.79–83].

Для изучения рабочего процесса питателя эжекторного типа применительно к пневматическим системам высева группового дозирования зерновых сеялок разработаны экспериментальные образцы питателя, представленные на рисунке 59.



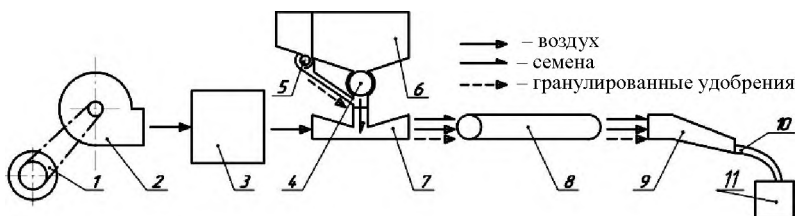
а) питатель (общий вид); б) корпуса с приемной камерой; в) конфузур

Рисунок 59 – Экспериментальные образцы питателя эжекторного типа

При определении максимальной производительности (пропускной способности) подача материала дозатором производилась с задержкой в 30 с после включения вентилятора (для стабилизации воздушного потока в системе). Высев производился в течение 60 с, так как этого времени достаточно для заполнения пневмоматериалопровода посевным материалом по всей его длине. Изменение массовой подачи материала производилось при варьировании длины рабочей части катушки и частоты ее вращения.

Максимальное значение производительности определялось по характеру перемещения материала в системе – началу образования завалов в трубопроводе и появлению в горловине питателя частиц во взвешенном состоянии.

Исследования проводились на экспериментальной установке, схема которой представлена на рисунке 60, а внешний вид – на рисунке 61.



- 1 – электродвигатель; 2 – вентилятор; 3 – ресивер; 4 – дозатор зерна; 5 – дозатор гранулированных удобрений; 6 – бункер; 7 – питатель эжекторного типа; 8 – пневмоматериалопровод; 9 – распределитель потока посевного материала; 10 – семяпровод; 11 – сборник семян

Рисунок 60 – Схема экспериментальной установки



Рисунок 61 – Внешний вид экспериментальной установки

Установка состоит из электродвигателя 1 ($N = 11 \text{ кВт}$, $n = 950 \text{ об./мин.}$), центробежного вентилятора высокого давления 2, обеспечивающего максимальное давление воздушного потока 5 кПа при частоте вращения 3850 с^{-1} , цилиндрического ресивера 3 диаметром 170 мм , бункера 6 с дозаторами 4 катушечного типа для семян и гранулированных минеральных удобрений 5, питателя эжекторного типа 7, пневмоматериалопровода 8 диаметром 50 мм и длиной $4,0 \text{ м}$, шестиканального распределителя посевного материала горизонтального типа 9 конструкции Белорусской сельскохозяйственной академии, семяпроводов 10 диаметром 32 мм , сборника семян 11.

Привод дозаторов осуществляется от электродвигателя через девятиступенчатый редуктор цепной передачей. Установка нормы высева производится изменением частоты вращения и (или) длины рабочей части катушки.

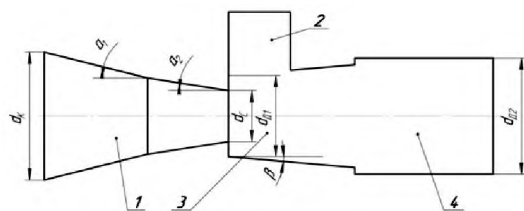
При проведении опытов в качестве высеваемого материала использовалась смесь озимой ржи с гранулированным суперфосфатом в соотношении 3:1. Влажность семян соответствовала агротехническим требованиям. Число повторностей опытов принималось трехкратным, исходя из 95 % наиболее распространенной при технических исследованиях надежности показаний. Проведение аэродинамических измерений и тарирование измерительных средств происходило в соответствии с общими требованиями аэродинамики. Исследования проводились при зна-

чениях атмосферного давления, влажности и температуры воздуха, равных или близких к стандартным.

Установка работает следующим образом: вентилятор нагнетает воздух в пневмотранспортную магистраль. В ресивере давление воздуха выравнивается. Далее воздушный поток поступает в питатель эжекторного типа. Туда же из бункера дозаторами подается смесь из семян и удобрений (возможна раздельная подача). Воздушный поток в питателе захватывает смесь и далее по пневмоматериалопроводу транспортирует ее к шестиканальному распределителю, где происходит деление потока посевного материала по семяпроводам, а из них – в сборник семян.

В процессе испытаний определялись параметры воздушного потока – статическое и динамическое давление в системе. Замер статического давления производился с помощью трубки Пито и U-образного водяного манометра, а динамического – с помощью трубки Пито и дифференциального манометра «Testo-512» с трехкратной повторностью при установившемся режиме воздушного потока в течение 60 с. Замер производился на входе в питатель и выходе из него в центральных точках поперечного сечения.

Основные геометрические параметры проточной части питателя представлены на рисунке 62. Постоянными параметрами питателя для проведения исследований были следующие: угол сужения второй ступени конфузора $\alpha_2 = 9^\circ$; угол расширения диффузора $\beta = 12^\circ$; диаметр конфузора на входе $d_k = 55$ мм; диаметр диффузора на входе $d_{Д1} = 26$ мм и на выходе $d_{Д2} = 46$ мм; проходное сечение загрузочной воронки равно 1200 мм² (обеспечивает свободное истечение посевного материала при максимальной норме высева).



- 1 – конфузор;
- 2 – загрузочная горловина;
- 3 – приемная камера;
- 4 – диффузор

Рисунок 62 – Схема экспериментального питателя эжекторного типа

Переменными параметрами проточной части питателя были угол сужения первой ступени конфузора α_1 и диаметр конфузора на выходе d_c . Варьированием параметров проточной части питателя эжекторного типа, оказывающих наибольшее влияние на производительность питателя Q_m , изменяли параметры воздушного потока в его проточной части.

С целью определения влияния параметров давления воздушного потока в его проточной части на производительность эжекторного пита-

теля Q_m были проведены дополнительные исследования при варьировании указанных переменных параметров проточной части питателя.

Значения переменных параметров проточной части питателя представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Переменные параметры проточной части питателя эжекторного типа и уровни их варьирования

Параметры	Границы варьирования факторов		
	(-)	(0)	(+)
Угол сужения конфузора, α_1 , град.	10	15	20
Диаметр выходного сечения конфузора, d_c , мм	22	24	26

Результаты исследований

Применение многофакторного анализа дает более точные результаты в сравнении с парной корреляцией и поэтому является более приоритетным.

В нашем случае для определения зависимости производительности питателя эжекторного типа от разряжения в приемной камере питателя P_p , статического P_3 и динамического $P_{дз}$ давлений на выходе из питателя был проведен многофакторный корреляционно-регрессионный анализ, который предполагает выявление наличия и формы корреляционной зависимости между результативным показателем ($y(Q_m)$) и факторными признаками ($x_1(P_p)$, $x_2(P_3)$, $x_3(P_{дз})$).

$$y = f(x_1, x_2, x_3).$$

Изучение множественной корреляционной зависимости начинается с построения матрицы парных коэффициентов корреляции как между результативным показателем и каждым из факторов, так и между самими факторными признаками (таблица 13).

Таблица 13 – Матрица парных коэффициентов корреляции

	Q_m	P_p	P_3	$P_{дз}$
Q_m	1			
P_p	0,978	1		
P_3	-0,949	-0,904	1	
$P_{дз}$	0,986	0,995	-0,928	1

Анализ матрицы парных коэффициентов корреляции проводится с целью дальнейшей минимизации количества факторных признаков, включаемых в многофакторную модель.

Анализ первого столбца матрицы позволяет произвести отбор факторных признаков, которые могут быть включены в модель множественной корреляционной зависимости. Поскольку степень тесноты связи у всех параметров с Q_m высокая, то на данном этапе исключений не производится и все три факторных признака включаются в модель.

Следующим этапом является выбор уравнения регрессии и расчет его параметров. В многофакторном анализе обычно используют линейную зависимость вида [4, с. 142–146]

$$\begin{cases} a_1 - 0,904 \cdot a_2 + 0,995 \cdot a_3 = 0,978; \\ -0,904 \cdot a_1 + a_2 - 0,928 \cdot a_3 = -0,949; \\ 0,995 \cdot a_1 - 0,928 \cdot a_2 + a_3 = 0,986. \end{cases} \quad (1)$$

Решив систему уравнений (1) [5, с. 149–155], получим: $a_1 = 0,229$, $a_2 = -0,277$, $a_3 = 0,500$. Тогда уравнение регрессии в стандартном масштабе примет вид:

$$\hat{y}^{\circ} = 0,229 \cdot x^{\circ}_1 - 0,227 \cdot x^{\circ}_2 + 0,5 \cdot x^{\circ}_3.$$

После перехода к натуральному масштабу уравнение регрессии принимает вид:

$$y = 3,868 + 0,784 \cdot x_1 - 1,141 \cdot x_2 + 1,651 \cdot x_3.$$

Коэффициент множественной корреляции служит показателем силы связи для множественной регрессии [4, с. 142–146]. В нашем случае $R = 0,99$, при этом коэффициент детерминации составляет $R^2 = 0,98$. Он показывает, что вариация результативного признака в значительной мере обусловлена влиянием факторных признаков, включенных в модель [6]. Адекватность полученного уравнения регрессии проверялась по F-критерию Фишера как отношение дисперсии относительно среднего к остаточной дисперсии:

$$F = \frac{0,455}{0,009} = 48,931.$$

Табличное значение F-критерия Фишера выбиралось по таблице [7, с. 160, приложение 3] для чисел степеней свободы $f_1 = 1$ и $f_2 = 25$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$, и оно составляет 2. Для нашего случая $F = 48,931 > F(\alpha, f_1, f_2) = 2$. Согласно рекомендациям [3, с. 142–146], уравнение является адекватным экспериментальным данным.

Анализ уравнения регрессии позволяет сделать вывод о том, что наибольшее влияние на выходной параметр (Q_M) оказывает величина динамического давления на выходе из питателя $P_{ДЗ}$, а наименьшее – величина разряжения в приемной камере питателя P_p . Об этом свидетельствуют величины коэффициентов уравнения регрессии.

Заключение

В результате проведенных исследований на основе корреляционно-регрессионного анализа получено уравнение регрессии, адекватное экспериментальным данным по критерию Фишера, определяющее взаимосвязь производительности питателя эжекторного типа Q_M и разряжения в приемной камере питателя P_p , статического P_3 и динамического $P_{ДЗ}$ давлений на выходе из питателя. Анализ уравнения регрессии показывает, что наибольшее влияние на выходной параметр (Q_M) оказывает

величина динамического давления на выходе из питателя $P_{дз}$, а наименьшее – величина разряжения в приемной камере питателя P_p .

28.08.13

Литература

1. Государственная программа устойчивого развития села на 2011–2015 годы: офиц. изд. – Минск, 2011. – 76 с.
2. Кукреп, Л.В. Потенциал растениеводства Беларуси и его реализация / Л.В. Кукреп // Весці Нац. акад. Навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2008. – № 3. – С. 34–39.
3. Дорфман, М.Х. Пневматический транспорт зерна и продуктов его переработки / М.Х. Дорфман. – Москва: Хлебоиздат, 1960. – 232 с.
4. Ахназарова, С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1985. – 327 с.
5. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – 11-е изд., стереотип. – М.: Наука, 1967. – 608 с.
6. Закс, Л. Статистическое оценивание / Л. Закс. – Под ред. Ю.П. Адлера и В.В. Горского. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
7. Хайлис, Г.А. Исследования сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных / Г.А. Хайлис, М.М. Ковалев. – М.: Колос, 1994. – 169 с.

УДК 631.331–181.12

**Н.Д. Лепешкин, А.Н. Смирнов,
Н.Ф. Сологуб**

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

С.В. Савчук

*(ОАО «Брестский электромеханический завод»,
г. Брест, Республика Беларусь)*

**РЕЗУЛЬТАТЫ
ИСПЫТАНИЙ
ОПЫТНОГО
ОБРАЗЦА СЕЯЛКИ
ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ
С-9**

Введение

Одной из важнейших операций в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур является посев, от качества и своевременного выполнения которого в значительной степени зависит судьба урожая.

Анализ исследований отечественного и зарубежного опыта показывает, что одним из основных направлений повышения качества сева, снижения затрат ресурсов на его повышение является применение широкозахватных сеялок в агрегате с энергонасыщенными тракторами. Применение их в таком сочетании обеспечивает определенные преимущества по сравнению с комбинированными почвообрабатывающе-посевными агрегатами. С агрономической точки зрения при раздельном

выполнении операций предпосевной обработки почвы и посева есть условие для более качественной подготовки посевного слоя с учетом влажности почвы. Особенно это важно в весенний период, поскольку возможна выборочная обработка, когда влажность почвы неодинакова по площади поля. При этом достигается оптимальная структура в посевном слое и сокращаются агротехнические сроки. Это позволяет провести посев на таких полях в максимально сжатые сроки, что способствует появлению дружных всходов, одинаковой степени развития растений и одновременному созреванию. В результате повышается урожайность и сокращаются сроки уборки.

С эксплуатационной точки зрения при разделении операции предпосевной обработки почвы и посева не требуются энергетические средства большой мощности, более эффективно используется их разнонаправленность, что позволяет равномерно распределять годовую загрузку.

В настоящее время в республике освоено производство пневматических навесных сеялок семейства СПУ и полунавесных С-6 (С-6Т) шириной захвата 6 м. Практика показывает, что с учетом современных требований эффективность их использования недостаточна. Система высева и заделывающие рабочие органы этих сеялок не обеспечивают качественный посев в соответствии с агротехническими требованиями на повышенных скоростях (более 10 км/ч), и вследствие малого объема бункера для посевного материала требуется частая загрузка, что снижает коэффициент использования сменного времени.

В то же время крупными известными зарубежными фирмами-производителями сельскохозяйственной техники («Lemken», «Kverneland», «Horsch») выпускаются широкозахватные сеялки шириной захвата до 9 м с бункерами объемом до 7000 л. Лучшими зарубежными аналогами сеялок шириной захвата 9 м являются Accord DG («Kverneland»), Solitair 9 («Lemken»), Pronto RX («Horsch»).

Основная часть

Современные требования повышения эффективности и конкурентоспособности диктуют необходимость создания отечественной высокопроизводительной пневматической сеялки, не уступающей по своим техническим показателям лучшим зарубежным аналогам.

В этих условиях РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с предприятием-изготовителем ОАО «Брестский электромеханический завод» разработан опытный образец сеялки пневматической С-9 шириной захвата 9 м (рисунок 63), прошедший приемочные испытания.

Сеялка предназначена для рядового посева семян зерновых колосовых, среднесеменных зернобобовых (горох, люпин), трав и других, аналогичных им по размерам, норме высева и глубине заделки семян, культур.

Агрегатируется с тракторами тягового класса 5 («Беларус-3022» и аналогичными импортными).

Отличительные особенности: может применяться как в отвальной, так и безотвальной системах обработки почвы; равномерно распределяет вес по всей ширине захвата (независимо от заполнения бункера); имеет давление на сошник

160 кг; оснащена более совершенной системой высева семян в части неравномерности высева семян между сошниками. Неравномерность высева семян между сошниками зерновых и зернобобовых культур сеялкой С-9 составляет 3–5 % (наиболее близкий аналог Accord DG («Kverneland») – 10 % и более); локализация отечественных узлов, деталей и комплектующих изделий в конструкции сеялки С-9 составляет не менее 90 %.

В конструкции сеялки реализованы патенты Республики Беларусь на полезные модели № 3512 «Однодисковый сошник» от 02.02.2007 года и № 8497 «Устройство для пневматического высева сыпучих материалов» от 01.04.2012 года.

Сеялка является полунавесной машиной и состоит из следующих основных узлов: рамы, снлицы, колесного хода, сошникового бруса, бункера, дозаторов, двух распределителей, вентилятора, привода вентилятора, привода дозаторов, пневмоматериалопроводов, гидросистемы, тормозной системы, маркеров, механизма управления маркерами, электрооборудования, системы контроля за процессом сева и образования технологической колени.

Для реализации технологического процесса сеялка оборудована однодисковыми сошниками с прикапывающими катками, которые монтируются на сошниковый брус, а их подвеска обеспечивает возможность копирования почвы при установленной глубине заделки семян.

По схеме расположения рабочих органов на раме агрегата аналогом является агрегат Accord DG фирмы «Kverneland» (Норвегия).

Техническая характеристика сеялки С-9 приведена в таблице 14.



Рисунок 63 – Сеялка пневматическая С-9 с трактором «Беларус-3022» при выполнении технологического процесса посева зерновых культур

Таблица 14 – Техническая характеристика сеялки С-9

Параметры	Значения
Тип	полунавесная
Производительность сеялки за 1 час основного времени, га	7,2–13,5
Скорость движения, км/ч	
рабочая	8–15
транспортная	до 20
Рабочая ширина захвата, м	9
Масса сухая конструктивная, кг, не более	9000
Габаритные размеры, мм, не более:	
в рабочем положении	
длина	10500
ширина	9500
высота	3500
в транспортном положении	
длина	10000
ширина	3000
высота	4000
Дорожный просвет, мм, не менее	300
Объем бункера, л	6000
Количество сошников, шт.	72
Расстояние между рядами сошников (два ряда), мм	250
Количество обслуживающего персонала, чел.	1 (тракторист)

Почва под посев должна быть подготовлена в соответствии с агротехническими требованиями. Поверхность поля, подготовленного под посев, должна быть выровненной. Высота гребней и глубина борозд не должна превышать 4 см. Слой почвы на глубину заделки семян должен быть однородным по плотности. Плотность минеральной почвы в обработанном слое: в верхней части – 0,8–1,1 г/см³, уплотненного семенного ложа – 1,0–1,3 г/см³. Глубина взрыхленного слоя должна соответствовать глубине заделки семян. Допустимое отклонение глубины – ± 1 см.

Семена должны удовлетворять требованиям соответствующих стандартов. На полях не должно быть камней со средним диаметром свыше 10 см, растительных остатков (стеблей, корней кукурузы, подсолнечника и др.) длиной более 5 см. Сеялка должна работать на полях с ровным рельефом местности и на склонах с уклоном не более 8°.

Зона применения сеялки – Республика Беларусь и страны СНГ.

Технологический процесс, выполняемый сеялкой, осуществляется следующим образом. На поворотной полосе поля тракторист опускает (раскладывает) боковые секции сошников бруса и маркеры.

Предварительно, в соответствии с тарировочной таблицей, по шкале устанавливается заданная норма высева семян путем изменения рабочей длины катушек дозаторов винтовым механизмом.

После загрузки высеваемого материала сеялка устанавливается в начале гона, включается привод вентилятора и на поворотной полосе при движении вперед переводится в рабочее положение. При этом соответствующий маркер опускается на грунт.

Находящийся в бункере посевной материал захватывается катушками дозаторов и подается в эжекторы, где он подхватывается воздушным потоком, создаваемым вентилятором, перемешивается и транспортируется к распределителям, сошникам и далее в посевную бороздку.

Заделка семян происходит за счет естественного осыпания почвы со стенок бороздки, последующего прикатывания катками и заделки их S-образными пружинными загортачами.

Глубина заделки семян – регулируемая. Возможна индивидуальная регулировка каждого сошника путем изменения натяжения пружины, а также групповая.

Вождение трактора осуществляется по следу маркера.

Перед поворотом в конце гона сошниковый брус поднимается гидророллингом. При этом автоматически происходит отключение привода дозаторов и выполняется поворот сеялки. После завершения поворота включается привод вентилятора, затем опускается сошниковый брус в рабочее положение и осуществляется следующий рабочий ход. Движение при посеве осуществляется челночным способом.

Приемочные испытания сеялки пневматической С-9 проводились с 13 апреля по 22 октября 2012 года сотрудниками ИЦ ГУ «Белорусская МИС» с участием сотрудников РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» в сельскохозяйственных предприятиях Пуховичского района Минской области – сельскохозяйственном филиале ОАО «Управляющая компания холдинга «Минский моторный завод» «Светлая Нива», РСДУП «Экспериментальная база «Зазерье» и в СПК «Молодая Гвардия» Брестского района. Сеялка агрегатировалась с тракторами тягового класса 5.

Показатели, характеризующие условия испытаний сеялки при реальной эксплуатации, соответствовали требованиям технического задания и действующих ТНПА.

Функциональные показатели качества выполнения технологического процесса сеялкой определялись при стендовых (лабораторных) испытаниях и в условиях реальной эксплуатации – при эксплуатационно-технологической оценке.

В результате испытаний было установлено, что высевальные механизмы сеялки обеспечивают высев семян зерновых колосовых культур, зернобобовых, рапса и семян трав (тимофеевки) с нормами и неустойчивостью высева, соответствующими требованиям технического задания и действующих ТНПА. Производительность сеялки за час основного времени работы (при средней рабочей скорости 10,7 км/ч) составила 9,63 га,

что соответствует требованию технического задания (7,2–13,5 га), удельный расход топлива за сменное время работы сеялки в составе трактора «Беларус-3022» составил 3,82 кг/га. Конструктивная масса сеялки – 8860 кг.

Испытания сеялки выполнены в полном объеме. Результаты испытаний и заключение изложены в протоколе ГУ «Белорусская МИС» № И 038 (176) Б 1/3–2012 от 27 декабря 2012 года.

По данным ГУ «Белорусская МИС», годовой приведенный экономический эффект сеялки С-9 в сравнении с сеялкой пневматической широкозахватной СПШ-9 составляет 92823,860 тыс. рублей.

Заключение

Разработанный опытный образец пневматической сеялки С-9 соответствует требованиям технического задания и действующих ТНПА.

По своим технико-экономическим характеристикам сеялка соответствует лучшим зарубежным образцам.

Анализ экономических показателей сеялки С-9 свидетельствует, что при освоении серийного производства машины ее стоимость ориентировочно на 35 % меньше ее зарубежного аналога Accord DG фирмы «Kverneland».

Практическое применение сеялки С-9 в хозяйствах Республики Беларусь и странах СНГ позволит более эффективно использовать потенциальные возможности тракторов класса 5.

13.09.13

УДК 631.53.01

В.П. Чебогарев,
И.В. Барановский,
П.М. Немцев, Е.Л. Жилич
(РУП «НПЦ НАН Беларуси по
механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ВВОДА ЗЕРНА В ПНЕВМОСЕПАРИРУЮЩИЙ КАНАЛ В ВИДЕ ПИТАЮЩЕГО ВАЛИКА

Введение

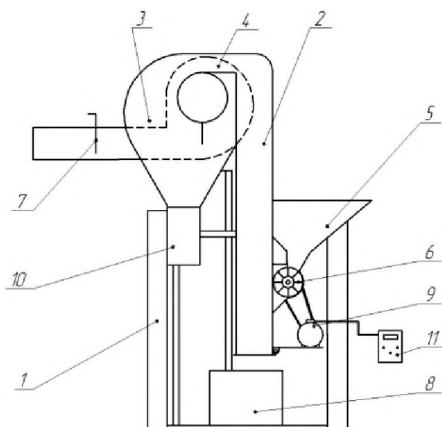
Одной из приоритетных задач агропромышленного комплекса Республики Беларусь является увеличение производства зерна с целью реализации излишков на внешнем рынке. Уже сейчас стоит цель нарастить производство до 15 млн т зерна.

Реализация этой цели во многом связана с проведением своевременной и качественной послеуборочной обработки зерна, для чего необходимо обеспечить сельскохозяйственных производителей современным высокопроизводительным зерноочистительным и сушильным оборудованием, в том числе машинами предварительной очистки.

Важным устройством машин предварительной очистки, обеспечивающим выделение из зернового вороха более 50 % примесей, является пневмосепарирующая система. Основным элементом пневмосепарирующей системы, оказывающим существенное влияние на производительность и эффективность очистки зернового вороха, является устройство ввода.

Основная часть

Для проведения экспериментальных исследований разработана лабораторная установка (рисунок 64).



- 1 – рама; 2 – пневмосепарирующий канал; 3 – осадочная камера; 4 – вентилятор;
 5 – загрузочный бункер; 6 – питающий валик; 7 – заслонка; 8 – приемный лоток;
 9 – привод; 10 – приемник легких примесей; 11 – частотный преобразователь

Рисунок 64 – Схема и общий вид лабораторной установки

Лабораторная установка работает следующим образом: зерновой ворох из загрузочного бункера 5 подается питающим валиком 6 в пневмосепарирующий канал 2, где происходит выделение из вороха легких частиц воздушным потоком, создаваемым вентилятором 4. В результате легкие примеси осаждаются в осадочной камере 3 и попадают в приемник легких примесей 10, основная культура (зерно) под действием силы тяжести поступает в приемный лоток 8.

Скорость воздушного потока в пневмосепарирующем канале регулируется заслонкой 7. Частота вращения питающего валика изменяется посредством частотного преобразователя 11, регулирующего частоту тока в обмотке возбуждения электродвигателя привода 9.

Лабораторная установка имела сменные питающие валики с внутренним радиусом $r = 0,029; 0,037; 0,045$ м, каждый из которых содержал 6, 9, 12 радиально расположенных лопаток. Наружный радиус питаю-

ших валиков $R = 0,75$ м, рабочая длина валиков $L_e = 0,376$ м. Глубина пневмосепарирующего канала $h = 0,18$ м.

Согласно агротехническим требованиям, предъявляемым к машинам предварительной очистки зерна, сепаратор должен выполнять очистку зернового вороха с содержанием примеси до 5 %, а также выделять не менее 50 % примесей и обеспечивать номинальную производительность при очистке пшеницы объемной массой 760 кг/м³.

Поэтому в ходе экспериментальных исследований при определении показателя полноты выделения примесей, а также производительности питающего валика засоренность зернового вороха поддерживалась на уровне 5 %. Для этого предварительно очищенный на лабораторных машинах К 293 А и К 294 «Petkus» зерновой материал перемешивался с легкими примесями в пропорции по массе 19:1.

Для обеспечения достоверности опыта в ходе экспериментальных исследований использовалась смесь яровой пшеницы сорта «Василиса» с легкими примесями, выделенными пневмосепаратором из зернового вороха, полученного в результате комбайновой уборки зерновых колосовых. Насыпная плотность зерен яровой пшеницы составила 732 кг/м³, масса тысячи зерен – $0,0368$ кг. Насыпная плотность легких примесей составила 443 кг/м³. Насыпная плотность смеси зерна с примесями, используемой при проведении экспериментальных исследований, составила 723 кг/м³, влажность смеси – $14,2$ %.

В ходе предварительных экспериментальных исследований установлено, что функции отклика имеют явный нелинейный характер, при постановке трехфакторных экспериментов использовали план Бокса-Бенкина, состоящий из 13 опытов. Постановка эксперимента выполнялась с учетом 3 следующих факторов:

- угловой скорости питающего валика ω , рад./с;
- количества лопаток m_n , шт.;
- внутреннего радиуса питающего валика, r , м.

Уровни варьирования факторов представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Уровни варьирования факторов

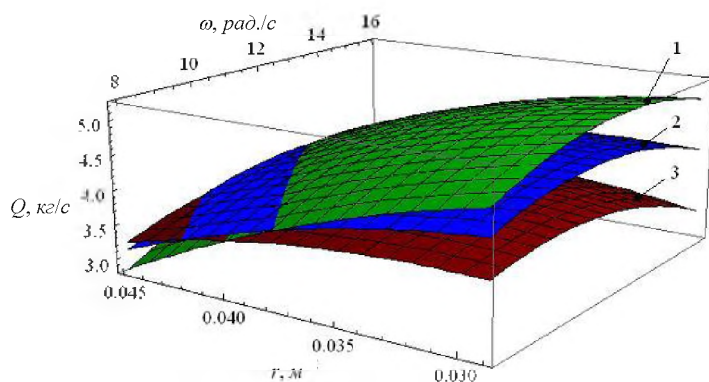
Варьируемые параметры	ω	m_n	r
Единицы измерения	рад./с	шт.	м
Кодовые обозначения факторов	x_1	x_2	x_3
Основной уровень ($x_i = 0$)	11,932	9	0,037
Интервал варьирования	3,977	3	0,008
Нижний уровень ($x_i = -1$)	7,955	6	0,029
Верхний уровень ($x_i = +1$)	15,909	12	0,045

В результате обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии, показывающее зависимость производительности пи-

тающего валика от его угловой скорости, количества лопаток и внутреннего радиуса:

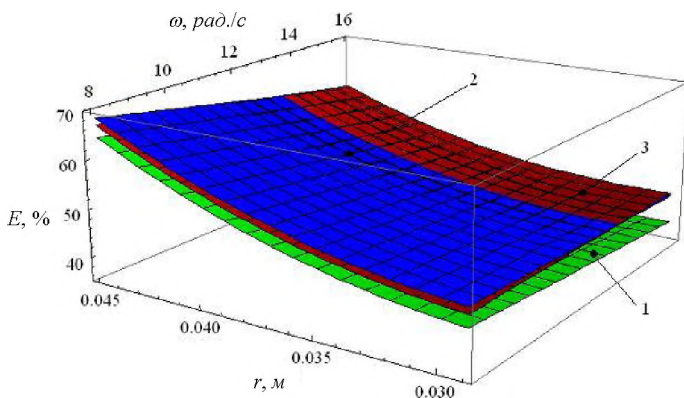
$$y = 4,4104 + 0,0988 x_1 - 0,3306 x_2 - 0,4296 x_3 - 0,2074 x_1 x_2 + 0,1798 x_1 x_3 + 0,3213 x_2 x_3 - 0,3732 x_1^2 - 0,0881 x_2^2 - 0,1929 x_3^2.$$

Построение поверхностей отклика и линий уровней по результатам экспериментальных данных выполняли с помощью программы «Mathematica» (рисунок 65–67).



1 – 6 лопаток; 2 – 9 лопаток; 3 – 12 лопаток

Рисунок 65 – Поверхности отклика $Q = f(\omega, r)$ при 6, 9, 12 лопатках



1 – 6 лопаток; 2 – 9 лопаток; 3 – 12 лопаток

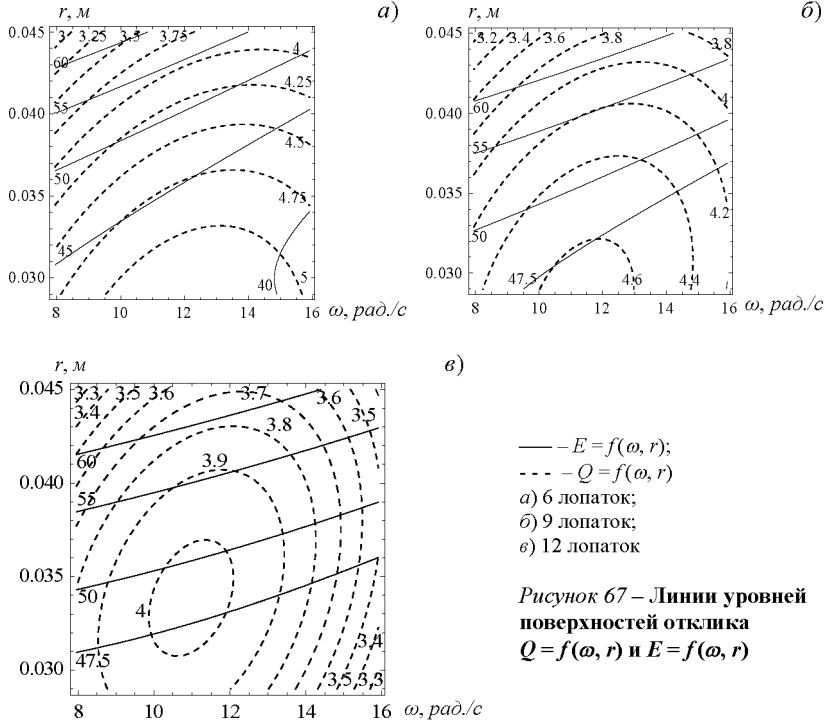
Рисунок 66 – Поверхности отклика $E = f(\omega, r)$ при 6, 9, 12 лопатках

В результате обработки данных второго эксперимента получено уравнение регрессии, показывающее зависимость эффективности очи-

стки зернового вороха от угловой скорости, количества лопаток и внутреннего радиуса питающего валика:

$$y = 51 - 3,3958 x_1 + 2,2083 x_2 + 8,2292 x_3 + x_1 x_2 - 1,9583 x_1 x_3 - 2,6042 x_2^2 + 3,8542 x_3^2.$$

Для сопоставления полученных поверхностей $Q = f(\omega, r)$ и $E = f(\omega, r)$ наложим их друг на друга. Полученный результат представлен на рисунке 67.



Представленные на рисунке 67 графики позволяют определить рациональные параметры и режим работы питающего валика в зависимости от требуемой эффективности очистки зернового материала.

В результате решения полученных уравнений регрессии установлено, что максимальная производительность питающего валика (эффективность очистки вороха $E = 50\%$) достигается при 8 лопатках и составляет $Q = 4,513 \text{ кг/с}$ при внутреннем радиусе валика $r = 0,0366 \text{ м}$ и его угловой скорости $\omega = 11,491 \text{ рад/с}$.

Таким образом, полученные экспериментальным путем модели позволяют определить рациональные параметры и режим работы питаю-

шего валика для требуемой эффективности очистки в зависимости от ее вида и конструктивных особенностей разрабатываемых зерноочистительных машин.

Заключение

Анализируя полученные поверхности отклика $Q = f(\omega, r)$, следует отметить, что наибольшая производительность наблюдается при угловой скорости питающего валика, близкой к критической. Уменьшение производительности при угловой скорости выше критической связано с худшим заполнением межлопастного пространства питающего валика зерновым ворохом. Также следует отметить, что с увеличением количества лопаток производительность питающего валика снижается, кроме области, близкой к точке с наименьшей угловой скоростью и наибольшим внутренним радиусом, – здесь наблюдается обратное.

Анализируя полученные поверхности отклика $E = f(\omega, r)$ следует отметить, что эффективность очистки выше при вращении валика с докритической угловой скоростью. Также следует отметить, что эффективность очистки при использовании валика с 6 лопатками ниже, чем с 9 и 12 лопатками, полученные поверхности отклика для которых почти совпадают, при этом в области с докритической угловой скоростью эффективность очистки выше при использовании валика с 9 лопатками, чем с 12.

В результате экспериментальных исследований установлено, что максимальная производительность питающего валика при эффективности очистки вороха $E = 50 \%$, рабочей длине валика $L = 0,376 \text{ м}$ и внешнем его радиусе $R = 0,075 \text{ м}$ составляет $Q = 4,513 \text{ кг/с}$ и достигается при следующих рациональных параметрах и режиме работы валика: количество лопаток – 8 штук, внутренний радиус $r = 0,0366 \text{ м}$, угловая скорость $\omega = 11,491 \text{ рад/с}$.

12.09.13

Литература

1. Гусаков, В. Сколько зерна Беларуси надо в перспективе / В. Гусаков // Белорусская нива. – 2010. – № 99.
2. Агротехнические требования на машины предварительной очистки // Сборник агротехнических требований на сельскохозяйственные машины / ВО «Союзсельхозтехника» при Совете Министров СССР; сост. Э.Г. Складенко. – М.: ЦНИИТЭИ, 1976. – С. 98.
3. Красовский, Г.И. Планирование эксперимента / Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов. – Минск: Издательство БГУ, 1982. – 301 с.
4. Вознесенский, В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. – М.: Статистика, 1974. – 191 с.

УДК 631.354.6

А.Н. Перепечаяев

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

С.Г. Гриньков

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

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗДЕЛЬНОЙ УБОРКИ В СРАВНЕНИИ С ПРЯМЫМ КОМБАЙНИРОВАНИЕМ

Введение

В сложившихся экономических условиях обеспечение республики зерном возможно в основном за счет интенсификации технологических процессов и повышения урожайности, снижения потребления ресурсов и потерь зерна.

Основная часть

Как показывает практика и многочисленные исследования, больше всего теряется зерна и снижается его качество в процессе уборочных работ. При ранней уборке зерно биологически незрелое, то есть в зерне не закончен процесс накопления сухих веществ, что приводит к недобору урожая и к снижению его качества. При уборке хлебов в период налива зерна недобор составляет от одной трети до половины урожая. Снижается урожайность и при уборке хлебов в начале восковой спелости.

Запаздывание с уборкой ведет к еще большим потерям урожая от осыпания зерна и ухудшения хлебопекарных качеств, в период перестоя хлебов снижается абсолютный вес и натура зерна [1].

Исследования показывают, что потери зерна от осыпания на 5-й день после наступления полной спелости составляют 4 % урожая, на 8-й день – 8 %, на 10-й день – 12 %, на 12-й день – 28 % биологического урожая зерна. Потеря только одного колоса на квадратном метре поля приводит к недобору 10–16 кг зерна с гектара [2].

Анализ хода уборки урожая последних лет показывает, что имеющимся в республике парком зерноуборочных комбайнов (12914 шт. на начало 2009) при существующей организации работ возможно обеспечить уборку в агротехнические сроки (14 дней) не более 50 % планируемого валового объема зерна. Анализ хода уборки 2008 года, как наиболее благоприятного по климатическим условиям, также показал, что валовой сбор зерна за 14 дней уборки не превысил 65 % требуемого объема. Если учитывать, что коэффициент технической готовности зерноуборочных комбайнов в период массовой уборки составляет не более 80 %, то фактические сроки уборки могут превысить допустимые агротехническими требованиями в 1,5–2 раза.

В целом из-за технического и организационно-технологического несовершенства уборочного конвейера суммарные потери урожая могут достигать 10 % и более [3].

Дальнейшее наращивание производства зерна в условиях сокращения энергетических ресурсов невозможно без изыскания и освоения новых энерго- и ресурсосберегающих технологий и технологических приемов, усовершенствования конструкции уборочных машин, обеспечивающих высокий уровень организации уборочных работ и эффективное использование техники.

Опыт эксплуатации высокопроизводительных зерноуборочных комбайнов, которыми оснащаются в последнее время сельскохозяйственные предприятия республики (КЗС-812, КЗС-10К, КЗС-12, Лида-1300 и др.), показывает, что производительность этих комбайнов увеличивается далеко не пропорционально росту их пропускной способности. Технические возможности зерноуборочных комбайнов полностью не используются при уборке полеглых, засоренных посевов и неравномерно созревающих культур, имеющих, как правило, повышенную влажность хлебной массы, в результате чего себестоимость зерна увеличивается.

В настоящее время более 40 % зерноуборочных комбайнов в республике эксплуатируются за пределами амортизационного срока службы, что не позволяет эффективно их использовать. Это, в свою очередь, приводит к увеличению сроков уборки основных колосовых культур до 30 дней и более и, соответственно, к потерям урожая от перестоя и самоосыпания на корню, а также из-за нарушения герметизации, режимов работы молотильного аппарата и системы очистки комбайнов.

Поэтому при уборке засоренных, неравномерно созревающих, влажных и полеглых хлебов, прямое комбайнирование которых сопряжено с резким падением темпа уборки, с высокими затратами энергоресурсов и большими потерями зерна, отдельной и двухфазной уборке, по нашему мнению, нет альтернативы.

В РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» был разработан и изготовлен экспериментальный образец валковой жатки ЖТ-6 для эксплуатации с реверсивными тракторами «Беларус-1221В» и «Беларус-1522В».

Сравнительную оценку производим с комбайном КЗР-10 при прямом комбайнировании с жаткой шириной 6 м и при подборе валков.

Исходя из мощности двигателя, расход топлива комбайном – 215 кВт.

$$q = \frac{q' \cdot P}{1000},$$

где q' – расход топлива на 1 кВт мощности двигателя (250 г);

P – мощность двигателя, кВт.

$$q = \frac{250 \cdot 213}{1000} = 53,25 \text{ кг/ч,}$$

или $q = 426 \text{ кг/см.}$

Сменная производительность комбайна при прямом комбайнировании

$$W_{см} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot T_p,$$

где B_p – рабочая ширина захвата, м;

V_p – рабочая скорость комбайна, км/ч (согласно исследованиям, колеблется в зависимости от условий уборки от 2 до 6 км/ч);

T_p – время работы, ч.

$$W_{см} = 0,1 \cdot 5,7 \cdot 4,5 \cdot 6,8 = 17,4 \text{ га.}$$

Удельный расход топлива из расчета сменной производительности

$$q_{кг/га} = \frac{q}{W_{см}} = \frac{426}{17,4} = 24,5 \text{ кг/га.}$$

Производительность комбайна на подборе валка (скорость комбайна на подборе одинарного валка колеблется в пределах 6...8 км/ч, ширину захвата берем из расчета ширины захвата валковой жатки)

$$W'_{см} = 0,1 \cdot 5,7 \cdot 7 \cdot 6,8 = 27,1 \text{ га/см.}$$

Удельный расход топлива при этом будет составлять:

$$q'_{кг/га} = \frac{426}{27,1} = 15,7 \text{ кг/га.}$$

Расход топлива на укладку валка и общий расход топлива рассчитываем исходя из сменной потребности комбайна на подборе валка. Согласно оценке ГУ «Белорусская МИС», удельный расход топлива агрегата «Беларус-1522В» + ЖТ-6 составил 7,6 кг/га. При укладке одинарного валка расход топлива составит на площадь 17,4 га:

$$q_{мп} = 27,1 \cdot 7,6 = 132,3 \text{ кг.}$$

Для площади 27,1 га расход топлива составляет 206 кг.

Расход топлива суммарный с учетом укладки валка и подбором

$$q_{сум} = \frac{q + q_{мп}}{W_{см}},$$

на одинарном валке

$$q_{сум} = \frac{426 + 206}{27,1} = 23,3 \text{ кг/га.}$$

В случае сдвигания валков и с учетом меньшей скорости на подборе, 5,5 км/ч, сменная производительность комбайна составит 42,6 га/смену. Расход топлива суммарный при этом составляет:

$$q'_{сум} = \frac{426 + 324}{42,6} = 17,6 \text{ кг/га.}$$

Для сравнения: расход топлива при прямом комбайнировании составил 24,5 кг/га.

Как видно из таблицы 16, при сложных условиях уборки и низкой урожайности в результате применения раздельного способа можно добиться значительной экономии. Затраты при прямом комбайнировании составляют порядка 315,9 тыс. руб./га, при раздельном способе – 261,4 и 187,5 тыс. руб./га соответственно при подборе одинарных и сдвоенных валков, с учетом их укладки.

Таблица 16 – Сравнительный анализ экономической эффективности раздельной уборки и прямого комбайнирования при урожайности 30 ц/га (в ценах на 01.10.2010 г.)

№ п/п	Операция	Марка машины	Производительность, га/смену	Расход дизельного топлива, л/га	Эксплуатационные затраты, тыс. руб./га				
					амортизационные отчисления	техническое обслуживание и ремонт	дизельное топливо	заработная плата с отчислениями	итого
1	Прямое комбайнирование								
		КЗР-10	17,4	24,5	151,8	103,2	54,8	6,1	315,9
2	Раздельный способ уборки								
2.1	Скашивание в валки	«Беларус-1522В» +ЖТ-6	17,5	7,6	22,3	17,4	17,0	1,8	58,5
2.2	Подбор и обмолот валка	КЗР-10	27,1	15,7	97,5	66,3	35,2	3,9	202,9
2.3	Подбор и обмолот сдвоенного валка	КЗР-10	42,6	10	62,0	42,1	22,4	2,5	129,0
3.1	Итого затрат на скашивание и подбор валков	«Беларус-1522В» +ЖТ-6 + КЗР-10	–	–	119,8	83,7	52,2	5,7	261,4
3.2	Итого затрат на скашивание и подбор сдвоенных валков	«Беларус-1522В» +ЖТ-6 + КЗР-10	–	–	84,3	59,5	39,4	4,3	187,5

В случае хорошего состояния хлебостоя и повышения скорости движения комбайна до 6 км/ч, а соответственно, производительности до 23,3 га/смену экономическая целесообразность применения раздельной уборки теряет смысл. В этом случае раздельная уборка применяется для более раннего начала жатвы (с целью уменьшения потерь урожая от перестоя) и для уборки зернобобовых культур, семена которых созревают неравномерно.

24.06.13

Литература

1. Парк зерноуборочных комбайнов в Беларуси / В.Г. Самосюк [и др.] // Белорусское сельское хозяйство. – 2009. – № 7 – С. 44.
2. Бобылев, С.Н. Борьба с потерями сельскохозяйственной продукции / С.Н. Бобылев, А.Ш. Ходжаева. – М.: Знание, 1983. – 64 с.
3. Самосюк, В.Г. О реальном энергосбережении в сельском хозяйстве / В.Г. Самосюк, Л.Я. Степук // Вести Национальной академии наук Беларуси. – 2008. – № 4. – 126 с.

УДК 631.365

В.П. Чеботарев, И.В. Барановский

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

А.В. Новиков, Т.А. Непарко

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

**ПОДБОР, РАСЧЕТ
И ОПТИМИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ МАШИН
ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНО-
СУШИЛЬНОГО
КОМПЛЕКСА**

Введение

Переход зерновой отрасли республики на промышленную основу должен базироваться на освоении поточных способов производства, внедрении компьютеризированных поточных технологий послеуборочной обработки зерна. Отличительными признаками компьютеризированных промышленных поточных технологий являются: завершенность работ по всему технологическому процессу – от приема комбайнового зернового вороха до закладки на хранение и хранения полученного зерна; разделение технологического процесса на отдельные операции и выполнение каждой операции специализированной машиной; последовательное перемещение обрабатываемого потока зерна по операциям технологического процесса и расположение машин и оборудования в порядке, обеспечивающем последовательность выполнения операций; компьютерный контроль и управление технологическими операциями на протяжении всего технологического процесса.

Основная часть

В процессе уборки, послеуборочной обработки урожая зерновых культур функционирует транспортный поток зернового вороха от комбайнов на зерноочистительно-сушильный комплекс. При этом величина потока имеет значительную сезонную, суточную и часовую неравномерность. Как известно, непрерывный поток наиболее полно отвечает требованиям поточного промышленного производства. Он характеризуется строгой согласованностью выполняемых операций, равномерной подачей и непрерывностью потока обрабатываемого материала. Встраиваемые в зерноочистительно-сушильный комплекс машины подбираются на основе их паспортной производительности. Однако в условиях значительной неравномерности состава, качества и объема поступающего зернового вороха нарушается надежная работа комплекса, на различных переходах образуются скопления больших масс зерна. Поэтому основные достоинства непрерывно-поточных линий – строгая согласованность, непрерывность выполняемых операций – становятся главным недостатком. Все это приводит к простоям уборочно-транспортного и зерноочистительно-сушильного комплексов, удлинняет сроки уборки, приводит к качественным и количественным потерям зерна. Кроме того, временное хранение больших масс необработанного зернового вороха вызывает снижение качества зерна и создает дополнительные издержки на его хранение и перемещение. Проблема неравномерности потока зернового вороха может быть решена путем подбора, согласования и оптимизации всех машин комплекса по производительности, а также путем установки межоперационных компенсирующих промежуточных емкостей для накопления и временного хранения обрабатываемого материала.

Многочисленными исследованиями установлено, что производительность машин для послеуборочной обработки зерна существенным образом зависит от целого ряда факторов: вида и назначения обрабатываемой культуры, влажности и засоренности поступающего на обработку вороха и других. Поэтому необходимая производительность машины предварительной очистки зерна для заданного комплекса будет определяться согласно выражению:

$$q_{\text{пдо}} = \frac{Q_{\text{вал}}}{k_{\text{пк}} k_{\text{ис}} k_{\text{пв}} k_{\text{см}} \Phi_{\text{зск}}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{вал}}$ – количество зерна, подлежащего обработке на зерноочистительно-сушильном комплексе, t ;

$k_{\text{пк}}$ – безразмерный поправочный коэффициент, учитывающий вид обрабатываемой культуры;

$k_{\text{ис}}$ – безразмерный поправочный коэффициент, учитывающий засоренность обрабатываемой культуры;

$k_{\text{пв}}$ – безразмерный поправочный коэффициент, учитывающий влажность обрабатываемой культуры;

$k_{см}$ – коэффициент использования сменного времени;

$\Phi_{зск}$ – фонд рабочего времени зерноочистительно-сушильного комплекса.

Значения поправочных коэффициентов выражения (1) $k_{пк}$, $k_{пс}$, $k_{пв}$ приведены в работах В.А. Кубышева [1, 2], В.М. Янко [3], Г.И. Креймермана [4]. Коэффициент $k_{пв} = 0,03 \dots 0,07$ учитывает снижение производительности зерноочистительной машины в зависимости от увеличения влажности обрабатываемого материала выше 16 %, а коэффициент $k_{пс} = 0,02 \dots 0,04$ учитывает снижение производительности зерноочистительной машины с увеличением засоренности зернового вороха выше 2 %.

Необходимая производительность зерносушильного отделения определится согласно выражению:

$$q_{зс} = \frac{Q_{вал} U_c}{k_{пн} k_{пк} k_{пв} \Phi_{зск}}$$

где U_c – коэффициент, характеризующий долю зерна, подлежащую сушке, от общего валового сбора;

$k_{пн}$ – коэффициент, учитывающий назначение зерна (семенное, продовольственное, фуражное).

Номинальная производительность зерноочистительно-сушильного комплекса $q_{зскН}$ определяется по машине, имеющей наименьшую производительность; такой, как правило, является зерносушилка. Поэтому при оптимизации параметров комплекса принимается $q_{зскН} = q_{зс}$ с учетом запланированного фонда рабочего времени зерноочистительно-сушильного комплекса согласно агротехническим нормативам $\Phi_{зск}$. На основании известных исследований [5–7] и практических расчетов при проектировании и создании комплексов [8], действительная их производительность определяется в условиях эксплуатации, отвечающих агротехническим требованиям, за определенное время, затраченное на обработку зернового вороха τ_p и на выполнение внецикловых операций и устранение отказов $\tau_{п}$, согласно выражению:

$$q_{зскФ} = \frac{Q_{вал}}{\tau_p + \tau_{п}}$$

Таким образом, оценка работы и оптимизация параметров машин и оборудования, а также всего зерноочистительно-сушильного комплекса может быть проведена по коэффициенту использования номинальной производительности, который представляет собой отношение фактической производительности комплекса к номинальной:

$$\eta_{зск} = \frac{q_{зскФ}}{q_{зскН}} = \frac{\Phi_{зск}}{\tau_p + \tau_{п}}$$

С другой стороны, величина коэффициента использования номинальной производительности зерноочистительно-сушильного комплекса зависит от коэффициентов использования производительности отдельных машин, входящих в его состав:

$$\eta_{\text{зск}} = \frac{q_{\text{нпбФ}} q_{\text{пдоФ}} q_{\text{нкеФ}} q_{\text{нзсФ}} q_{\text{зсФ}} q_{\text{нохФ}}}{q_{\text{нпбН}} q_{\text{пдоН}} q_{\text{нкеН}} q_{\text{нзсН}} q_{\text{зсН}} q_{\text{нохН}}} = \eta_{\text{нпб}} \eta_{\text{пдо}} \eta_{\text{нке}} \eta_{\text{нзс}} \eta_{\text{зс}} \eta_{\text{нох}},$$

где $q_{\text{нпбФ}}$ и $q_{\text{нпбН}}$ – соответственно фактическая и номинальная производительность нории приемного бункера, m^3/c ;

$q_{\text{пдоФ}}$ и $q_{\text{пдоН}}$ – соответственно фактическая и номинальная производительность машины предварительной очистки, m^3/c ;

$q_{\text{нкеФ}}$ и $q_{\text{нкеН}}$ – соответственно фактическая и номинальная производительность нории компенсирующей емкости, m^3/c ;

$q_{\text{нзсФ}}$ и $q_{\text{нзсН}}$ – соответственно фактическая и номинальная производительность нории зерносушилки, m^3/c ;

$q_{\text{зсФ}}$ и $q_{\text{зсН}}$ – соответственно фактическая и номинальная производительность зерносушилки, m^3/c ;

$q_{\text{нохФ}}$ и $q_{\text{нохН}}$ – соответственно фактическая и номинальная производительность нории отделения хранения, m^3/c ;

$\eta_{\text{нпб}}$; $\eta_{\text{пдо}}$; $\eta_{\text{нке}}$; $\eta_{\text{нзс}}$; $\eta_{\text{зс}}$; $\eta_{\text{нох}}$ – безразмерные коэффициенты использования номинальной производительности соответственно нории приемного бункера, машины предварительной очистки, нории компенсирующей емкости, нории зерносушилки, зерносушилки, нории отделения хранения зерна.

Коэффициент использования номинальной производительности является показателем оптимальности спроектированного комплекса с точки зрения обеспечения максимальной производительности. Таким способом исключаются потери производительности всего комплекса за счет ее потерь на отдельных машинах. Чем ближе коэффициент использования номинальной производительности комплекса к единице, тем полнее используются все входящие в его состав машины, и, следовательно, его компоновка оптимальна.

Для эффективно работающего на оптимальной производительности комплекса, исходя из работ различных исследователей [5–7], должно выполняться условие: $q_{\text{нпб}} > q_{\text{пдо}} \geq q_{\text{нке}} > q_{\text{нзс}} > q_{\text{зс}} \geq q_{\text{нох}}$. Анализ результатов и данных проектов зерноочистительно-сушильных комплексов производительностью от 15 до 100 m^3/c показал, что с достаточной для практических целей точностью это условие может быть представлено следующим выражением:

$$q_{\text{нпб}} : q_{\text{пдо}} : q_{\text{нке}} : q_{\text{нзс}} : q_{\text{зс}} : q_{\text{нох}} = 4:3:3:2:1:1. \quad (2)$$

Таким образом, при соблюдении условий зависимости (2) будет обеспечена поточность работы проектируемого зерноочистительно-сушильного комплекса.

Выводы

Для снижения простоев уборочно-транспортного и зерноочистительно-сушильного комплексов, уменьшения сроков уборки и минимальных качественных и количественных потерь зерна в сельскохозяйственном

производстве республики должны внедряться компьютеризированные поточные технологии послеуборочной обработки зерна. Поточность работы и оптимизация параметров зерноочистительно-сушильного комплекса могут быть установлены на основании коэффициента использования производительности комплекса, который представляет собой отношение фактической производительности комплекса к номинальной.

17.09.13

Литература

1. Кубышев, В.А. Определение потребного количества машин для обработки зерна на токах / В.А. Кубышев, Ю.В. Панус // Труды ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1964. – Вып. 14. – С. 53–59.
2. Пути интенсификации процессов послеуборочной обработки зерна. Интенсификация процессов послеуборочной обработки зерна / В.А. Кубышев [и др.] // Тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1974. – Вып. 87. – С. 6–12.
3. Янко, В.М. Статистический метод расчета производительности машин / В.М. Янко // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1969. – № 11. – С. 9–12.
4. Креймерман, Г.И. Технологическое проектирование зернохранилищ / Г.И. Креймерман. – М.: Колос, 1970. – 187 с.
5. Краусп, В.Р. Метод определения оптимальных параметров послеуборочной обработки зерна / В.Р. Краусп // Доклады ВАСХНИЛ. – М, 1970. – № 2. – С. 49–52.
6. Елизаров, В.П. Оптимизация основных технологических параметров сельскохозяйственных комплексов послеуборочной обработки зерна: автореф. дис. ... докт. техн. наук / В.П. Елизаров. – М.: ВИМ, 1982. – 40 с.
7. Краусп, В.Р. Автоматизация послеуборочной обработки зерна / В.Р. Краусп. – М.: Машиностроение, 1975. – 225 с.
8. Маринич, Л.А. Оборудование и машины для послеуборочной обработки зерна: каталог / Л.А. Маринич [и др.]; Минсельхозпрод РБ, РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2009. – 127 с.

УДК 631.365

В.П. Чеботарев, И.В. Барановский

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

А.В. Новиков, Т.А. Непарко

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

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССОВ СЕПАРИРОВАНИЯ

Введение

Основой сепарирования зерновых смесей является процесс разделения. Процесс разделения – это сортирование исходной зерновой смеси по величине какого-либо признака или параметра ее частиц на отдель-

ные компоненты. При классическом механическом сепарировании разделение компонентов зернового вороха осуществляется с помощью разделительных органов машин: сит, воздушных каналов, сито-воздушных устройств, ячеистых или фрикционных поверхностей на основе геометрических или физико-механических свойств зерен и других составляющих сепарируемого материала.

Основная часть

Для оценки возможности сепарирования зернового вороха применяются дифференциальные или интегральные кривые плотности распределения, а также гистограммы накопленных частот признака сортирования, которые представляют собой результат лабораторных исследований конкретного материала [1–3]. С помощью разделительной линии, проведенной на соответствующей кривой или гистограмме накопленных частот, в соответствии с установленным значением признака сепарирования определяются удаляемые из основного материала компоненты, например семена сорняков, дробленые и неполноценные зерна, солома, части стеблей, а также другие мелкие и легкие посторонние примеси. Определение абсолютной величины линии разделения в физических единицах измерений конкретного признака производится на основе соответствующего среднего показателя зерен в основном материале, а также на основе аналогичных показателей отделяемых компонентов. Для обеспечения выделения в соответствии с заданными требованиями к зерновому материалу используются верхняя L_{Rmin} и нижняя L_{Rmax} линии разделения (рисунок 68).

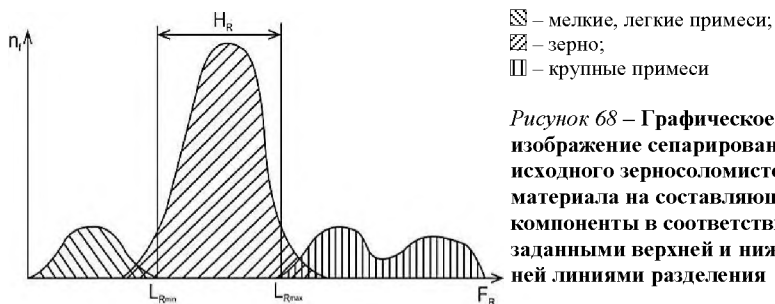


Рисунок 68 – Графическое изображение сепарирования исходного зерносорночного материала на составляющие компоненты в соответствии с заданными верхней и нижней линиями разделения

Расстояние между нижней и верхней линиями разделения определяет ширину H_R зоны расположения основного выделяемого материала, например зерна требуемого качества. Возможность разделения смеси различных частиц по какому-либо признаку F_R определяется взаимным расположением дифференциальных или интегральных кривых распределения для основного продукта и засоряющих фракций. Дифференциаль-

ная $P'_{\text{отх}}$ и интегральная $P_{R\text{зеп}}$ кривые распределения частиц отходов и зерна по параметру F_R изображены на рисунке 69. Между этими кривыми, например, для частиц отходов существуют следующие зависимости:

$$P_{R\text{отх}}(F_R) = \int_{F_{R1}}^{F_{R2}} P'_{R\text{отх}}(F_R) dF_R$$

или

$$P'_{R\text{отх}} = \frac{P_{R\text{отх}}(F_R)}{dF_R}.$$

На рисунке 69 построены также аналогичные кривые распределения для зерна. При расположении линии разделения L_R в соответствии с рисунком 69 при сортировании может быть выделено следующее количество частиц отходов (в долях единицы от общего количества таких частиц):

$$\Phi_{\text{отх}} = \int_{L_1}^{L_R} P'_{R\text{отх}}(F_R) dF_R.$$

При этом будет вынесено зерна (в долях единицы от общего количества зерна) следующее количество:

$$\Phi_{\text{зеп}} = \int_{L_2}^{L_R} P'_{R\text{зеп}}(F_R) dF_R.$$

Таким образом, соответствие процесса сепарирования заданным агротребованиям $\Pi_{\text{отх, доп}}$ и $\Pi_{\text{зеп, доп}}$ определяется следующими условиями:

$$1 - \Phi_{\text{отх}} = \Pi_{\text{отх, доп}};$$

$$\Phi_{\text{зеп}} < \Pi_{\text{зеп, доп}}.$$

Параметры линии разделения определяют глубину сортировочного процесса.

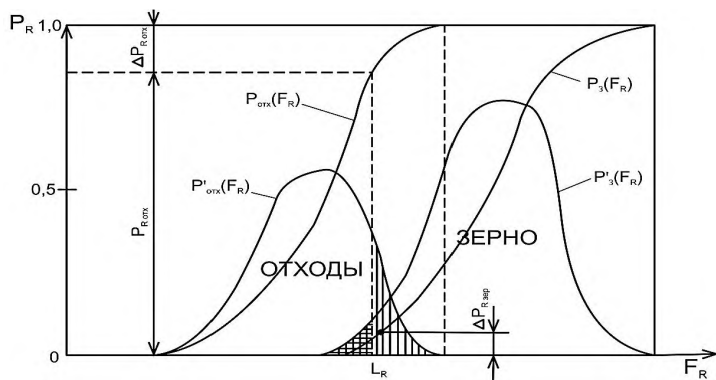


Рисунок 69 – Изображение процесса сепарирования по параметру F_R с помощью дифференциальных и интегральных кривых распределения

Используемая линия разделения L_R не представляет собой однозначной характеристики. В принципе, необходимо различать идеальную и реальную линии разделения для конкретной культуры и условий. Иде-

альная характеристика линии разделения представляет собой величину параметра признака разделения, соответствующую заданным требованиям к составу и качеству сортируемого материала (рисунок 69). В соответствии с физической величиной параметра разделения, например, если по агротребованиям необходимо разделить зерновую смесь по толщине зерновок до и более 2,5 мм, то продольные отверстия сита должны иметь разделительный размер 2,5 мм, и тогда все компоненты, имеющие толщину менее 2,5 мм, должны проходить через отверстия сита, то есть отделяться. В этом случае каждое зерно толщиной менее 2,5 мм должно иметь вероятность выделения $P_R = 1$, а у зерновок толщиной более 2,5 мм вероятность прохождения через отверстия должна равняться $P_R = 0$. Такое идеальное разделение может быть достигнуто только в идеальных условиях; например, при просеивании в течение 10 минут слоя зерна толщиной в одно зерно поверхность сита должна быть чистой, идеально ровной, ширина отверстий – строго 2,5 мм, оно не должно подвергаться вибрации. Или, например, при сепарации зернового материала в потоке воздуха должны быть абсолютно исключены отклонения профиля скоростей воздушного потока по всем сечениям канала аспирации. Выдержать такие условия при практической сепарации зернового материала невозможно, так как при этом следовало бы использовать машины с производительностью и параметрами, которые бы исключали их эффективную эксплуатацию. На практике сепарирование осуществляется с большими массовыми потоками, которые с помощью подбора оптимальных конструктивных и кинематических параметров работы разделительных элементов машин приближают процесс к идеальным условиям.

Реальная характеристика линий разделения – это характеристика работы разделительного элемента для заданных одинаковых условий с соответствующей производительностью. Реальную характеристику рассчитать нельзя, ее можно определить экспериментальным путем.

Кроме того, реальная характеристика интегральной плотности распределения или гистограммы накопленных частот признака сортирования обычно описывается логистической S-образной кривой. В процессе сепарирования отдельные частицы, которые имеют параметр признака разделения больше идеальной линии разделения, остаются в основном материале. И наоборот, частицы, которые имеют меньшие соответствующие параметры, чем установлены линией разделения, могут попасть в отделенную фракцию. В этом случае могут образовываться так называемые потери зерна проходом, еслиходом должно идти основное зерно, или, наоборот, сходом, если проходом должно идти основное зерно. Эти проблемы разделения касаются всех видов сортировальных процессов, причем возможны значительные колебания по отдельным признакам. Что касается количественной оценки, то она выражается в абсолютном эффекте разделения.

Интегральные кривые распределения показывают, с какой вероятностью могут быть отделены компоненты определенной величины одного качества или остаться в основном зерновом материале (рисунок 69). В принципе, для отделяемых (мелких составляющих) компонентов действительно то, что частицы в ближнем от линии разделения диапазоне (граничные зерна) будут отделены с малой вероятностью – 0,05...0,1, а очень маленькие, наоборот, будут отделены с большой вероятностью – 0,8...1. В отношении компонентов, которые имеют параметры признака больше значения, установленного линией разделения, имеют место следующие особенности процесса сепарирования:

- при увеличении полноты выделения отделяемых компонентов увеличиваются потери основного зерна;
- при обеспечении выполнения требований высокой чистоты отделения частиц в ближнем, превышающем линию раздела, диапазоне всегда будут происходить повышенные потери зерна (рисунок 70);
- незначительное снижение требований чистоты выделения частиц в ближнем, меньшем от линии раздела, диапазоне всегда будет происходить без существенных потерь зерна.

Изменение разделительного эффекта и потерь зерна при одинаковой пропускной способности в зависимости от вида интегральной кривой распределения представлено на рисунке 70.

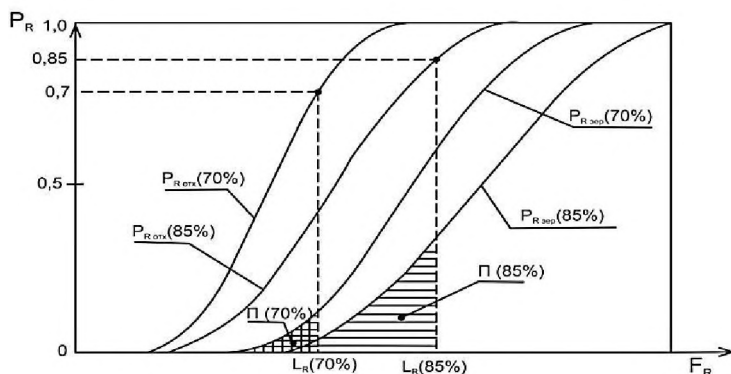


Рисунок 70 – Влияние степени разделения на потери зерна при одинаковой пропускной способности сепарирующего устройства

Кроме того, реальное разделение исходного материала представляет собой процесс, который не протекает постоянно. Вероятность разделения материала кроме протекания основного процесса сортирования по отличительному признаку зависит также от целого ряда других процессов и факторов. Одним из таких процессов в сортируемом слое является расслоение. Вначале, перед разделением, сепарируемая смесь поступает

на разделительный элемент, как правило, в виде слоя однородно перемешанных частиц компонентов внутри смеси. При движении слоя сепарируемого материала по ровной поверхности он расслаивается (образует отдельные слои) согласно следующим закономерностям.

Более мелкие частицы с одинаковой плотностью, поверхностью и формой по отношению к аналогичным, только более крупным, всегда при расслоении концентрируются в нижней части слоя. Частицы с относительно большей плотностью, но с одинаковыми размерами, поверхностью и формой концентрируются также в нижнем диапазоне слоя.

Относительно угловатые частицы с одинаковой плотностью, размерами и поверхностью по сравнению с частицами с более плавными, округлыми формами концентрируются в верхнем диапазоне слоя. Аналогично, относительно более шероховатые частицы концентрируются в верхнем диапазоне слоя. Представленные здесь факторы расслоения редко действуют каждый отдельно. За счет комбинированного их воздействия влияние отдельных факторов может повышаться или понижаться.

Аналогичны принципы расслоения слоя материала под воздействием потока воздуха (воздушная сепарация). Слой материала, который движется под влиянием потока воздуха, расслаивается в соответствии со скоростью витания компонентов. Представленные выше закономерности при этом остаются действительными, за одним лишь исключением: мелкие частицы с одинаковой плотностью и формой концентрируются в потоке воздуха в верхнем слое материала.

Знание процессов расслоения имеет значение для того, чтобы использовать на практике наиболее эффективные для этого процесса разделительные элементы. Они должны способствовать тому, чтобы процессы расслоения оказывали максимальное положительное воздействие на последующий процесс разделения. В принципе, разделение происходит тем полнее и быстрее, чем быстрее происходит расслоение. Например, мелкие частицы перемещаются в нижнюю часть слоя зерна, а легкие и большие – на его поверхность.

На скорость протекания процесса расслоения в соответствии с описанными выше закономерностями могут оказывать влияние также следующие факторы:

- влажность сепарируемого материала. Из-за присутствия влаги любой процесс расслоения замедляется, так как влага ухудшает текучесть и прсыпаемость всего слоя материала;
- шероховатость поверхности материала. Она замедляет любой процесс расслоения из-за плохой текучести слоя материала;
- структурная неоднородность слоя материала. Слой материала из-за увеличения содержания в нем мелких и очень мелких частиц становится все более вязким, так как перенасыщаются полые пространства

между зернами, необходимые для расслоения. В результате частицы теряют свою подвижность, что затрудняет процесс расслоения.

Реальный процесс разделения находится под воздействием не только вышеуказанных факторов, но и удельной нагрузки на разделительный элемент – толщины подаваемого слоя материала. Большая пропускная способность означает большую высоту слоя материала, низкая пропускная способность – соответственно малую высоту слоя. С уменьшением пропускной способности во всех диапазонах качества зерна увеличивается вероятность разделения (рисунок 71).

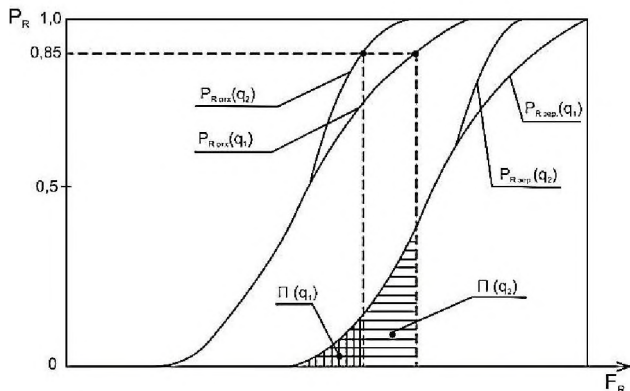


Рисунок 71 – Влияние пропускной способности на потери зерна при одинаковом эффекте разделения

При снижении пропускной способности уменьшаются потери зерна, а при ее увеличении вероятность разделения можно сохранить на том же уровне только при условии увеличения потерь зерна (рисунок 72).

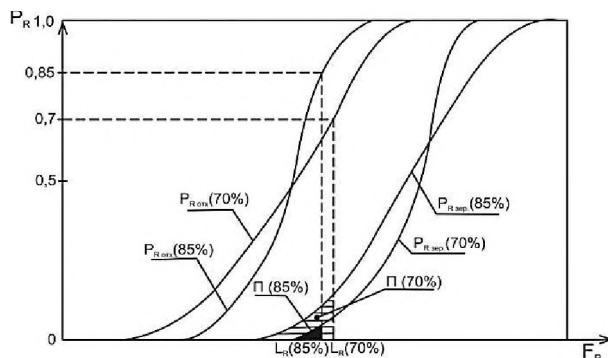


Рисунок 72 – Влияние степени разделения на потери зерна при одинаковой пропускной способности сепарирования

Очистка и сортирование зернового материала для повышения его качества не осуществляется на практике в ходе одной операции. В зависимости от вида культуры и степени очистки, которую должен иметь готовый зерновой материал, предъявляются различные требования к соответствующему процессу разделения, а особенно к производительности.

Производительность зерноочистительной машины характеризуется ее пропускной способностью и качеством работы, которого можно при этом достичь. Эти данные вынужденно ограничиваются определенным набором параметров из-за множества задач по очистке. Причиной тому – множество видов семян, которые необходимо очищать на практике, колебания качества и состава этих семян в зависимости от почвы, климата, сорта, условий прорастания, ухода и уборки урожая.

Производительность зерноочистительной машины определяется на основе номинальной пропускной способности машин Q_n . Эта номинальная пропускная способность изменяется в зависимости от различных условий, в результате чего на основе номинальной пропускной способности устанавливается соответствующая откорректированная пропускная способность Q_k для обработки конкретной партии материала.

Помимо показателя производительности процесса сепарации, качество его работы описывается также с помощью показателей эффективности разделения и потерь зерна. Эти показатели воспроизводимы только в установленных аналогичных условиях. В сельскохозяйственной практике в соответствии с теми же закономерностями для выполнения более высоких требований к процессу разделения используют реализованный (осуществимый) эффект разделения (E_r) и абсолютный эффект разделения (E_a).

Реализованный эффект разделения представляет собой процентное соотношение между отделенными и всеми подлежащими отделению компонентами одной той же линии раздела. Реализованный эффект позволяет определять качество разделения, пригодное для экспериментальной оценки. Необходимое условие для этого – воздействия на материал остаются постоянными, а при анализе подготавливаемого материала используют те же линии раздела, что и в машине. Реализованный эффект разделения сильно зависит от делимости подлежащих отделению компонентов и их чистоты. Обе величины не учитываются в этом показателе. Этот показатель можно относительно легко определить, поэтому он является объективной величиной для контроля в достаточной мере постоянного процесса. Интегральная или дифференциальная кривые распределения для разделения, полученные в ходе экспериментального разделения, являются необходимым условием для определения абсолютного эффекта разделения (E_a). Определение производится на основе площадей, которые ограничиваются линией раздела и ее 0,5-кратной величиной для мелких и легких компонентов. Что касается крупных

компонентов, то площадь для них находится между линией раздела и ее 1,5-кратной величиной. Отделяемая доля примесей – это доля площади, расположенная над соответствующей кривой коэффициентов разделения. Соотношение этой выделенной доли площади и общей площади и есть абсолютный эффект разделения в процентах.

Абсолютный эффект разделения, несмотря на использование различных взаимосвязанных партий, позволяет довольно объективно характеризовать качество разделения, так как оно зависит от распределения компонентов. Абсолютный эффект разделения при предварительной очистке находится в диапазоне порядка величин реализованного (осуществимого) эффекта разделения. Чем ближе подходит линия разделения к основному материалу, тем существеннее увеличивается ее величина по сравнению с реализованным (осуществимым) эффектом разделения. Из этого следует, что в ходе проделанных этапов очистки тяжелые, подлежащие отделению составляющие останутся вблизи линии раздела.

Абсолютный эффект разделения устанавливается для отдельных разделительных элементов. Расчет абсолютного эффекта разделения для машины или установки производится путем образования среднего значения из абсолютных эффектов разделения для отдельных разделительных элементов. При этом можно производить как оценку только одного разделительного элемента, так и нескольких разделительных элементов по одинаковым параметрам зерна.

Выводы

Для каждого процесса разделения действительна закономерность – высокие эффекты разделения при постоянной пропускной способности достигаются только при более высоких потерях зерна. В случае обеспечения протекания процесса с меньшими потерями зерна необходимо выполнять работу с более низким разделением компонентов в материале. Высокие эффекты разделения без существенных потерь зерна, которые позволяют сблизить получаемые кривые коэффициентов разделения с идеальными характеристиками линий раздела, возможны только при очень низкой пропускной способности. И, наконец, те допустимые в ходе очистки потери зерна, которые имеются на практике, вынуждают всегда принимать экономическое решение с учетом выхода годных семян и продолжительности очистки.

18.09.13

Литература

1. Янко, В.М. Вероятностная модель зернового материала, поступающего на предприятия послеуборочной обработки зерна / В.М. Янко // Земледельческая механика: сб. тр. – М.: Машиностроение, 1968. – Т. 10. – С. 39–47.
2. Киреев, М.В. Послеуборочная обработка зерна в хозяйствах / М.В. Киреев, С.М. Григорьев, Ю.К. Ковальчук. – Л.: Колос, 1981. – 224 с.

3. Янко, В.М. Статистический метод расчета производительности машин / В.М. Янко // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1969. – № 11. – С. 9–12.

УДК 631.333:631.862

**Л.Я. Степук, А.А. Жешко,
Э.В. Дыба**

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

ОБОСНОВАНИЕ ШАГА УСТАНОВКИ ДИСКОВ И РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ИХ РЯДАМИ В АДАПТЕРЕ ДЛЯ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ ЖИДКОГО НАВОЗА

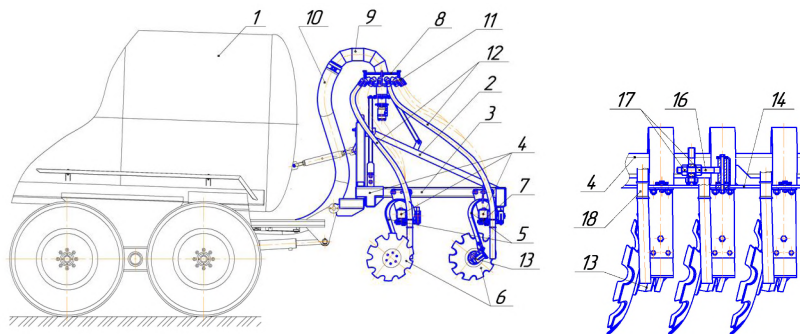
Введение

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана машина, оснащенная сменными модулями (адаптерами) для поверхностного и внутрипочвенного внесения жидкого навоза.

Целью настоящей работы является обоснование шага и угла установки дисков и расстояния между их рядами в адаптере для внутрипочвенного внесения жидкого навоза.

Основная часть

Машина, укомплектованная адаптером для внутрипочвенного внесения жидкого навоза (рисунок 73), состоит из цистерны 1, дискового адаптера 2, который, в свою очередь, имеет раму, состоящую из продольных 3 и поперечных 4 брусьев. К раме прикреплены упругие стойки 5 с дисками 6 с возможностью поворота их вокруг осей 7.



1 – цистерна; 2 – адаптер дисковый; 3 – продольные брусья; 4 – поперечные брусья; 5 – упругие стойки; 6 – сферические диски; 7 – оси; 8 – делительная головка; 9 – патрубок; 10 – напорный трубопровод; 11 – выпускные патрубки; 12 – разливочные патрубки; 13 – подшипниковые узлы; 14 – планка; 15 – жесткие поводки; 16 – регулировочные болты; 17 – контргайки; 18 – втулки-направители

Рисунок 73 – Схема машины для внутрипочвенного внесения жидкого навоза

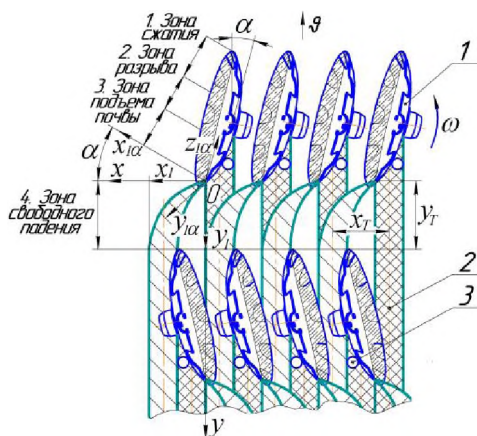
Сверху на раме адаптера закреплена делительная головка 8, в крышке которой имеются патрубок 9 с присоединенным напорным трубопроводом 10 и выпускные патрубки 11, к которым прикреплены верхними концами разливочные патрубки 12, а нижние концы их закреплены сзади по ходу движения агрегата на уровне осей подшипниковых узлов 13 дисков 6.

Механизм регулирования угла атаки дисков 6 каждого ряда состоит из планки 14, соединенной с упругими стойками 5 посредством жестких поводков 15 и регулировочных болтов 16 с контргайками 17. К планкам 14 приварены специальные втулки-направители 18, позиционирующие концы разливочных патрубков 12.

Работает агрегат следующим образом.

Жидкие органические удобрения, находящиеся в цистерне 1, подаются по напорному трубопроводу 10 в делительную головку 8, которая равномерно распределяет общий поток жидкого навоза на множество малых потоков (по количеству дисков в адаптере), поступающих далее по разливочным патрубкам 12 в канавки, отрываемые каждым диском 6.

Благодаря тому, что нижние концы разливочных патрубков 12 закреплены за подшипниковыми узлами 13 и на уровне их осей с выпуклой стороны дисков 6 (рисунок 73), обеспечивается точная подача жидкого навоза в открытые канавки 3 (рисунок 74), образуемые этими дисками. Тем самым исключается попадание навоза на поверхность поля и испарение питательных веществ.



1 – сферический диск; 2 – трубопровод для подачи навоза в канавки; 3 – канавки, образуемые дисками

Рисунок 74 – Схема взаимодействия сферического диска с почвой

В процессе работы сферические диски под действием реактивных сопротивлений почвы вращаются вокруг горизонтальной оси. Диск, установленный под углом к направлению движения, образует после прохода канавку в почве с желобчатым дном, в которую подается определенное количество жидкого навоза из цистерны.

Во избежание испарения аммиачного азота канавка закрывается почвой, отбрасываемой соседним диском, который также проделывает канав-

ку и в которую также подается заданное количество навоза. Для обеспечения полной и качественной заделки навоза в почву и исключения попадания отбрасываемой первой секцией рабочих органов почвы на вторую секцию рабочего органа необходимо обосновать шаг установки сферических дисков на раме и расстояние между рядами секций.

Вращательное движение изменяет траекторию перемещения почвенной массы по рабочей поверхности диска и за ее пределами, влияет на характер резания почвы. Характер деформации и перемещений почвы под действием сферических дисков, форма дна борозды зависят от диаметра дисков, угла их установки, расстояния между дисками вдоль рамы, скорости поступательного движения машины и свойств почвы.

При теоретическом обосновании шага установки дисков необходимо определить зависимость траектории перемещения объема почвенной массы по сферической поверхности диска от его конструктивных и кинематических параметров.

Предположим, что диск совершает равномерное прямолинейное движение без скольжения и буксования, и этому движению соответствует установившееся движение почвенного пласта по его сферической поверхности, при этом каждая почвенная частица описывает определенную траекторию и имеет в каждой ее точке постоянные скорость и ускорение [1, 2]. Траектория движения пласта почвы после схода с поверхности диска определяется весом пласта, а также величиной \mathcal{G}_a и направлением ε_1 абсолютной скорости его движения в момент схода с диска.

Взаимодействие диска с почвой характеризуется четырьмя зонами: сжатия, разрыва, подъема и свободного падения (рисунок 74).

В зоне сжатия происходит подрезание пласта почвы режущей кромкой диска, после чего почва, двигаясь по его внутренней поверхности, уплотняется за счет сил трения, возникающих при их взаимодействии. Величина сжатия почвы зависит от угла атаки α и скорости движения диска \mathcal{G} .

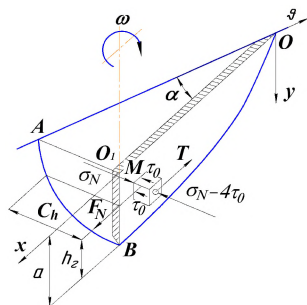


Рисунок 75 – Схема действия сил на частицу почвы

После сжатия пласта почвы происходит его разрыв, то есть нарушение его целостности. В зоне разрыва наибольшее влияние на характер движения почвы по сферической поверхности диска оказывает сила трения F_N и касательная сила T [1, 2, 3] (рисунок 75).

Уравнение равновесия сил в плоскости xOy (рисунок 75) имеет вид:

$$F_N - T = F_{y0},$$

где $F_{y0} > 0$, то есть движение частицы почвы по сферической поверхности диска будет осуществляться при условии $F_N > T$.

Сила, под действием которой происходит увлечение частицы M во вращение по поверхности диска, в зоне разрыва определяется выражением [4]:

$$F_{y0} = q(f - \varphi_{em}) \operatorname{tg} \alpha \sqrt{a(D - a)/2},$$

где q – коэффициент объемного смятия почвы, $\text{МПа}/\text{м}^3$;

f – коэффициент внешнего трения почвы о сталь;

φ_{em} – коэффициент внутреннего трения почвы;

a – глубина обработки, м ;

D – диаметр сферического диска, м .

В зоне подъема наблюдается относительное перемещение пласта по поверхности диска и отбрасывание его (пласта) под определенным углом.

Исследованиями [1] установлено, что зона подъема почвы занимает сектор с 30° до 150° . В соответствии с работами академика П.М. Василенко [5] возможными траекториями относительного движения частицы M по диску могут быть: спираль Архимеда, логарифмическая спираль, развертка окружности. Выполненные нами поисковые исследования показали, что частица M в относительном движении перемещается по траектории, близкой к логарифмической спирали, длина дуги которой определяется известным выражением [6]:

$$S_a = r \frac{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \psi}}{\operatorname{ctg} \psi},$$

где r – текущий радиус, м ;

ψ – угол между текущим радиусом и вектором относительной скорости, град .

В зоне свободного падения почвы (при сходе с диска) происходит перемещение ее по законам брошенного под углом к горизонту тела.

Учитывая сказанное, пользуясь рассуждениями Я.У. Яроцкого [4], определим шаг установки сферических дисков на раме и количество секций (дисковых рядов) адаптера, обеспечивающего внутрпочвенное внесение жидкого навоза и качественное лушение почвы.

Рассмотрим движение частицы M в плоскости вращения плоского диска (рисунок 76).

В момент отрыва диском почвы от монолита на частицу M действует сила F_{y0} . Дальнейшее взаимодействие частицы M с поверхностью диска изменяет величину и направление скорости ее движения ввиду нарушения связей, однако будем полагать, что сила F_{y0} изменяется незначительно. Также положим, что частица M в абсолютном вращательном движении перемещается по некоторой траектории S_a со скоростью \mathcal{S}_r , в переносном движении – со скоростью \mathcal{S}_e , направленной параллельно поступательному движению.

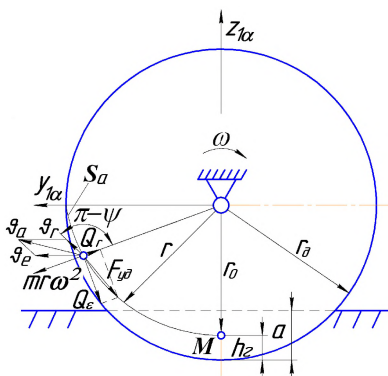


Рисунок 76 – Схема к определению абсолютной скорости движения частицы почвы, сходящей с вращающегося диска

формулой:

$$\varepsilon_1 = \arcsin \frac{g_r}{\sqrt{g_e^2 + g_r^2}} \quad (1)$$

Для определения переносной скорости g_e используем выражение:

$$g_e = g \cos \alpha \quad (2)$$

Окружную скорость g_r определим по формуле:

$$g_r = \sqrt{\frac{2F_{y0} S_a}{m} + r^2 \omega^2},$$

где ω – угловая скорость, рад./с;

m – плотность почвы, кг/см³.

Подставив в уравнения (1) и (2) значение g_e и g_r , получим:

$$g_a = \sqrt{g^2 \cos^2 \alpha + \frac{2F_{y0} S_a}{m} + r^2 \omega^2}; \quad (3)$$

$$\varepsilon_1 = \arcsin \sqrt{\frac{\frac{2F_{y0} S_a}{m} + r^2 \omega^2}{g^2 \cos^2 \alpha + \frac{2F_{y0} S_a}{m} + r^2 \omega^2}} \quad (4)$$

В момент схода частицы с поверхности диска $r = r_0$ угловая скорость $\omega = \frac{2g_e}{D} = \frac{2g \cos \alpha}{D}$.

Так как $D = 2r_0$, то $\omega = \frac{g \cos \alpha}{r_0}$,

где r_0 – радиус сферического диска, м.

Дальность полета частицы будет зависеть от величины g_a и направления ε_1 ее абсолютной скорости в момент схода с диска.

Значение абсолютной скорости определяется выражением (рисунок 76):

$$g_a = \sqrt{g_e^2 + g_r^2},$$

а направление ε_1 абсолютной скорости в момент схода с диска –

Тогда $\omega r_D = g \cos \alpha$ или $\omega^2 r_D^2 = g^2 \cos^2 \alpha$.

После математического преобразования и подстановки значений S_a , F_{y0} уравнения (3) и (4) принимают вид:

$$g_a = \sqrt{2g^2 \cos^2 \alpha + \frac{0,84q(f - \varphi_{em}) \operatorname{tg} \alpha \sqrt{a^3(D-a)}}{m}}; \quad (5)$$

$$\varepsilon_1 = \arcsin \sqrt{\frac{g^2 \cos^2 \alpha + \frac{0,84q(f - \varphi_{em}) \operatorname{tg} \alpha \sqrt{a^3(D-a)}}{m}}{2g^2 \cos^2 \alpha + \frac{0,84q(f - \varphi_{em}) \operatorname{tg} \alpha \sqrt{a^3(D-a)}}{m}}}. \quad (6)$$

В системе координатных осей $x_1 O y_1 z_{1\alpha}$ (рисунок 75) уравнения полета частицы M в зоне свободного падения имеют вид:

$$\begin{cases} x_1 = g_a \cos \varepsilon_1 \sin \alpha t; \\ y_1 = g_a \cos \varepsilon_1 \cos \alpha t; \\ z_{1\alpha} = g_a \sin \varepsilon_1 t - \frac{gt^2}{2}, \end{cases} \quad (7)$$

где g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

Исключив время t из уравнений полета частиц почвы, получим траектории абсолютного движения почвенной массы после схода с диска по x_1 :

$$z_{1\alpha} = \frac{x_1 \operatorname{tg} \varepsilon_1}{\sin \alpha} - \frac{g x_1^2}{2 g_a^2 \cos^2 \varepsilon_1 \sin^2 \alpha}; \quad (8)$$

по y_1 :

$$z_{1\alpha} = \frac{y_1 \operatorname{tg} \varepsilon_1}{\cos \alpha} - \frac{g y_1^2}{2 g_a^2 \cos^2 \varepsilon_1 \cos^2 \alpha}. \quad (9)$$

Допустив в данных уравнениях, что высота падения почвы равна

$$z_{1\alpha} = -(0,5D - a), \quad (10)$$

получим дальность отбрасывания частицы почвы в поперечном и продольном направлениях:

$$\begin{aligned} \frac{g}{2 g_a^2 \cos^2 \varepsilon_1 \sin^2 \alpha} x_1^2 - \frac{\operatorname{tg} \varepsilon_1}{\sin \alpha} x_1 - \frac{D-2a}{2} &= 0; \\ \frac{g}{2 g_a^2 \cos^2 \varepsilon_1 \cos^2 \alpha} y_1^2 - \frac{\operatorname{tg} \varepsilon_1}{\cos \alpha} y_1 - \frac{D-2a}{2} &= 0. \end{aligned}$$

Имеем квадратное уравнение типа $jx^2 - bx - l = 0$, у которого для нашего случая представляет интерес нахождение максимального значения корней x_1 и y_1 :

$$x_1 = \frac{\frac{tg\varepsilon_1}{\sin\alpha} + \sqrt{\left(\frac{tg\varepsilon_1}{\sin\alpha}\right)^2 + \frac{g(D-2a)}{g_a^2 \cos^2\varepsilon_1 \sin^2\alpha}}}{\frac{g}{g_a^2 \cos^2\varepsilon_1 \sin^2\alpha}};$$

$$y_1 = \frac{\frac{tg\varepsilon_1}{\cos\alpha} + \sqrt{\left(\frac{tg\varepsilon_1}{\cos\alpha}\right)^2 + \frac{g(D-2a)}{g_a^2 \cos^2\varepsilon_1 \cos^2\alpha}}}{\frac{g}{g_a^2 \cos^2\varepsilon_1 \cos^2\alpha}}.$$

Выполним математическое преобразование уравнений:

$$\cos\varepsilon_1 = \cos\left(\arcsin\sqrt{\frac{g^2 \cos^2\alpha + \frac{0,84q(f-\varphi_{em})tg\alpha\sqrt{a^3(D-a)}}{m}}{2g^2 \cos^2\alpha + \frac{0,84q(f-\varphi_{em})tg\alpha\sqrt{a^3(D-a)}}{m}}}\right) = \cos(\arcsin\chi).$$

Но $\arcsin\chi = \arccos\sqrt{1-\chi^2}$, тогда

$$\cos\varepsilon_1 = \cos\left(\arcsin\arccos\sqrt{1-\chi^2}\right) = \sqrt{1 - \frac{g^2 \cos^2\alpha + \frac{0,84q(f-\varphi_{em})tg\alpha\sqrt{a^3(D-a)}}{m}}{2g^2 \cos^2\alpha + \frac{0,84q(f-\varphi_{em})tg\alpha\sqrt{a^3(D-a)}}{m}}}.$$

Заменив значение $\cos\varepsilon_1$ и $\sin\varepsilon_1$, подставив значение g_a и выполнив сокращения, получим уравнения дальности отбрасывания почвы в поперечном направлении:

$$x_T = x_1 = \frac{1}{2g} g \sin 2\alpha (\sqrt{A} + \sqrt{A+B}), \quad (11)$$

а также в продольном (при высоте падения частиц почвы на уровне оси вращения заднего ряда дисков):

$$y_T = y_1 = \frac{1}{g} g \cos^2\alpha \sqrt{A}, \quad (12)$$

$$\text{где } A = g^2 \cos^2\alpha + \frac{0,84q(f-\varphi_{em})tg\alpha\sqrt{a^3(D-a)}}{m};$$

$$B = g(D-2a).$$

По существу, формула (11) позволяет определить шаг установки дисков в ряду, обеспечивающий качественную заделку навоза в канавках, а формула (12) – расстояние между дисковыми рядами в адаптере.

Чтобы качественно не только обеспечивать внутривспашечное внесение навоза, но и выполнять операцию лущения почвы, необходимо исключить наличие почвы, необработанной дисками первой секции. Это условие выполняется путем подбора рационального количества дисковых рядов в адаптере, независимо от ширины захвата агрегата, по формуле:

$$n_{ряд} = \frac{X_T}{2 \sin \alpha \sqrt{a(D-a)}}. \quad (13)$$

Выполнение данного условия исключает повторное прохождение дисков по предыдущему следу, что обеспечивает снижение энергоемкости агрегата в целом и исключает раскрытие уже укрытых почвой каналов, заполненных навозом. Рациональное расстояние между рядами дисков в агрегате, исключающее забрасывание почвы дисками передних рядов на диски последующих рядов, также позволяет снизить энергоемкость процесса.

Расчетные значения дальности отбрасывания почвы сферическим диском в продольном Y_T и поперечном X_T направлениях в зависимости от угла атаки α при различных скоростях дискового адаптера отображены на рисунке 77.

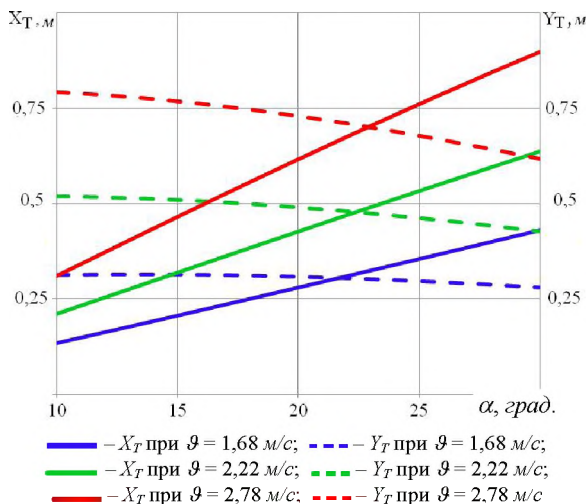


Рисунок 77 – Дальность отбрасывания почвы в поперечном X_T и продольном Y_T направлениях в зависимости от угла атаки диска α при различных скоростях движения и глубине $h = 0,08$ м

Анализ рисунка 77 показывает, что при изменении скорости движения ($\vartheta = 1,68 \div 2,78$ м/с) и угла атаки ($\alpha = 10 \div 30^\circ$) дискового адаптера изменяется дальность отбрасывания почвы (в поперечном направлении увеличивается, а в продольном – уменьшается).

Заключение

Полученные аналитические зависимости (11) и (12) позволяют определить рациональное значение шага установки дисков в ряду, обеспечивающего качественную заделку навоза в канавках и расстояние между дисковыми рядами в адаптере. Аналитическая зависимость (13) позволяет определить количество дисковых рядов в адаптере, независимо от ширины захвата агрегата.

20.08.13

Литература

1. Синеоков, Г.Н. Дисковые рабочие органы почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков. – М.: Машгиз, 1949 – 86 с.
2. Летошнев, М.Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчет, проектирование / М.Н. Летошнев. – Изд. 3, перераб. и доп. – М.: Сельхозгиз, 1955. – 728 с.
3. Нартов, П.С. Дисковые почвообрабатывающие орудия / П.С. Нартов. – Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1972. – 182 с.
4. Яроцкий, Я.У. Повышение качества мелкой обработки почвы комбинированным агрегатом с лаповым рыхлителем и гофрированным катком: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Я.У. Яроцкий. – Горки, 1987. – 303 с.
5. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко [и др.]. – Киев: Наука. – 1960. – 283 с.
6. Справочник машиностроителя: в 3 т. Т. 1. / Гл. ред. тома проф., д-р техн. наук М.А. Саверин. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1951. – 1036 с.

УДК 631.333:631.862

**Л.Я. Степук, А.А. Жешко,
Э.В. Дыба**

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

ОБОСНОВАНИЕ ТИПА РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ ЖИДКОГО НАВОЗА

Введение

Внесение жидкого навоза осуществляют внутрипочвенным или поверхностным способами. Внутрипочвенное внесение выполняется специальными комбинированными машинами. Процесс внутрипочвенного внесения навоза происходит следующим образом. Во время движения машины рабочий орган образует канавку (щель, полость), размеры которой зависят от его типа, конструктивных и кинематических параметров. Навоз, находящийся в цистерне, подается по трубопроводам в делительную головку, ротор которой, вращаясь, распределяет навоз в равных количествах по выливным шлангам. Концы шлангов прикреплены к рабочим органам таким образом, чтобы навоз из них непрерывно заполнял проделываемые в почве канавки. Объем подаваемого навоза должен быть равен объему образованной канавки.

Актуальность

Процесс внутривпочвенного внесения навоза более энергоемок, чем распределение его по поверхности поля, так как операция внесения осуществляется одновременно с почвообработкой. Однако затраты окупаются дополнительной прибавкой 10–15 % урожая основных сельскохозяйственных культур. При подаче навоза непосредственно в почву эффективно используется до 90 % аммиачного азота, исключение поверхностного стока и снижение испарения аммиачного азота ведут к уменьшению загрязнения окружающей среды [1].

Тип рабочих органов и их параметры выбираются с таким расчетом, чтобы при внутривпочвенном внесении не происходило вылива навоза на поверхность почвы.

Поэтому обоснование типа рабочего органа для внутривпочвенного внесения навоза и его параметров является актуальной задачей.

Основная часть

Для исключения выхода навоза из канавки, образуемой рабочим органом, на поверхность почвы его объем $V_{жс}$, подаваемый через один разливочный шланг, должен соответствовать вместимости формируемой канавки, то есть удовлетворять условию:

$$V_k \geq V_{жс}, \quad (1)$$

где $V_{жс}$ – объем навоза, подаваемый через один разливочный шланг, m^3 ;

V_k – объем канавки, образованный одним рабочим органом, m^3 .

В настоящее время известны три типа рабочих органов в машинах для внутривпочвенного внесения навоза:

- плоский диск («Zunhammer», «Fliegl» (Германия); «Joskin», «Pichon» (Бельгия); «Bomex Ag-Chem-Europe», «Kaweco» (Нидерланды); «Samson Agro» (Дания); «Bauer» (Австрия); «Tezborg Agro» (США – Канада));

- стрелчатая лапа («Fliegl» (Германия); «Joskin», «Pichon» (Бельгия); «Kaweco» (Нидерланды); «Samson Agro» (Дания); «Bauer» (Австрия); «Tezborg Agro» (США – Канада));

- сферический диск (Патент RU № 2352 095 C1 (кл. A01C 23/02), опубликован 20.04.2009, бюл. № 11; «Joskin» (Бельгия), «Zunhammer» (Германия)).

Рассмотрим принцип действия каждого из них на предмет выбора наиболее рационального для условий Беларуси.

Плоский диск. После прохода плоского диска в почве остается щель (рисунок 78), объем которой определяется выражением:

$$V_k = b \cdot h \cdot l_{нд},$$

где h – глубина щели, m ;

b – ширина щели, m ;

l_{no} – длина открытой щели, м.

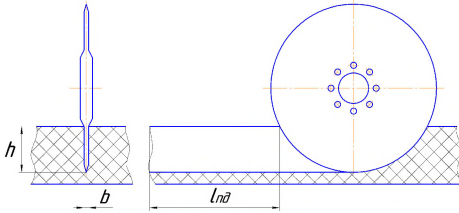


Рисунок 78 – Профиль щели, образованной плоским диском в почве

Из-за наличия реологических свойств почва стремится вернуться в первоначальное состояние, поэтому щель, образованная плоским диском, существует непродолжительное время, а ее длина l_{no} стремится к нулю. В этой связи необходимо ввести коэффициент,

который будет учитывать изменение параметров образованной щели:

$$V_k = b \cdot h \cdot l_{no} \cdot k_p,$$

где k_p – коэффициент, учитывающий изменение ширины щели под действием реологических свойств почвы (значение коэффициента определяется экспериментально для различных типов почвы).

Недостатком плоских дисков является то, что они прорезают в почве щели малой ширины, в которые по трубкам подается навоз. А поскольку вносимые подкормочные дозы навоза варьируют в широком диапазоне (от 20 до 80 $m/га$ и более), то такие устройства могут использоваться только для очень малых доз. При увеличении дозы не обеспечивается внутрпочвенное внесение ее в полном объеме. Значительная часть навоза растекается по поверхности почвы, что недопустимо, особенно на пастбищах. Кроме того, данный рабочий орган не выполняет никакой почвообрабатывающей операции.

Таким образом, плоские диски не являются перспективными рабочими органами для условий Беларуси.

Стрельчатая лапа. При использовании стрельчатой лапы почва деформируется и перемещается в продольном, поперечном и вертикальном направлениях, что приводит к образованию полости в виде призмы (рисунок 79). Ее объем определяется по формуле:

$$V_{к1} = \frac{1}{2} b_l \cdot h_l \cdot l_{cl},$$

где h_l – высота стрельчатой лапы, м;

b_l – ширина захвата стрельчатой лапы, м;

l_{cl} – длина открытой полости, м.

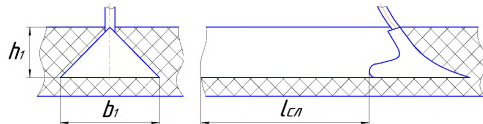


Рисунок 79 – Профиль полости, образованной стрельчатой лапой в почве

После прохода данного рабочего органа может происходить осыпание почвы, поэтому длина полости, образованная стрельчатой лапой l_{cl} ,

как и в случае с плоским диском, будет принимать близкое к нулю значение, что приведет к уменьшению объема образованной полости. Поэтому следует ввести коэффициент, учитывающий изменение объема полости после осыпания почвы:

$$V_{к1} = \frac{1}{2} b_1 \cdot h_1 \cdot l_{сл} \cdot k_o,$$

где k_o – коэффициент осыпания почвы (значение коэффициента определяется экспериментально для различных типов почвы).

Недостатком этого рабочего органа является неизменность объема полости, причем малого, под стрельчатой лапой, в которую подается из цистерны навоз. Данный факт обуславливает прием внутрипочвенно только незначительного количества навоза. Практически вносимые основные дозы варьируют еще в большем диапазоне по сравнению с подкормочными (от 40 до 180 $m/га$). Поэтому большая часть навоза выдавливается (выливается) на поверхность почвы. Следовательно, эффект от внутрипочвенного внесения навоза с использованием стрельчатой лапы будет неполным, так как не исключено испарение аммиачного азота с поверхности почвы. Поэтому данный тип рабочего органа в условиях республики будет иметь ограниченное использование.

Сферический диск. При движении агрегата сферический диск образует в почве канавку желобчатой формы (рисунок 80). Причем сверху ширина канавки увеличивается, стенки ее получают наклонными (отклонены от вертикали). Тем самым обеспечивается устойчивость формы и постоянство размеров канавки на большинстве типов почв.

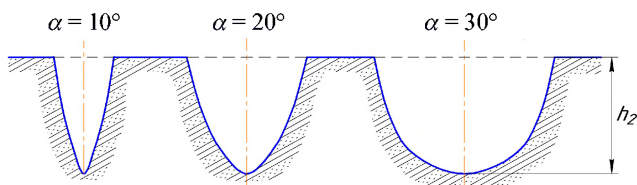


Рисунок 80 – Схема канавок при различных углах атаки диска

Даже на чистых песчаных почвах канавка может сохраняться открытой (не осыпавшейся) какое-то время. При этом минимальный объем канавки $V_{к \min}$ (рисунок 81) для приема навоза определится с достаточной для практики точностью по формуле:

$$V_{к \min} = \frac{1}{2} h_2 r_o^2 \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где r_o – радиус сферического диска, m ;

h_2 – глубина канавки, образованная сферическим диском, m ;

α – угол атаки, $град$.



Рисунок 81 – Схема к определению объема канавки

Как отмечалось выше, канавка, проделанная сферическим диском, практически не деформируется и сохраняется до тех пор, пока соседний сферический диск не сместится на расстояние $l_{сд}$, равное дальности отбрасывания почвы в продольном направлении Y_T , и не закроет канавку отбрасываемой почвой. Тогда время сохранения открытой канавки Δt будет равно:

$$\Delta t = \frac{Y_T}{g}, \quad (3)$$

где Y_T – дальность отбрасывания почвы диском в продольной плоскости, м;

g – поступательная скорость движения диска, км/ч.

Дальность отбрасывания почвы в продольном направлении можно определить по выражению [2]:

$$Y_T = \frac{1}{g} \cos^2 \alpha \sqrt{g^2 \cos^2 \alpha + \frac{0,84q(f - \varphi_{em}) \operatorname{tg} \alpha \sqrt{h_2^3 (2r_o - h_2)}}{m}}, \quad (4)$$

где q – коэффициент объемного смятия почвы, МПа/м³;

m – плотность почвы, кг/см³;

f – коэффициент внешнего трения почвы о сталь;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

φ_{em} – коэффициент внутреннего трения почвы.

Подставив уравнение (4) в выражение (3), определим время существования открытой канавки:

$$\Delta t = \frac{1}{g} \cos^2 \alpha \sqrt{g^2 \cos^2 \alpha + \frac{0,84q(f - \varphi_{em}) \operatorname{tg} \alpha \sqrt{h_2^3 (2r_o - h_2)}}{m}}.$$

С учетом формулы (4) можно вычислить фактический объем канавки:

$$V_{к2} = V_{кmin} + \frac{1}{2} Y_T b_2 h_2 = \frac{1}{2} h_2 (r_o^2 \operatorname{tg} \alpha + Y_T b_2), \quad (5)$$

где b_2 – ширина канавки, м.

Ширину канавки определим по формуле [3]:

$$b_2 = 2 \sin \alpha \sqrt{h_2 (2r_o - h_2)}.$$

Учитывая дальность отбрасывания почвы в поперечном направлении Y_T , определим объем жидкости, подаваемой через разливочный шланг:

$$V_{ж} = \frac{Y_T B D}{10^4 \rho n}, \quad (6)$$

где D – доза внесения навоза, $м/га$;

B – ширина захвата агрегата, $м$;

n – количество сферических дисков в одном ряду адаптера, $шт.$;

ρ – плотность навоза, $т/м^3$.

Подставив в условие (1) формулы (5) и (6), получим:

$$\frac{1}{2} h_2 (r_0^2 \operatorname{tg} \alpha + Y_T b_2) \geq \frac{Y_T B D}{10^4 n \rho}. \quad (7)$$

Расчеты показывают, что минимальный объем канавки, вычисленный по формуле (2), находится в пределах $V_{к \min} = 0,42 \div 1,37 \text{ дм}^3$, значение фактического объема, вычисленного по формуле (5), составляет $V_{к2} = 0,67 \div 4,35 \text{ дм}^3$ при изменении угла атаки диска в диапазоне $\alpha = 10 \div 30^\circ$. При этом объем жидкости, подаваемой через разливочный шланг, находится в пределах $V_{ж} = 0,32 \div 2,94 \text{ дм}^3$ при изменении доз внесения $D = 20 \div 180 \text{ м/га}$.

Заключение

1. Наиболее эффективным рабочим органом для внутрпочвенного внесения навоза является сферический диск, прорезывающий канавки в почве для приема навоза в широких пределах с одновременным ее мульчированием.

2. Полученные формулы позволяют выполнить согласование объема канавки и объема подаваемого в нее навоза без перелива через край.

3. Для адаптера со сферическими дисками при рабочих скоростях $\mathcal{G} = 6 \div 10 \text{ км/ч}$, диапазонах доз $D = 20 \div 180 \text{ м/га}$ и углах атаки $\alpha = 10 \div 30^\circ$ обеспечивается условие, при котором исключается перелив навоза через край канавки на поверхность почвы.

20.08.13

Литература

1. Технология внутрпочвенного внесения жидких органических удобрений. – М.: Колос, 1987. – 60 с.
2. Степук, Л.Я. Обоснование шага установки дисков и расстояния между их рядами в адаптере для внутрпочвенного внесения жидкого навоза / Л.Я. Степук, А.А. Жешко, Э.В. Дыба // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НППЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2013. – Вып. 47.
3. Бледных, В.В. Устройство, расчет и проектирование почвообрабатывающих орудий / В.В. Бледных. – Челябинск: ЧГАА, 2010. – 203 с.

Введение

Лопастной барабан является основным рабочим органом двухступенчатого выравнивателя потока минеральных удобрений центробежного рассеивателя РУ-7000, влияющим на равномерность подачи удобрений в туконаправитель и далее на распределяющие рабочие органы [1].

Производительность лопастного барабана можно определить по известной формуле [2], однако ее применение к исследованию процесса бросания минеральных удобрений затруднено, так как здесь не учитываются агротехнические и технологические требования к работе удобрительных машин.

В настоящей работе выведена формула для определения производительности лопастного барабана двухступенчатого выравнивателя потока удобрений.

Основная часть

Непрерывная, устойчивая работа выравнивателя потока удобрений будет протекать в том случае, если будет выполняться следующее условие:

$$Q_{тр} \leq Q_б \leq Q_{выр.тр},$$

где $Q_{тр}$ – производительность подающего транспортера, кг/с;

$Q_{выр.тр}$ – производительность выравнивающего транспортера, кг/с;

$Q_б$ – производительность лопастного барабана, кг/с.

Производительность подающего транспортера определяется по выражению:

$$Q_{тр} = V_{тр} \cdot B_{тр} \cdot H_{н.тр} \cdot \gamma, \quad (1)$$

где $V_{тр}$ – скорость движения подающего транспортера, м/с;

$H_{н.тр}$ – высота слоя удобрений на подающем транспортере, м;

$B_{тр}$ – ширина подающего транспортера, м;

γ – насыпная плотность удобрений, кг/м³.

Производительность выравнивающего транспортера определяется по выражению:

$$Q_{выр.тр} = V_{выр.тр} \cdot B_{выр.тр} \cdot H_{выр.тр} \cdot \gamma,$$

где $V_{выр.тр}$ – скорость движения выравнивающего транспортера, м/с;

$H_{выр.тр}$ – высота слоя удобрений на выравнивающем транспортере, м;

$B_{выр.тр}$ – ширина выравнивающего транспортера, м.

Зная необходимую дозу внесения удобрений и производительность машины, можно записать:

$$Q_{mp} = \frac{D \cdot W}{3600}, \quad (2)$$

где D – доза внесения удобрений, $кг/га$;

W – производительность машины, $га/ч$.

Приравнивая выражения (1) и (2), найдем скорость движения подающего транспортера:

$$V_{mp} = \frac{k \cdot D \cdot W}{3600 \cdot B_{mp} \cdot H \cdot \gamma}. \quad (3)$$

Производительность машины можно записать следующим образом:

$$W = 0,1 \cdot B_m \cdot \mathcal{G}_m, \quad (4)$$

где \mathcal{G}_m – рабочая скорость движения машины, $км/ч$;

B_m – рабочая ширина захвата машины, $м$.

С учетом формулы (4) выражение (3) примет вид:

$$V_{mp} = \frac{0,1 \cdot D \cdot B_m \cdot \mathcal{G}_m}{3600 \cdot B_{mp} \cdot H \cdot \gamma}. \quad (5)$$

Для того чтобы барабан полностью захватывал и отбрасывал удобрения, поступающие с подающего транспортера, необходимо, чтобы его ширина была больше либо равна ширине подающего транспортера, то есть

$$B_{mp} \leq B_{\delta},$$

где B_{δ} – ширина лопастного барабана, $м$.

Подающий транспортер за время совершения лопастным барабаном одного оборота пройдет расстояние:

$$S_1 = \frac{60 \cdot V_{mp}}{n},$$

где S_1 – расстояние, проходимое подающим транспортером за время одного оборота барабана, $м$;

n – частота вращения лопастного барабана, $мин.^{-1}$.

Продольное сечение слоя удобрений F_y , подаваемого на лопастной барабан, за один его оборот:

$$F_y = H \cdot S_1.$$

Сечение поперечного слоя удобрений F_n близко к прямоугольнику и равно:

$$F_n = H \cdot B_{mp}.$$

Объем удобрений q' , бросаемых барабаном за 1 оборот:

$$q' = F_y \cdot B_{mp} = H \cdot S_1 \cdot B_{mp},$$

а объем удобрений q'_z , приходящихся на одну лопасть:

$$q'_z = \frac{H \cdot S_1 \cdot B_{mp}}{z},$$

где z – количество лопастей барабана, *шт.*

Чрезмерное увеличение этого объема нарушает компактность струи, брошенной барабаном.

Как уже отмечалось выше, во многих современных машинах подача удобрений к распределяющим рабочим органам осуществляется цепочно-скребковым или цепочно-прутковым транспортером, для которых характерна пульсирующая подача материала. Это означает, что на барабан через определенный промежуток времени будет обрушиваться какая-то часть удобрений. Поэтому при расчете производительности барабана необходимо учитывать максимальное количество материала, который может поступить на него.

Изучение процессов, происходящих при метании материала барабаном, показывает, что материал, по мере вращения лопасти, продвигаясь к сбросной ее кромке, размещается на ней в виде тела волочения, имеющего в сечении плоскостью, перпендикулярной оси вращения барабана, форму, близкую к треугольнику [3]. Так, при работе барабана в конце лопасти образуется трехгранная призма, высота которой равна ширине лопасти. Тогда объем призмы

$$q = S \cdot B_{\delta}, \quad (6)$$

где S – площадь основания призмы, m^2 .

Площадь основания призмы можно определить исходя из производительности лопастного барабана, которая должна быть не меньше производительности подающего транспортера:

$$Q_{\delta} = 60 \cdot q \cdot z \cdot n = 60 \cdot S \cdot B_{mp} \cdot z \cdot n.$$

Отсюда

$$S = \frac{Q_{\delta}}{60 \cdot B_{mp} \cdot z \cdot n}. \quad (7)$$

С другой стороны,

$$Q_{\delta} = 60 \cdot H \cdot B_{mp} \cdot V_{mp}.$$

Подставляя производительность барабана в выражение (7), получим:

$$S = \frac{H \cdot V_{mp}}{z \cdot n}. \quad (8)$$

Подставив в формулу (6) формулы (5) и (8), получим:

$$q = \frac{0,1 \cdot D \cdot B_M \cdot g_M}{3600 \cdot n \cdot z \cdot \gamma}. \quad (9)$$

Объем подаваемых удобрений на одну лопасть барабана прямо пропорционален скорости движения подающего транспортера и поперечного слоя удобрений на нем и обратно пропорционален количеству лопастей на барабане и частоте его вращения.

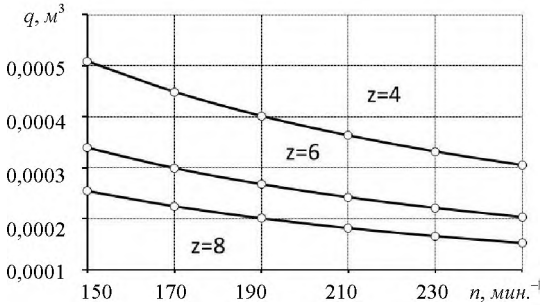


Рисунок 82 – Изменение объема удобрений (q), бросаемых одной лопастью, в зависимости от частоты вращения барабана при различном количестве лопастей

(падение их с подающего транспортера) и вращательного движения лопастного барабана приводит к счесыванию с обрушающегося массива удобрений некоторого слоя (рисунок 83).

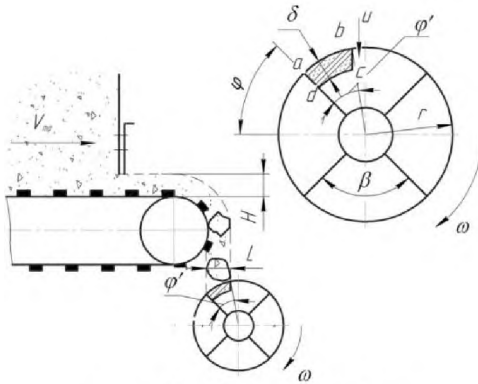


Рисунок 83 – К описанию работы лопастного барабана

t_z – время поворота барабана на угол между лопастями, с.

Время прохождения отрезка bc равно времени поворота барабана на угол между лопастями, который определяется из выражения:

$$\beta = 2 \cdot \pi / z,$$

где β – угол между лопастями барабана, рад.

Следовательно, чем больше лопастей на барабане, тем меньше время t_z :

$$t_z = t_{об} / z,$$

Из графика (рисунок 82), построенного с использованием формулы (9), следует, что количество удобрений, бросаемых одной лопастью барабана, снижается с увеличением частоты его вращения и количества лопастей на нем.

Сочетание поступательного движения удобрений

Без учета сопротивления воздуха, падающий массив удобрений проникает в барабан на расстояние bc (рисунок 83) от линии окружности, очерченной концом лопасти, до точки соприкосновения с последней:

$$bc = \frac{g \cdot t_z^2}{2}, \quad (10)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

где $t_{об}$ – время, за которое барабан совершает один оборот, с.
С другой стороны,

$$t_z = \frac{2 \cdot \pi}{z \cdot \omega} = \frac{60}{z \cdot n}, \quad (11)$$

где ω – угловая скорость лопастного барабана, c^{-1} .

Подставив (11) в (10), получим:

$$bc = \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{z \cdot \omega} \right)^2 = \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{60}{z \cdot n} \right)^2. \quad (12)$$

Однако вследствие соударения с частицами, бросаемыми лопастями барабана, а также под действием сопротивления воздушной среды и воздушных потоков, создаваемых лопастями барабана, величина проникновения (bc) основной массы удобрений за линию окружности концов лопастей барабана будет несколько меньше.

Обозначим среднюю скорость движения удобрений на отрезке bc через u . Тогда

$$bc = u \cdot t. \quad (13)$$

Время t проникновения частиц в межлопастное пространство определится из выражения:

$$t = \frac{\beta}{\omega} = \frac{30 \cdot \beta}{\pi \cdot n}. \quad (14)$$

С учетом формулы (14) формула (13) примет вид:

$$bc = \frac{30 \cdot \beta \cdot u}{\pi \cdot n}.$$

Принимая во внимание незначительную скорость подающего транспортера (0,04–0,06 м/с), заключаем, что скорость частиц, ссыпающихся на барабан, при встрече с ним не превышает 2–3 м/с. При таких скоростях сопротивление воздуха пропорционально скорости. Поэтому для дальнейших рассуждений используем формулу (12).

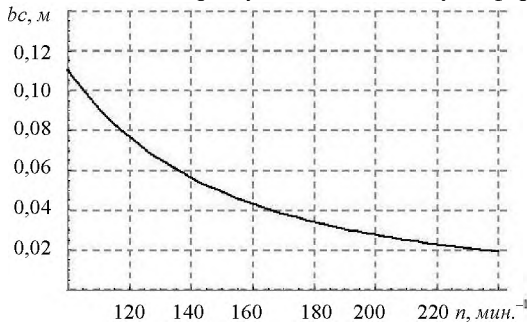


Рисунок 84 – Изменение глубины проникновения частиц от частоты вращения барабана

С использованием формулы (12) построены графики (рисунки 84, 85) зависимости изменения глубины проникновения частиц от частоты вращения лопастного барабана и количества лопастей на нем. Из графиков видно, что с увеличением как частоты вращения лопастного барабана, так и количества лопастей на

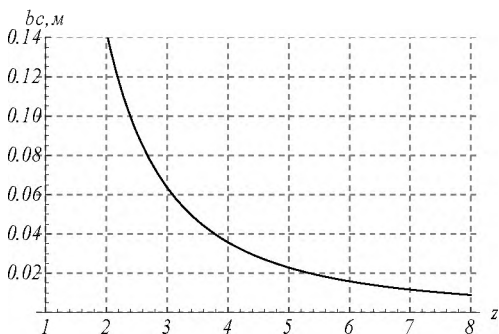


Рисунок 85 – Изменение глубины проникновения частиц от количества лопастей на барабане

нем уменьшается глубина проникновения частиц в межлопастное пространство. Это означает, что частицы удобрений будут находиться у края лопасти, и при сходе с нее будет наблюдаться слабый рассев по длине выравнивающего транспортера.

Площадь продольного слоя удобрений, ссылаемых одной лопастью, можно представить

как площадь части кругового кольца $abcd$ (рисунок 83):

$$F = \frac{(r^2 - r_1^2) \cdot \varphi'}{2}, \quad (15)$$

где φ' – угол поворота лопасти в потоке удобрений, rad ;

r_1 – расстояние от центра барабана до наиболее приближенной к нему частицы, m ;

r – радиус барабана, m ;

$$r_1 = r - \delta, \quad (16)$$

где $\delta = bc \cdot \sin \varphi$ – толщина срезаемого слоя удобрений, m ;

φ – угол входа лопасти в поток удобрений, rad .

В процессе работы лопастного барабана толщина срезаемого слоя δ на протяжении дуги ab (рисунок 83) будет переменна, так как лопасть входит в очередной падающий массив удобрений последовательно различными участками скошенной грани и последовательно выходит из него. При расчетах удобнее пользоваться ее средним значением:

$$\delta \approx \delta_{\varphi} = \frac{bc \cdot l}{r \cdot \varphi'} = \frac{2 \cdot g \cdot l \cdot \pi^2}{z^2 \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \varphi'}, \quad (17)$$

где l – толщина слоя удобрений, ссыпающихся на барабан, m .

Величину l с некоторым допущением можно принять равной H – высоте слоя удобрений на подающем транспортере:

$$l = H. \quad (18)$$

Производительность лопастного барабана можно представить в следующем виде:

$$Q_b = \frac{n \cdot z \cdot F \cdot B_b \cdot \gamma}{60}, \quad (19)$$

Подставив в формулу (19) формулы (15), (16), (17) и (18), после некоторых преобразований получим конечную формулу для определения производительности лопастного барабана:

$$Q_6 = \frac{B_6 \cdot \gamma \cdot g \cdot H \cdot \pi}{z \cdot \omega} \cdot \left(1 - \frac{g \cdot H \cdot \pi^2}{r^2 \cdot z^2 \cdot \omega^2 \cdot \phi'} \right).$$

Выводы

Получена формула для определения производительности лопастно-го барабана выравнивающего устройства, учитывающая дозы внесения минеральных удобрений, их виды и физико-механические свойства. Она может быть использована при определении производительности машин броскового типа.

09.09.13

Литература

1. Бегун, П.П. О снижении продольной неравномерности внесения минеральных удобрений центробежными разбрасывателями / П.П. Бегун, Л.Я. Степук // Перспективная техника и технологии–2009: материалы V-й междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых / МДАУ. – Николаев, 2009. – С. 54–57.
2. Исафилов, Н.А. Обоснование оптимальных параметров и режима работы роторных канавоочистительных машин / Н.А. Исафилов // Вопросы сельскохозяйственной механики. – 1964. – Минск: «Ураджай». – Т. 14. – 278 с.
3. Губанов, А.А. Элементы теории центрального питателя бросковых вентиляторов / А.А. Губанов // Труды ВИМ. – М., 1971. – Т. 55.

УДК 631.333:631.174

В.А. Кудря

(НПЦ «ИМЕСТ»,

п.г.т. Глеваха, Киевская обл., Украина)

А.Н. Калнагуз

(Сумской национальный аграрный университет, г. Сумы, Украина)

РЕЗУЛЬТАТЫ

ИССЛЕДОВАНИЙ

ЭНЕРГОЗАТРАТ АГРЕГАТА ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ С БОКОВЫМ ВЫБРОСОМ

Введение

Одним из основных факторов, влияющих на экономическую эффективность работы агрегата, являются затраты энергии на выполнение технологической операции. В свою очередь, одним из основных факторов, от которого зависят затраты энергии, является тип рабочих органов машины, применяемых на разбрасывателях органических удобрений. Поэтому необходимо провести исследования в данном направлении, которые позволят более эффективно использовать различные рабочие органы, снижающие затраты энергии.

Анализ последних исследований и публикаций

Учеными Rainer Frick, Jakob Heusser и Matthias Schick из европейского сертификационного центра «Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft»

была определена потребляемая мощность разбрасывателей органических удобрений с различными типами рабочих органов. Исследования проводились с применением разбрасывателей Jeantil EP 2060 Eпандор-2; Jeantil EP Eпандор-3; Jeantil EVV Eпандор-5; Bergmann M 700 SX; Gafner 5.5 A-Vario [1, 2, 3, 4]. В качестве технологического материала использовали полуперепревший навоз с нормой внесения 30 м/га (М), компост с нормой внесения 25 м/га (К) и сапропели (D) с нормой внесения 12 м/га . На рисунке 86 представлены результаты этих испытаний, которые свидетельствуют о том, что цепочно-планчатый транспортер потребляет от 1,5 до 2,0 кВт. Затраты мощности разбрасывающими аппаратами с горизонтальными и вертикальными распределительными органами (Jeantil Eпандор 2, Jeantil Eпандор 5 и Bergmann M 700 SX) составляют не более 42 кВт. На привод измельчающих шнеков и дисковых распределительных органов разбрасывателем Jeantil Eпандор 3 расходуется до 65 кВт. Затраты мощности на привод подающего шнека и распределительного органа разбрасывателем Gafner 5.5 A-Vario составляют до 77 кВт.

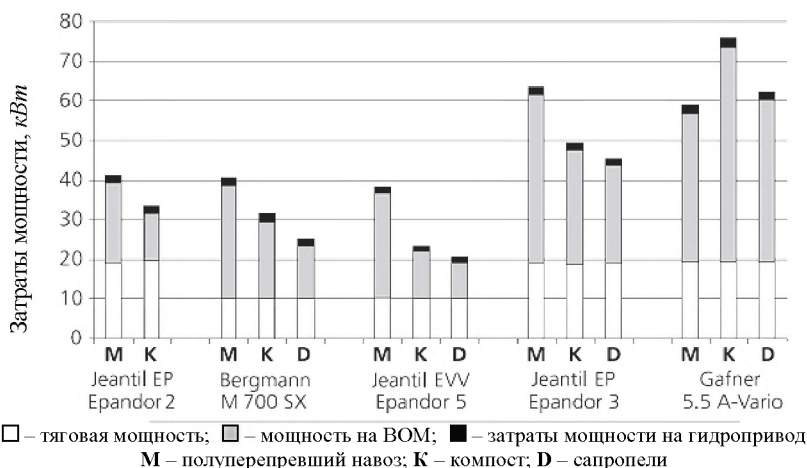


Рисунок 86 – Расходы мощности при внесении органических удобрений

Вопросами энергоёмкости разбрасывателей занимались также Cz. Celmerowski [5], Н.М. Марченко и В.П. Краснов [6], они определили экспериментальным путем потребляемую мощность разбрасывателей органических удобрений отечественного машиностроения. Энергетические показатели определялись при внесении торфонавозного компоста плотностью 780 кг/м^3 с нормой 45 м/га . Так, для внесения удобрений разбрасывателем РОУ-5 затраты мощности на привод транспортера составляют 1,8 кВт, на привод распределительных барабанов – от 20,2 до

23,0 кВт. На привод транспортера разбрасывателей ПРТ-10 и ПРТ-16 тратится 3,1 и 3,2 кВт, а на привод распределительных барабанов – 29,2–40,4 кВт и 32,7–47 кВт соответственно.

Целью исследований было определение затрат энергии экспериментальным образом технического средства для внесения органических удобрений с боковым распределением и сравнение с ведущими аналогами машин для внесения.

Результаты исследований

В НИЦ «ИМЕСГ» было разработано модульно-адаптивное техническое средство к серийным разбрасывателям органических удобрений типа ПРТ, МТО для бокового внесения органических удобрений и дефеката в малых дозах [7]. При движении разбрасывателя по полю удобрения в кузове с помощью двух цепочно-планчатых транспортеров подаются к двум измельчающим барабанам. Последние подают удобрения на барабаны-сепараторы, которые отделяют крупные включения, одновременно измельчая удобрения и равномерно загружая их на ленточный транспортер. Ленточный транспортер подает измельченную массу удобрений к распределительному ротору с трапециевидными лопатками, который распределяет ее по поверхности почвы.

За счет двух стадий дробления разбрасыватель органических удобрений обеспечивает качественное измельчение и равномерное распределение органических удобрений.

Для получения энергетических показателей экспериментальный образец навесного модуля агрегатировали с тензотрактором Т-150К. Приборы и процесс распределения представлены на рисунке 87.



а)



б)



в)

- а) блок приборов;
- б) общий вид расходомера топлива;
- в) распределение удобрений

Рисунок 87 – Приборы и процесс распределения удобрений

Испытания навесного модульно-адаптивного технического средства проводились с нормой внесения 10 т/га , технологический материал – птичий помет, скорость движения агрегата – $4,5$ и 10 км/ч .

В результате исследований получены диаграммы крутящего момента ВОМ трактора (рисунок 88) и тягового усилия на крюке (рисунок 89) во время работы экспериментального образца модульно-адаптивного технического средства и при холостом ходе.

Установлено, что пиковая нагрузка возникает при включении ВОМ и не превышает $31,8 \text{ кВт}$. Среднее значение потребляемой мощности ВОМ трактора, затраченной во время стабильной работы агрегата, составляет $8,4$ и $10,6 \text{ кВт}$ при скорости движения соответственно $4,5$ и 10 км/ч .

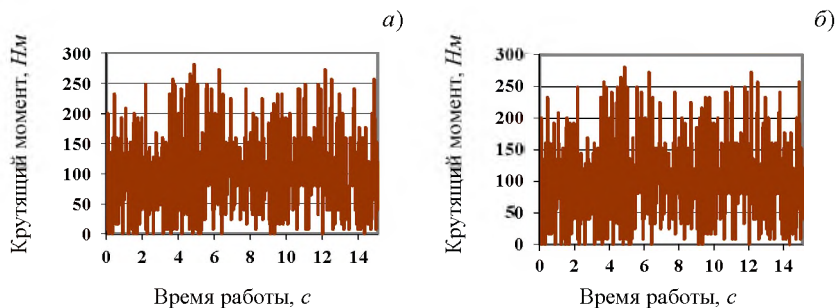


Рисунок 88 – Диаграмма изменения крутящего момента при скорости движения агрегата $4,5$ (а) и 10 км/ч (б) в рабочем режиме

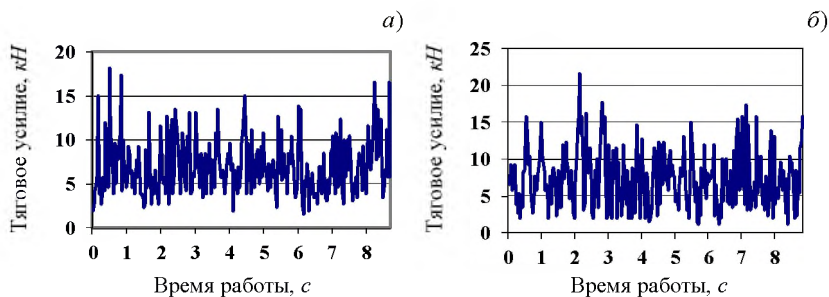


Рисунок 89 – Диаграмма изменения тягового усилия при скорости движения агрегата $4,5$ (а) и 10 км/ч (б) в рабочем режиме

Установлено, что максимальное тяговое усилие также наблюдается в начале движения агрегата и не превышает 30 кН , а среднее значение тягового усилия составляет $9,2 \text{ кН}$ при скорости движения 10 км/ч и $7,3 \text{ кН}$ при $4,5 \text{ км/ч}$.

Результаты исследований по расходу топлива агрегатом приведены в таблице 17.

Таблиця 17 – Расход топлива

Передача	Длина гона, м	Время, с	Расход топлива	
			граммов	л/ч
<i>Рабочий ход</i>				
2/1	43,26	33	137,9	15,04
2/1	53,04	41	177,3	15,55
2/2	91,3	33	177,3	19,33
2/2	94,2	34	177,3	18,77
<i>Холостой ход</i>				
2/1	41,6	30	106,38	12,78
2/2	92,7	32	137,9	15,52

Расход топлива трактора Т-150К составил 19,05 л/ч. Общие затраты мощности при скорости 4,5 и 10 км/ч составили 18,6 и 33 кВт соответственно.

По результатам экспериментальных исследований также определено, что распределение удобрений по поверхности поля удовлетворяет агротехническим требованиям равномерности распределения по ширине захвата и равно 21 % при перекрытии смежных проходов 1 м. Производительность агрегата составила 1,7–1,9 га/ч эксплуатационного времени.

Выводы

Результаты исследований показали, что предложенная конструкция экспериментального разбрасывателя органических удобрений позволяет в 2,4 раза снизить энергозатраты при внесении органических удобрений по сравнению с Gafner 5.5 Vario.

10.07.13

Литература

1. Frick, R. Matthias schick Ausbringtechnik abfalldunger und laufstallmist / Rain Frick, Jakob Heusser // Fat Berichte. – 2001. – № 560. – С. 1–32.
2. Prufbericht 4959 Grobraum-Universalstreuer Annaburger HTS 22.04 / DLG. – Anerkennung gultig. – 2001. – P. 39.
3. Prufbericht 4963 Stalldungstreuer Samson SP 12 / DLG. – Anerkennung gultig. – 2001. – P. 40.
4. Prufbericht 4968 Univer – und Industriestreuwagen Bergmann TSW 2016S / DLG. – Anerkennung gultig. – 2001. – P. 41
5. Celmerowski, Cz. Wplyw predkosci podawania obornika na zuzycie energii przez bebny rozrzu / Cz. Celmerowski // Roczniki nauk rolnicznych. – Warszawa: Panstwowe wydawnictwo naukowe, 1983. – Том 75–1. – С. 129–137.
6. Марченко, Н.М. Энергоемкость процесса работы машин для внесения органических удобрений / Н.М. Марченко, В.П. Краснов, Б.П. Черников // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – № 7. – С. 11–13.
9. Ліннік, М.К. Модульно-адаптивні технічні засоби для виробництва і внесення органічних добрив / М.К. Ліннік, Г.А. Голуб, В.О. Кудря, В.В. Висовень, М.С. Шаблій // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2004. – Вип. 21. – С. 123–129.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
ОРИЕНТАЦИИ СТЕБЛЯ СУХОЙ
ЛИСТОСТЕБЕЛЬНОЙ МАССЫ
НА ФРАКЦИОНИРУЮЩИХ
БАРАБАНАХ**

Введение

Проблема кормового белка была и остается основной при организации полноценного кормления сельскохозяйственных животных. Ежегодно в кормовом балансе Украины дефицит протеина составляет до 30 %, недобор продукции животноводства достигает 20–35 %, а себестоимость и затраты кормов увеличиваются в 1,5 раза. В связи с этим национальным проектом «Відроджене скотарство» запланировано к 2015 году довести производство белково-витаминно-минеральных добавок до 1,18 млн *t* [1]. Одним из потенциальных источников органического белка и витаминов является растительное сырье – сено таких бобовых культур, как люцерна, клевер и др. Однако это сырье неоднородно по содержанию белка. В стеблях растений его значительно меньше, а клетчатки больше, а в листьях – наоборот. Поэтому есть смысл отделять листовую фракцию. Для правильного извлечения высокопитательной составляющей есть необходимость проведения теоретических исследований пространственной ориентации стебля сухой листостебельной массы на барабанах в процессе фракционирования.

Объекты и методы исследований

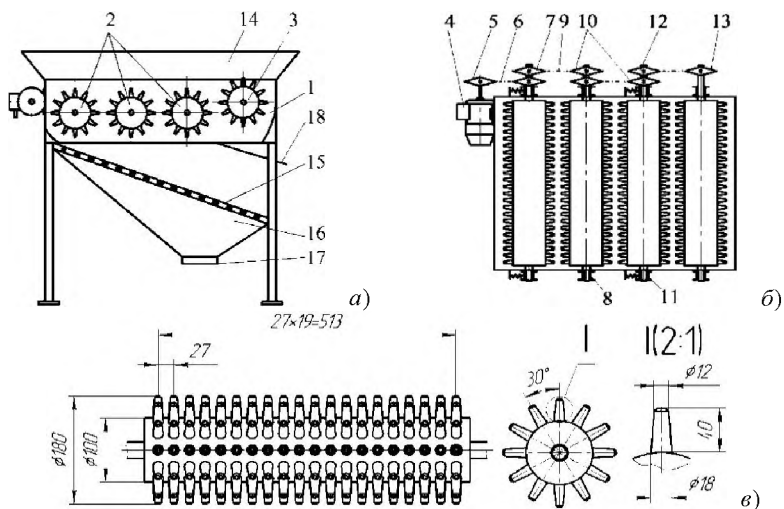
Объектом исследований является процесс фракционирования сухой листостебельной массы для отделения высокопитательной листовой фракции. При исследовании применялись методы теории вероятностей.

Результаты исследований

Перемещение сухой листостебельной массы по фракционирующим барабанам установки (рисунок 90) теоретически может выполняться при расположении стеблей перпендикулярно или параллельно осям барабанов, а также при произвольном хаотическом расположении.

Как известно, наиболее эффективной для фракционирования массы является подача стеблей, расположенных параллельно направлению движения, однако для обеспечения определенной подачи необходимы специальные механизмы или устройства [2].

При работе исходная сухая листостебельная масса, подаваемая грузочным транспортером, поступает на фракционирующие барабаны с произвольным расположением стеблей как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. При этом проекция отрезка длиной l_V (то есть



- а – вид сбоку; б – вид сверху; в – фракционирующий барабан;
 1 – рама; 2 – фракционирующий барабан; 3 – конечный барабан; 4 – мотор-редуктор;
 5 – ведущая звездочка; 6, 9 – цепная передача; 7 – ведомая звездочка; 8, 11 – подшипниковый узел; 10 – приводная звездочка; 12 – сменная ведущая звездочка; 13 – сменная ведомая звездочка; 14 – загрузочный бункер; 15 – наклонное решето; 16 – накопительный бункер; 17 – выгрузочная горловина; 18 – наклонный лоток

Рисунок 90 – Конструктивно-технологическая схема установки для фракционирования сухой листостебельной массы

стебля длиной l , расположенного на неограниченной горизонтальной плоскости H в случайном положении с равнозначными направлениями относительно любой из вертикальных плоскостей V (рисунок 91а), по теории вероятностей (задача Бюффона) определяется выражением [3]:

$$l_V = l \int_0^{\pi} |\cos x| f(x) dx, \quad (1)$$

где x – угол между стеблем и плоскостью;

$f(x)$ – закон распределения плотности случайной величины;

l – длина стебля;

γ – угол между стеблем и вертикальной плоскостью.

Плотность распределения случайной величины для равномерного распределения, характеризующего данный случай, составляет:

$$f(x) = 1/\pi.$$

Таким образом, имеем:

$$l_V = \frac{2 \cdot l}{\pi} \int_0^{\pi/2} |\cos \gamma| d\gamma, \quad (2)$$

откуда окончательно получим:

$$l_V = \frac{2}{\pi} l.$$

Рассмотрев положение стебля длиной l в вертикальной плоскости, то есть в слое сухой листостебельной массы толщиной h , расположенном на фракционирующих барабанах, видим, что при определении проекции стебля на горизонтальную плоскость H (рисунок 91б) плотность распределения случайной величины в этом случае будет определяться зависимостью:

$$f(\delta) = \frac{l}{\arcsin(h/l)},$$

где δ – угол между стеблем и горизонтальной плоскостью;

h – толщина слоя сухой листостебельной массы на барабанах.

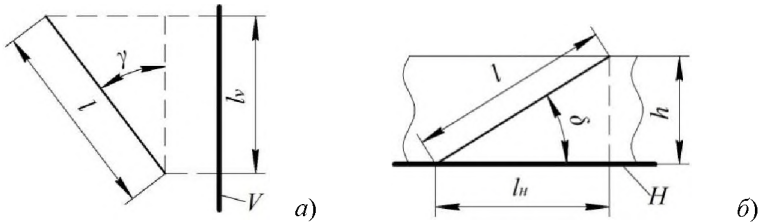


Рисунок 91 – Схема определения величины проекции стебля на вертикальную (а) и горизонтальную (б) плоскости

Тогда, используя выражение (1), имеем:

$$l_H = \frac{l}{\arcsin(h/l)} \int_0^{\arcsin(h/l)} |\cos \delta| d\delta. \quad (3)$$

Откуда окончательно получим:

$$l_H = \frac{l}{\arcsin(h/l)}.$$

Сама проекция стебля длиной l по направлению перемещения слоя массы на фракционирующих барабанах будет определяться зависимостью:

$$l_x = l \cdot \cos \gamma \cdot \cos \delta.$$

Согласно выражениям (2) и (3), значения направляющих косинусов положения стебля описываются зависимостями:

$$\cos \gamma = \frac{2}{\pi} \quad \text{и} \quad \cos \delta = \frac{h}{l \cdot \arcsin(h/l)}.$$

Таким образом, окончательное значение величины проекции стебля длиной l по направлению перемещения массы на барабанах имеет вид:

$$l_x = \frac{2h}{\pi \cdot \arcsin(h/l)}$$

Заключение

На основе теории вероятностей (задачи Бюффона) было определено наиболее вероятное положение стебля l_x в фракционированном слое сухой листостебельной массы, перемещаемой барабанами. Что в дальнейшем позволит оценить колебание толщины слоя массы под воздействием штифтов фракционирующих барабанов и связанное с этим просыпание отделяемой листовой фракции через слой корма.

22.08.13

Литература

1. Національний проект «Відроджене скотарство» / Міністерство аграрної політики та продовольства України, Національна академія аграрних наук України [Текст, таблиці, додатки]. – К.: ДДА, 2011. – 44 с.
2. Сельскохозяйственные машины / Б.Г. Турбин [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1967. – 186 с.
3. Турчин, В.М. Теорія ймовірностей. Основні поняття, приклади, задачі / В.М. Турчин. – К.: А. С. К., 2004. – 208 с. – ISBN 966-319-002-7.

УДК 631.31

Н.С. Козлов

*(РУП «НПЦ НАН Беларусі по механізацыі сельскага гаспадарства»),
г. Мінск, Рэспубліка Беларусь)*

АНАЛИЗ

**ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ
МАШИН ДЛЯ
ПОСЛЕУБОРОЧНОГО
ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ
ВЫСОКОСТЕБЕЛЬНЫХ КУЛЬТУР**

Введение

Основной целью Государственной программы устойчивого развития села на 2011–2015 годы является повышение экономической эффективности и наращивание экспортного потенциала агропромышленного комплекса. Для достижения поставленных целей необходимо решить целый ряд задач, одной из которых является увеличение объемов производства и сбыта сельскохозяйственной продукции исходя из экономической целесообразности. Согласно программе, планируется сохранить посевную площадь и увеличить урожайность зерновых и зернобобовых, рапса, кукурузы на зерно и силос, других высокостебельных культур [1].

В соответствии со статистическим ежегодником 2012 года площади посевов кукурузы на зерно и корм, рапса составляли 1299 тыс. га, то есть 22 % от всей посевной площади, составляющей в республике 5779 тыс. га [2]. Нерешенной проблемой в Беларуси до сих пор остается качественное послеуборочное измельчение растительных остатков высокостебельных культур. Внесение растительных остатков и навоза является

основным источником пополнения органического вещества в почве. Однако для получения максимального эффекта от их внесения растительные остатки должны быть, как показывают исследования почвоведов, качественно измельчены и заделаны в почву.

После уборки таких культур на поле остается от 30 до 80 *ц/га* непродуктивной растительной массы, которая должна быть измельчена на фракции определенных размеров. Большое количество неизмельченных растительных остатков на поверхности поля ухудшает производительность и качество работы машинно-тракторных агрегатов. Это связано с тем, что появляется необходимость постоянной очистки рабочих органов почвообрабатывающих и посевных агрегатов от забивания пожнивно-корневыми остатками. Ухудшается и заделка семян посевными агрегатами, что, в свою очередь, приводит к снижению урожая. Кроме того, незапаханные растительные остатки способствуют распространению вредителей и болезней.

По данным ряда исследований, выполненных в России (А.П. Спириным), учеными Польши и Украины, установлено, что наилучшие условия разложения пожнивно-корневых остатков в осенне-зимний период обеспечиваются при измельчении их на отрезки длиной 5–10 *см* и дополнительном продольном расщеплении на несколько частиц. Процесс минерализации таких частиц до их полного разложения по сравнению с неизмельченными остатками ускоряется в 7–8 раз, сокращаясь с двух лет до 90–100 дней. Наиболее интенсивное разложение растительных остатков кукурузы происходит при заделке их в почву на небольшую глубину – до 8 *см* [3].

Основная часть

В настоящее время существуют различные конструкции почвообрабатывающих машин для послеуборочного измельчения растительных остатков. По принципу действия они подразделяются на машины с рабочими органами пассивного (дисковые лушительники, дисковые бороны, дисколаповые агрегаты) и активного действия (почвообрабатывающие фрезы и мульчировщики).

Для качественного измельчения растительных остатков применяются почвообрабатывающие агрегаты с активными рабочими органами – почвообрабатывающие фрезы и мульчировщики (таблица 18). Такие агрегаты по расположению оси вращения рабочего органа делятся на вертикальные и горизонтальные.

Почвообрабатывающие агрегаты с активными рабочими органами обладают высокой энергоемкостью и низкой производительностью, также они имеют невысокую долговечность, особенно при работе на каменистых почвах. Данные агрегаты также не могут применяться на всех видах почв, что связано с чрезмерным распылением почвы.

Почвообрабатывающие машины с рабочими органами пассивного действия представлены в таблице 19.

Таблица 18 – Классификация почвообрабатывающих агрегатов с рабочими органами активного действия, применяемых для послеуборочного измельчения высокостебельных культур


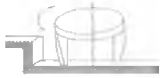

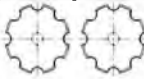



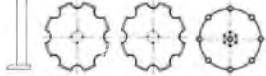





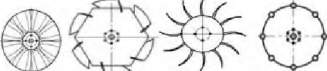


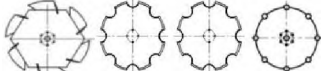
	Название почвообрабатывающих машин	Схема агрегата	Достоинства	Недостатки
Почвообрабатывающие фрезы	«Forigo»: G35, G45; «Kuhn»: EL; «Alpego»: FM, FH, FPA; РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»: ПАН-2,8, ПАН-3, ПАН-3,6 и др.	 горизонтальная фреза	Хорошее измельчение растительных остатков как надземной части, так и корневой системы	Высокая энергоёмкость, низкая производительность, сложная конструкция агрегата
	«Amazone»: KE, KG; «Sulky»: CultilineHR; ОАО «Сморгонский завод оптического станкостроения»: АКП-4, АКП-6 и др.	 вертикальный ротор		
Мульчировальные щетки	«VogelNoot»: MasterCut; «Strom»: Mulcher MO, MZ, MM; «Kuhn»: BAV, BNG, RM, NK; «Great Plains»: Land Pride, RCM5515, RC5020 и др.	 вертикально расположенный рабочий орган; горизонтально расположенный рабочий орган	Хорошее измельчение растительных остатков надземной части	Высокая энергоёмкость, низкая производительность, сложная конструкция агрегата

Таблица 19 – Классификация почвообрабатывающих агрегатов с рабочими органами пассивного действия

	Название почвообрабатывающих машин	Схема агрегата	Достоинства	Недостатки
Дисковые агрегаты	«Лунинецкий РМЗ»: БДН-3; «Минскагропромаш»: БНД-3; БПД-7; «Лидсельмаш»: Л-111; «Бобруйксельмаш»: БПТД-7 и др.	 сферические диски	Простая конструкция, низкая металлоёмкость	Некачественное измельчение растительных остатков. Частое забивание растительной массой стойки крепления секций и пространства между дисками
	«СелАгро»: АДН-4; «Lemken»: Rubin 9; «GregoireBesson»: Diskopak, Big X, Big Pro; «Unia»: ARES, MARS, MAX, TWIX; «Бобруйксельмаш»: АПД-6, АПД-7,5; РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»: АПО-6,3	 сферические диски; прикатывающий каток		

	Название почвообрабатывающих машин	Схема агрегата	Достоинства	Недостатки
	«Славянская технология»: АДУ-6; АКД и др.	 сферические диски; прикатывающий каток		
Дисколатновые агрегаты	«Unia»: KOS, CROSS; «Farmet»: DUOLENT; «Bremer»: SBA; «Лунинецкий РМЗ»: КЧД-6;	 культиваторные лапы; сферические диски; прикатывающий каток	Измельчение корневой системы и интенсивное крошение почвы	Некачественное измельчение растительных остатков
	«Agrisem»: Actimulch	 культиваторные лапы; сферические диски; прикатывающий каток		
	ОАО «Гидросельмаш»: АКМ-6; «Витебский МРЗ»: АБТ-4	 сферические диски; культиваторные лапы; сферические диски; прикатывающий каток	Измельчение корневой системы и интенсивное крошение почвы	Некачественное измельчение растительных остатков высокоствельных культур
	«Бобруйксельмаш»: АПМ-6 и др.	 сферические диски; культиваторные лапы; сферические диски; прикатывающий каток		
	«Regent»: Front-Ringwalze	 волнистые диски		

Агрегаты с волнистыми дисками и режущими катками	Название почвообрабатывающих машин	Схема агрегата	Достоинства	Недостатки
	«SMS»: Walzen U2	 волнистые диски; прикатывающий каток	Хорошее измельчение растительных остатков в валках и корневой системы растений	Некачественное измельчение растительных остатков высокостебельных культур
	«Great Plains»: Turbo-till	 волнистые диски; игольчатые диски; прикатывающий каток		
	«Great Plains»: Turbo-chopper	 волнистые диски; ножевидные катки; игольчатые диски; прикатывающий каток		
	«VogelNoot»: VN-Saepak	 ножевидные катки; культиваторные лапы; ножевидные катки		
	«Unia»: ATLAS	 ножевидные катки; культиваторные лапы; прикатывающий каток		
	«Väderstad»: Carrier и др.	 ножевидные катки; сферические диски; прикатывающий каток		

Машины с пассивными рабочими органами менее энергоемки, имеют простую конструкцию и большую производительность по сравнению с машинами с активными рабочими органами, что связано с большей шириной захвата и рабочей скоростью движения агрегата. Однако при всех своих достоинствах они не обеспечивают качественного измельчения растительных остатков высокоствельных культур, как этого требуют вышеприведенные исследования.

Вместе с тем надо отметить, что почвообрабатывающие агрегаты с пассивными рабочими органами получили большее распространение по сравнению с агрегатами с активными рабочими органами.

Заключение

Исходя из приведенного анализа почвообрабатывающих агрегатов, применяемых для измельчения растительных остатков, можно сделать вывод о том, что перспективным направлением является усовершенствование почвообрабатывающих агрегатов с пассивными рабочими органами.

Они имеют большое преимущество перед активными рабочими органами в простоте конструкции, производительности, металлоемкости и т.д.

На фоне разнообразных пассивных рабочих органов (различные сферические и волнистые диски, почвообрабатывающие лапы), как показывает американский опыт (Turbo-chopper, «GreatPlains»), большое преимущество в качественном послеуборочном измельчении растительных остатков имеют почвообрабатывающие агрегаты с пассивным рабочим органом в виде спирально-ножевого катка.

22.08.13

Литература

1. Государственная программа устойчивого развития села на 2011–2015 годы / Минист. сельского хозяйства и продовольствия Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: http://mshp.minsk.by/prog/gosprog_ustrazvitsela_2011_2015.pdf. – Дата доступа: 20.05.2013.
2. Статистический ежегодник 2012 / Национальный статистический комитет Республики Беларусь; пред. ред. кол. В.И. Зиновский. – Минск, 2012. – С. 401: таблицы. – ISBN 978-985-7015-15-3.
3. Спирин, А.П. Мульчирующая обработка почвы / А.П. Спирин. – М.: ВИМ, 2001. – С. 5–30.

УДК 631.356.46

**Д.И. Комлач, В.В. Голдыбан,
А.Л. Рапинчук**
(РУП «НПЦ НАН Беларуси по
механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)

РАСЧЕТ ШНЕКОВОГО СЕПАРАТОРА КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН

Введение

Являясь наиболее трудоемким процессом в производстве картофеля, уборка составляет до 60 % всех трудозатрат, приходящихся на возделывание данной культуры. Это вызвано тем, что при уборке клубней через рабочие органы комбайна пропускается до 1100 *т/га* почвы. Причем если при пахоте перемещается в среднем 2800–3000 *т/га* на расстоянии 0,3 *м*, то при работе картофелеуборочного комбайна ворох перемещается на 1,5 *м*. Таким образом, суммарная работа, совершаемая агрегатом на одном гектаре при уборке картофеля, примерно в 1,4–1,5 раза больше, чем при пахоте. Поэтому при проектировании картофелеуборочной техники основное внимание уделяется вопросу отделения почвы и растительных примесей, которые, даже при урожайности картофеля в 300 *ц/га*, составляют порядка 97 %.

Качественные и количественные показатели работы современных картофелеуборочных машин не в полной мере отвечают предъявляемым к ним требованиям. Одной из причин разницы между возможным и фактическим использованием картофелеуборочных машин является несовершенство сепарирующих рабочих органов, определяющих их работоспособность, качество работы и производительность.

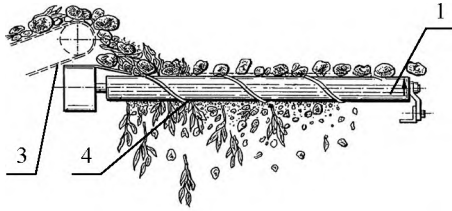
Совершенствование сепарирующих рабочих органов должно идти по пути определения рациональных конструктивных параметров и кинематических режимов работы элементов их конструкции, поиска новых технических решений, обеспечивающих снижение материальных и энергетических затрат на сепарирование картофельного пласта, повышение качества отделения почвенных и растительных примесей от клубней.

В связи с этим создание, совершенствование и обоснование рабочих параметров сепарирующих рабочих органов, применяемых в картофелеуборочных комбайнах, и улучшение их энергетических характеристик является весьма актуальной народнохозяйственной задачей.

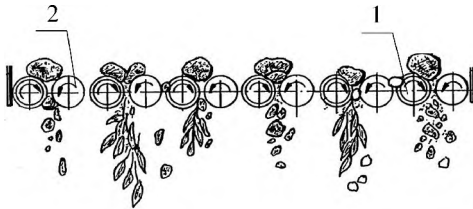
Основная часть

Одним из возможных путей совершенствования сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин является их конструктивное исполнение в виде модуля, состоящего из чередующихся между собой гладких и спиралевидных вальцов (рисунок 92). Для извлечения из по-

ступившего на сепаратор картофельного вороха растительных примесей и комков почвы валцы вращаются навстречу друг другу.



а)



б)

- 1 – валец с навивкой; 2 – гладкий валец;
3 – основной элеватор; 4 – виток;
а) вид сбоку; б) вид сзади

Рисунок 92 – Схема шнекового сепаратора

ни, имеющие диаметр больше минимального, вальцами не затягиваются, а перемещаются дальше к сходу с сепаратора.

При работе валцов сепаратора на клубень действует сила $F = f \cdot N$, затягивающая его между вальцами, и сила N (рисунок 93). Для того чтобы не происходило затягивания клубня между вальцами, необходимо соблюдение условия [1]:

$$f \cdot N \cdot \cos \alpha < N \cdot \sin \alpha ; \quad f < \operatorname{tg} \alpha ;$$

$$\varphi < \alpha ,$$
(1)

где φ – угол трения клубня по материалу сепаратора.

Угол α связывает диаметр валцов и клубня следующей зависимостью:

$$\cos \alpha = \frac{A_1 O_1}{A_1 O} = \frac{D_e + b}{D_e + d_{\text{кл}}} ,$$
(2)

где b – расстояние между вальцами, мм.

Таким образом, с увеличением диаметра клубня $\cos \alpha$ уменьшается, а следовательно, угол α увеличивается, из чего следует, что при определении диаметра валцов необходимо принимать величину угла α , соответствующую минимальному диаметру клубня.

Для нахождения основных параметров сепаратора допускаем, что клубень имеет форму шара.

Минимальный диаметр $d_{кл}$ клубня для расчетов принимаем равным 28 мм, так как клубни меньших размеров при испытаниях картофелеуборочных машин не учитываются, и, согласно ТКП 277–2010, к потерям не относятся [2].

Из условия (1) и выражения (2) находим диаметр вальцов:

$$D_e \leq \frac{d_{кл} \cdot \cos \varphi - b}{1 - \cos \varphi}.$$

Частота вращения вальцов сепаратора (мин.^{-1}) определится по выражению [3, с.177]:

$$n = \frac{60 \cdot v_n}{S_e},$$

где S_e – шаг винта, м.

Поступательная скорость перемещения клубней на сепараторе v_n без сгуживания должна удовлетворять условию:

$$v_n \geq \frac{q_{ум} \cdot d_{кл}}{k},$$

где $q_{ум}$ – секундная подача картофеля со всего сепаратора, шт./с ;

k – количество транспортирующих потоков или пар вальцов, шт. ;

$$k = \frac{B_c}{(2 \cdot D_e + b)},$$

где B_c – ширина сепаратора (не меньше ширины захвата уборочной машины), м;

$$q_{ум} = \frac{0,1 \cdot Q \cdot i \cdot c \cdot v_M}{m_{кл}},$$

где Q – урожайность картофеля, т/га ;

i – количество убираемых рядков, шт. ;

c – ширина междурядий, м;

v_M – рабочая скорость машины, м/с (для среднего суглинка $v_M = 0,5 \div 0,7$ м/с, для легких почв $v_M = 1,2 \div 1,5$ м/с [4, с. 279]);

$m_{кл}$ – средняя масса одного клубня, кг.

Общая ширина шнекового сепаратора составит:

$$B = (2 \cdot D_e + b) \cdot k.$$

Длину вальцов с учетом работы в тяжелых условиях следует устанавливать, по данным Г.Д. Петрова и М.Е. Мацепуро, в пределах 1,5–1,8 м [4, с. 287, 5, с. 223].

Определим требуемую скорость перемещения и проворачивания картофеля на вальцах.

Клубень, перемещаясь по сепаратору, опирается на вальцы в трех точках: A , B и C (рисунки 93–95). В точках A и B векторы окружной скорости вальцов \vec{v}_A и \vec{v}_B направлены по касательной к клубню. Клубень

перемещается со скоростью \vec{V}_C по вектору, направленному под определенным углом, и одновременно проворачивается вокруг осей Oz и Ox .

Окружная скорость клубня определится по выражению:

$$v_{окр_{к\ddot{u}}\ddot{u}} = \frac{\pi \cdot (D_6 + 2h) \cdot n_6}{60} \cdot (1 - \varepsilon),$$

где h – высота навивки, м;

n_6 – частота вращения вальцов, мин.⁻¹;

ε – коэффициент скольжения клубня по резиновой поверхности (по данным М.Е. Мацепуро [5, с. 155], $\varepsilon = 0,10 \div 0,42$ – для мелких клубней и $\varepsilon = 0,13 \div 0,52$ – для крупных).

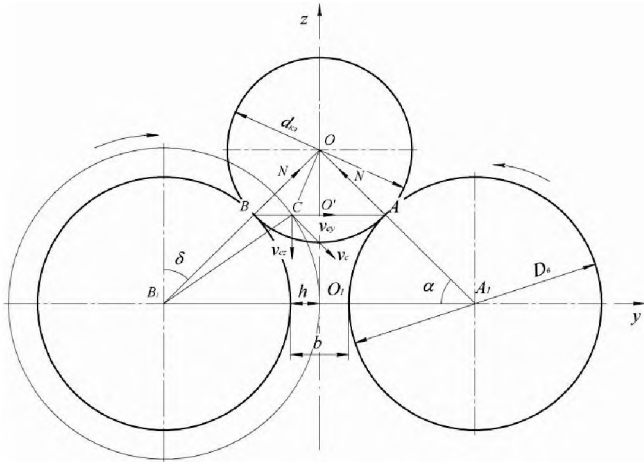


Рисунок 93 – Поперечно-вертикальная проекция клубня и вальцов

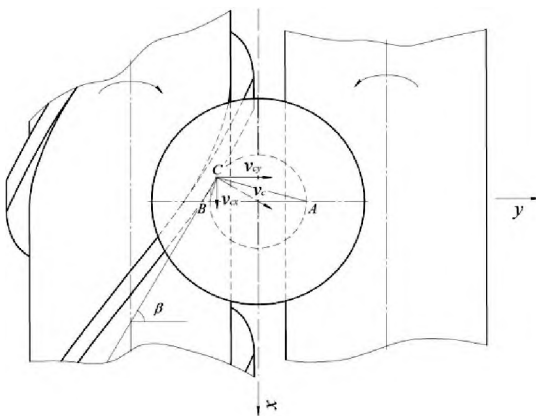


Рисунок 94 – Проекция клубня и вальцов на горизонтальную плоскость

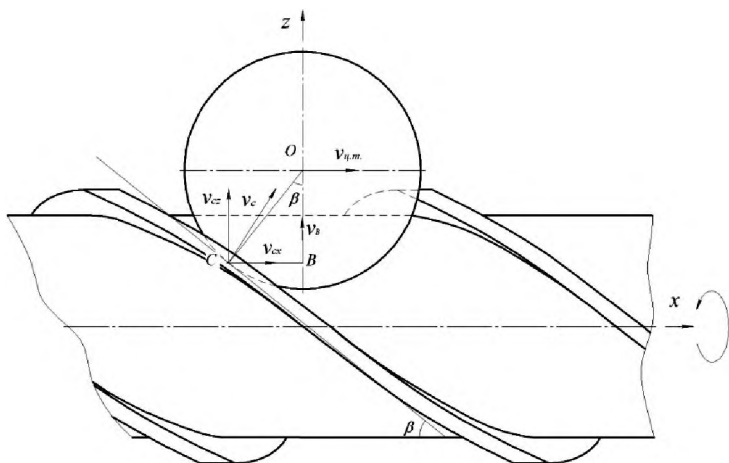


Рисунок 95 – Продольно-вертикальная проекция клубня и вальцов

ε – коэффициент скольжения клубня по резиновой поверхности (по данным М.Е. Мацепуро [5, с. 155], $\varepsilon = 0,10 \div 0,42$ – для мелких клубней и $\varepsilon = 0,13 \div 0,52$ – для крупных).

Проекции вектора \vec{v}_C на оси Ox , Oy и Oz соответственно равны:

$$v_{C_x} = v_{окр_c} \cdot ctg\beta; v_{C_y} = v_{окр_c} \cdot \cos\delta; v_{C_z} = v_{окр_c} \cdot \sin\delta;$$

$$tg\beta = \frac{S_e}{2\pi \cdot (R_e + h)},$$

где $tg\beta$ – тангенс угла навивки.

$$\cos\delta = \frac{(r_{кл} + R_e) \cdot \sin\alpha - r_{кл} \cdot \cos\beta}{R_e + h},$$

где R_e – радиус вальцов, мм.

Если выполняется условие

$$(r_{кл} + R_e) \cdot \sin\alpha - r_{кл} \cdot \cos\beta > R_e + h, \quad (3)$$

тогда

$$\cos\delta = \frac{(r_{кл} + R_e) \cdot \sin\alpha - r_{кл} \cdot \sin\alpha + h / \sin\alpha}{R_e + h}.$$

Проекции координаты точки C контакта клубня с навивкой будут следующими:

$$O'O = r_{кл} \cdot \cos\beta.$$

При выполнении условия (3)

$$O'O = r_{кл} \cdot \sin\alpha - \frac{h}{\sin\alpha};$$

$$O'C_y = (r_{кл} + 0,5 \cdot b) - (R_e + h) \cdot \sin \delta;$$

$$O'C_x = \sqrt{O'C^2 - O'C_y^2} = \sqrt{r_{кл}^2 - O'O^2 - O'C_y^2}.$$

Подставив исходные данные в приведенные формулы, можно определить значения v_{C_x} , v_{C_y} , v_{C_z} , $v_{окр}$ и проекции координаты точки C контакта клубня с навивкой с достаточной для практики точностью.

Поступательная скорость перемещения центра тяжести клубня по вальцам определится по выражению:

$$v_{ц.т.} = v_{C_z} \cdot \frac{O'O}{O'C_x}.$$

Приведем пример расчета основных конструктивных и кинематических параметров шнекового сепаратора. Исходные данные к расчету: средний диаметр клубня $d_{кл} = 0,06$ м; коэффициент трения клубня по обрезиненным вальцам $f = 0,64$; коэффициент скольжения клубней $\varepsilon = 0,45$; зазор между вальцами $b = 0,016$ м; высота навивки $h = 0,014$ м; шаг навивки принимаем равным $2(R_e + h)$; средняя урожайность картофеля $Q = 40$ т/га; $v_m = 1,4$ м/с; количество убираемых рядков $i = 2$; ширина междурядий $c = 0,07$ м; средняя масса одного клубня $m_{кл} = 0,07$ кг; число пар вальцов $k = 10$.

Подставляя исходные данные в приведенные формулы, получим следующие значения основных параметров шнекового сепаратора: диаметр вальцов $D_e = 0,07$ м; угол навивки $\beta = 24^\circ$; количество пар вальцов $k = 10$; частота вращения $n_e = 290$ мин⁻¹; поступательная скорость перемещения центра тяжести клубня по вальцам $v_{ц.т.} = 1,78$ м/с.

Выводы

Задаваясь основными требованиями к процессу уборки и картофелеуборочным машинам, можно расчетным путем определить основные конструктивные параметры ворохоочистительных устройств, установить закон движения клубня по вальцам в целях качественного отделения растительных примесей и комков почвы и равномерного перемещения картофельного вороха с заданной производительностью.

08.07.13

Литература

1. Сабликов, М.В. Защемление и затягивание тел / М.В. Сабликов // Механизация и электрификация соц. сел. хоз-ва. – 1968. – № 3. – С. 6–7.
2. Сельскохозяйственная техника. Машины для уборки и послеуборочной обработки картофеля. Порядок определения функциональных показателей: ТКП 277–2010 (СТО АИСТ 8.5–2006). – Введ. 01.06.2011. – Минск: БелГИСС, 2011. – 48 с.
3. Корнеев, Г.В. Транспортёры и элеваторы сельскохозяйственного назначения. Теория и основы проектирования / Г.В. Корнеев. – Москва–Киев: Машиз, 1961. – 232 с.

4. Петров, Г.Д. Картофелеуборочные машины / Г.Д. Петров. – М.: Машиностроение, 1984. – С. 320.
5. Мацегуро, М.Е. Технологические основы механизации уборки картофеля / М.Е. Мацегуро; Акад. с.-х. наук БССР, Ин-т механизации и электрификации сел. хоз-ва. – Минск: Государственное издательство БССР, Редакция сельскохозяйственной литературы, 1959. – 302 с.

УДК 631.362.3:633.491

Д.И. Комлач

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

Ю.М. Урамовский, В.Н. Еднач

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

В. Танась

(Люблинская сельскохозяйственная академия, г. Люблин, Республика Польша)

К ВОПРОСУ СОРТИРОВАНИЯ КЛУБНЕЙ НА РОЛИКОВЫХ СОРТИРОВАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Введение

Основным компонентом пунктов послеуборочной обработки являются сортировальные машины с различными типами рабочих поверхностей. Наиболее распространенными в мировой и отечественной практике являются роликовые, а также сетчатые сортирующие поверхности.

Основная часть

Повреждение клубней картофеля часто остается в тени таких проблем, как повышение производительности, качество выполнения рабочего процесса машинами для уборки и переработки клубней картофеля. Тем не менее она довольно актуальна и оказывает большое влияние на результаты всей деятельности. Значительные потери картофеля при хранении имеют прямую связь с условиями последнего и качеством закладываемого на хранение картофельного вороха.

Повреждения клубней при сортировании определяются рядом параметров сортирующих рабочих органов, в частности создаваемой при их работе скоростью соударения элементов рабочего органа с клубнями.

Изучение работы роликовых сортировальных поверхностей показало, что основные повреждения наносятся клубням при их защемлении или протаскивании сквозь калибрующие щели или отверстия (при фигурных роликах).

Защемление клубней отсутствует, если окружные скорости клубней относительно разнонаправленных роликов равны. Это возможно, когда клубень имеет форму шара. Однако в реальности поверхность клубня

имеет сложную форму, что приводит к проскальзыванию и защемлению клубней.

Ориентация клубней картофеля в массе при движении по роликовой поверхности разнообразна. Клубень можно рассматривать как эллипсоид со сторонами, равными толщине, ширине и длине клубня.

Предположим, что система «ролик первый, клубень, ролик второй» – это фрикционный механизм, в котором вращение передается от первого ролика через клубень на второй ролик, при этом пренебрегаем силами трения и буксованием.

Окружную скорость, передаваемую от первого ролика V_1 , задающего движение системе к клубню V_{KC} , определяем по формуле:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot n_1 \cdot r_{p1}}{30} = V_{KC} = \frac{\pi \cdot n_k \cdot r_c}{30},$$

где n_1 – частота вращения ролика, *мин.⁻¹*;

r_{p1} – радиус ролика, *м*;

n_k – частота вращения клубня, *мин.⁻¹*;

r_c – радиус клубня по толщине, *м*.

Окружную скорость V_{Kb} , передаваемую второму ролику V_2 от клубня с учетом его ширины, определим как

$$V_{Kb} = \frac{\pi \cdot n_k \cdot r_b}{30} = V_2 = \frac{\pi \cdot n_2 \cdot r_{p2}}{30},$$

где n_2 – частота вращения второго ролика, *мин.⁻¹*;

r_{p2} – радиус второго ролика, *м*;

r_b – радиус клубня по ширине, *м*.

Если разность скоростей от размеров клубня компенсировать разностью скоростей от вращения роликов, то защемления можно избежать. Таким образом, определим скорость роликов как

$$V_{\text{вых}} = V_2 - V_1 = V_{Kb} - V_{KC}.$$

После преобразования получим:

$$V_{\text{вых}} = \frac{\pi \cdot n_1 \cdot r_{p1}}{30} \cdot \frac{(r_b - r_c)}{r_c}.$$

Анализируя предоставленные выражения, можно сделать вывод о целесообразности использования в конструкции роликовых калибрующих поверхностей индивидуального привода рабочих органов с возможностью бесступенчатой регулировки скорости вращения. В зависимости от преобладающей формы клубней задается установленный по средним значениям диапазон оборотов роликов калибровочного устройства.

В процессе сортирования на роликовых поверхностях вращающиеся ролики ориентируют клубни картофеля таким образом, что их наибольший поперечный диаметр – длина, ориентируется параллельно вальцам. Таким образом, непосредственное влияние на скорость враще-

ния клубня оказывают толщина и ширина. Отношение толщины клубня к его ширине может характеризовать форму клубня с точки зрения скоростных режимов движения клубней по роликовым поверхностям.

$$K_p = c/b,$$

где c – толщина клубня, мм;

b – ширина клубня, мм.

Проанализировав клубни различных сортов, таких как Скарб, Ласунак, Адрета и др., выделим пять основных форм (таблица 20).

Таблица 20 – Коэффициент формы клубня в поперечном сечении

Форма клубня	Коэффициент формы K_p
Округлая	более 0,9
Округло-овальная	0,89...0,8
Овальная	0,79...0,7
Удлиненно-овальная (плоско-овальная)	0,7...0,61
Удлиненная (плоская)	менее 0,6

Анализируя изложенное, приходим к выводу о целесообразности использования в качестве критерия передаточного отношения между роликами коэффициента формы. Приняв максимально допустимую скорость роликов 1 м/с, можем определить скорость роликов калибрующей поверхности, полученные расчеты сведем в таблицу 21.

Таблица 21 – Зависимость изменения окружной скорости роликов от передаточного числа

Передаточное число	Номер ролика				
	1	2	3	4	5
0,9	0,6561	0,729	0,81	0,9	1
0,85	0,522006	0,614125	0,7225	0,85	1
0,8	0,4096	0,512	0,64	0,8	1
0,75	0,316406	0,421875	0,5625	0,75	1
0,7	0,2401	0,343	0,49	0,7	1
0,65	0,178506	0,274625	0,4225	0,65	1
0,6	0,1296	0,216	0,36	0,6	1

Регулировка скоростей роликов проще всего осуществима при использовании гидропривода, путем установки дросселей и шайб, позволяющих изменять подачу масла на гидромоторы привода валцов.

Проверка данных теоретических исследований осуществлялась на сортировочном модуле ПБВ-40.

Заключение

Экспериментальная проверка роликовой сортирующей поверхности с регулируемым передаточным отношением показала существенное снижение повреждаемости клубней – в среднем на 15–45 %.

Учитывая разность скоростей роликов и особенность формы сорта картофеля, можно достичь высокого качества сортирования.

01.07.13

Литература

1. Колчин, Н.Н. Комплексы машин и оборудования для послеуборочной обработки картофеля и овощей / Н.Н. Колчин. – М.: Машиностроение, 1982. – 268 с.
2. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для уборки и послеуборочной обработки картофеля. Методы оценки функциональных показателей: СТО АИСТ 8.5–2006. – Введ. 15.04.2007.
3. Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Методы измерения конструктивных параметров: ГОСТ 26025–83. – Введ. 01.01.1984. – М.: Гос. ком. СССР по стандартизации, 1984. – 8 с.

УДК [631.362.3:635.21]:519.87

Д.И. Комлач

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

АНАЛИЗ РАЗМЕРНО-ВЕСОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

Введение

Основоположник земледельческой механики академик В.П. Горячкин и его последователь академик М.Е. Мацепуро, обосновавший экспериментально-теоретические подходы к созданию новой техники для комплексной механизации сельскохозяйственного производства [1], придавали большое значение изучению физико-механических свойств сельскохозяйственных сред и материалов в аспекте технологических воздействий на них рабочими органами машин.

Проектируя технику для картофелеводства (при обосновании параметров и расчете высаживающих аппаратов, сепарирующих устройств, оборудования сортировальных пунктов), необходимо знать характеристики клубней картофеля. На форму и размеры клубней влияет ряд факторов (тип почвы, условия и агротехника возделывания и т.п.), однако, в основном, они зависят от сорта картофеля.

Поскольку в настоящее время районировано много новых сортов картофеля, целесообразно уточнить и дополнить известные результаты исследований [2, 3].

Основная часть

Исследовали размеры и массу клубней пяти современных сортов картофеля (Аksamит, Явар, Скарб, Лилея и Орбита), составив случайным образом для каждого из них выборки объемом $n = 100$.

Обработка результатов измерений сводилась к вычислению точечных и интервальных оценок:

$$\tilde{x} = n^{-1} \sum_{i=1}^n x_i$$

и

$$I_\gamma(\tilde{x}) = \left[\tilde{x} - \frac{t_{\gamma, n-1} S_1}{\sqrt{n}}; \tilde{x} + \frac{t_{\gamma, n-1} S_1}{\sqrt{n}} \right], \quad (1)$$

а также практических (толерантных, допустимых) границ рассеивания u_n и u_o , в которые с доверительной вероятностью γ попадают $p \cdot 100$ % всех элементов генеральной совокупности [4]:

$$u_n = \tilde{x} - k S_1; \quad u_o = \tilde{x} + k S_1, \quad (2)$$

где $t_{\gamma, n-1}$ – значение t -распределения при доверительной вероятности γ и числе степеней свободы $n - 1$ скорректированной дисперсии;

$$S_1^2 = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \tilde{x}^2 \right);$$

k – множитель, зависящий от γ , p и объема выборки n [4, табл. XIV].

Возможность использовать выражения (1) и (2) обосновывалась проверкой гипотезы о нормальном распределении массы и размеров клубней.

Критерием согласия эмпирического и теоретического распределений служил критерий Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(m_j - m_{Tj})^2}{m_{Tj}}$$

с числом степеней свободы $\nu = k - k_1 - k_2 - 1$,

где m_j и m_{Tj} – частота попадания в j -ый интервал статистического ряда соответственно эмпирической и нормально распределенной случайных величин;

k , k_1 и k_2 – числа соответственно интервалов статистического ряда, присоединенных интервалов, в которых $m_j < 5$, и параметров проверяемого закона распределения (в нашем случае $k_2 = 2$).

Гипотезу отвергаем, если

$$\chi^2 > \chi_{\alpha; \nu}^2 \equiv \chi_{\alpha; \nu}^2,$$

где $\chi_{\alpha; \nu}^2$ – табулированное значение χ^2 -распределения при уровне значимости α и числе степеней свободы ν [4, табл. IX].

Форму клубней характеризовали коэффициентом формы [5]:

$$K_\phi = \frac{a}{\sqrt{bc}}, \quad (3)$$

где $a > b > c$ – соответственно длина, ширина и толщина клубня.

Поскольку нормальный клубень имеет форму эллипсоида, его объем

$$V = \frac{\pi}{6} abc$$

и масса

$$m = \gamma_k V = \varepsilon abc, \quad (4)$$

где $\varepsilon = \pi \gamma_k / 6 \approx \gamma_k / 2$ – коэффициент пропорциональности;

γ_k – плотность клубня.

Обозначим $x_i = a_i b_i c_i$ и $y_i = m_i$. Тогда с учетом выражения (4) статистическая модель имеет вид:

$$y_i = \varepsilon x_i + e_i, \quad (5)$$

где e_i – остаток (невязка между наблюдаемым y_i и расчетным εx_i значениями переменной y).

Аппроксимируя экспериментальные точки (x_i, y_i) уравнением прямой, проходящей через начало координат, методом наименьших квадратов определяем оценку коэффициента ε :

$$b_1 = \sum_{i=1}^n x_i y_i \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right)^{-1}. \quad (6)$$

Значимость коэффициента регрессии b_1 оцениваем, используя таблицу дисперсионного анализа (таблица 22), путем проверки гипотезы о равенстве средних квадратов MS_R (обусловленного регрессией) и MS_E (относительно регрессии).

Таблица 22 – Нескорректированный дисперсионный анализ модели (5)

Источник вариации	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Средний квадрат
Регрессия	$b_1 \sum_i x_i y_i$	1	MS_R
Остаток	$\sum_i y_i^2 - b_1 \sum_i x_i y_i$	$n-1$	MS_E
Общая вариация	$\sum_i y_i^2$	n	

Нулевую гипотезу $H_0 : K = 0$ при альтернативной гипотезе $H_0 : K \neq 0$ проверяем с помощью F -критерия:

$$F = \frac{MS_R}{MS_E} \geq F_{\alpha; 1; n-1}, \quad (7)$$

где $F_{\alpha; 1; n-1}$ – критическое значение F -распределения при уровне значимости α , числах степеней свободы 1 и $n - 1$.

Уравнение регрессии статистически значимо, если выполняется условие (7), то есть гипотеза о равенстве MS_R и MS_E отвергается.

Долю общей суммы квадратов, объясненную регрессией, характеризует коэффициент детерминации

$$R^2 = b_1 \sum_i x_i y_i \left(\sum_i y_i^2 \right)^{-1}. \quad (8)$$

Насколько хорошо моделью (5) объясняется вариация исходных данных, характеризует также относительная среднеквадратическая ошибка (коэффициент вариации, %)

$$\delta = \frac{s}{\bar{y}} \cdot 100, \quad (9)$$

где $s = \sqrt{MS_e}$.

Доверительный интервал коэффициента регрессии b_1

$$I(b_1) = [b_1 - \Delta b; b_1 + \Delta b], \quad (10)$$

где $\Delta b = st_{\gamma; n-1} \left(\sum_i x_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}$.

Возможность усреднить коэффициенты регрессии b_{1j}

$$b_{1c} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N b_{1j} \quad (11)$$

устанавливаем, проверяя нуль-гипотезы $H_0 : b_{1j} = b_{1c}$ при альтернативе $H_1 : b_{1j} \neq b_{1c}$, которые не противоречат экспериментальным данным, если

$$|t| = \frac{|b_{1j} - b_{1c}|}{s_{b_{1j}}} = \frac{|b_{1j} - b_{1c}| \left(\sum_i x_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}}{s} \leq t_{kp} \equiv t_{\gamma; n-1}, \quad (12)$$

где $N = 5$ – число выборок.

Гипотеза о том, что масса и размеры клубней картофеля являются нормально распределенными случайными величинами, не противоречит экспериментальным данным: критерий согласия $\chi^2 < \chi_{kp}^2$. Так, для массы, ширины и толщины клубней сорта Явар имеем соответственно $\chi^2 = 3,53$; 10,27 и 11,20 при $\chi_{kp}^2 = \chi_{0,05; 5}^2 = 12,59$, а для длины клубней $\chi^2 = 3,20 < \chi_{kp}^2 = \chi_{0,05; 5}^2 = 11,07$ (в этом случае в одном из интервалов статистического ряда $m_j < 5$, поэтому $k_1 = 1$ и $\nu = 5$).

Интервальные оценки размеров и массы клубней сортов картофеля при доверительной вероятности $\gamma = 0,95$, вычисленные по формуле (1), а также коэффициенты формы клубней K_ϕ (см. формулу (3)) приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Интервальные оценки параметров клубней

Сорт	Масса, г	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	K_ϕ
Аксамит	55,2±3,9	50,7±1,7	44,7±1,2	39,6±1,1	1,20
Явар	60,5±3,2	52,4±1,3	47,0±1,1	39,6±0,9	1,19
Скарб	51,8±3,4	51,2±1,4	43,0±1,1	36,0±1,0	1,32
Лилея	60,2±4,1	51,8±1,5	45,8±1,3	39,0±1,0	1,23
Орбита	43,8±3,4	45,5±1,3	41,6±1,3	37,1±1,1	1,15

Согласно классификации [5], форма клубней округлая, если $K_\phi < 1,20$, округло-овальная ($K_\phi = 1,20...1,29$), овальная ($K_\phi = 1,30...1,39$) и удлинённая, если $K_\phi > 1,50$.

Таким образом, клубни сортов Явар и Орбита имеют округлую, Аксамита и Лилея – округло-овальную и сорта Скарб – овальную форму.

При $\gamma = 0,95$; $p = 0,95$ и $n = 100$ множитель $k = 2,233$ (см. [4, табл. V]). Вычисленные по формулам (2) практические границы рассеивания параметров клубней приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Практические границы рассеивания [u_n ; u_v] массы и размеров клубней

Сорт	Масса, г	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм
Аксамит	11,6; 98,8	31,5; 69,9	31,2; 58,2	27,5; 51,7
Явар	24,8; 96,2	38,3; 66,4	34,7; 59,3	30,0; 49,3
Скарб	13,4; 90,3	35,4; 67,1	30,7; 55,4	25,1; 46,8
Лилея	14,7; 105,7	35,2; 68,4	31,1; 60,6	28,3; 49,7
Орбита	5,4; 82,3	30,9; 60,1	27,8; 55,5	25,1; 49,1

Экспериментальные точки (x_i ; y_i) зависимости между массой клубня $y_i = m_i$ и произведением его размеров $x_i = a_i b_i c_i$ группируются около прямой, проходящей через начало координат.

Согласно формуле (6), коэффициент регрессии, вычисленный по выборке измерений клубней, например, сорта Явар, $b_1 = 0,594$ г/см³. Значимость регрессии подтверждается результатами дисперсионного анализа (таблица 25):

$$F = 2,67 \cdot 10^4 \gg F_{кр} \equiv F_{0,05; 1,99} = 3,92,$$

а также вычисленными по формулам (8) и (9) коэффициентом детерминации $R^2 = 0,996$ и относительной среднеквадратической ошибкой $\delta = 6,3$ %.

Таблица 25 – Дисперсионный анализ модели (5) применительно к результатам измерений клубней сорта Явар

Источник вариации	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Средний квадрат
Регрессия	3,902 10 ⁵	1	3,902 10 ⁵
Остаток	1,448 10 ⁵	99	14,6
Общая вариация	3,917 10 ⁵	100	

Интервальная оценка (10) при $\gamma = 0,95$

$$I(b_1) = [0,594 - 0,007; 0,594 + 0,007] = [0,587; 0,601].$$

Аналогичные результаты получены для клубней других сортов картофеля (таблица 26).

Таблица 26 – Оценки коэффициента ε

Сорт	$b_1 \Delta b, \text{г/см}^3$	F	$F_{кр}$	R^2	$\delta, \%$
Аксамит	$0,575 \pm 0,008$	$1,89 \cdot 10^4$	3,92	0,995	7,6
Явар	$0,594 \pm 0,007$	$2,67 \cdot 10^4$	3,92	0,996	6,3
Скарб	$0,618 \pm 0,008$	$2,26 \cdot 10^4$	3,92	0,996	6,9
Лилея	$0,613 \pm 0,007$	$3,09 \cdot 10^4$	3,92	0,997	5,9
Орбита	$0,580 \pm 0,007$	$2,47 \cdot 10^4$	3,92	0,996	6,7

По данным академика В.П. Горячкина [2], на основании измерений клубней 15 сортов картофеля коэффициент $\varepsilon = 0,56 \dots 0,65$. Академик М.Е. Мацепуро для четырех сортов картофеля (Лорх, Эпикур, Ранняя роза и Вольтман) получил приблизительно те же значения [3]: $\varepsilon = 0,54 \dots 0,70$.

Изменения вычисленных оценок $b_1 = 0,58 \dots 0,62 \text{ г/см}^3$ и их доверительных интервалов (таблица 26) находятся в пределах известных значений коэффициента ε .

Усредненный коэффициент регрессии (11) $b_{1c} = 0,60$.

Возможность применять вместо коэффициентов b_{1j} для каждого из исследованных сортов картофеля усредненное значение b_{1c} проверяем, используя условие (12). Так, для сорта Явар имеем:

$$|t| = 0,56 < t_{кр} \equiv t_{0,95;99} = 1,99,$$

то есть гипотеза $H_0: b_{1j} = b_{1c}$ не противоречит экспериментальным данным.

Однако для других сортов картофеля $|t| > t_{кр}$, то есть гипотеза о возможности усреднения коэффициентов регрессии b_{1j} должна быть отвергнута.

Выводы

1. На основании измерений параметров клубней вычислены практические границы их рассеивания, которые являются необходимой предпосылкой обоснования конструкции и расчета рабочих органов машин для посадки, уборки и послеуборочной обработки картофеля.

2. Интервальные оценки коэффициентов пропорциональности ε между массой и произведением размеров клубней сортов картофеля находятся в пределах изменений этих коэффициентов, полученных ранее другими исследователями.

26.09.13

Литература

1. Мацепуро, М.Е. Вопросы земледельческой механики / М.Е. Мацепуро. – Минск: Гос. издательство БССР, 1959. – Т. 1. – 386 с.
2. Горячкин, В.П. О сортировании картофеля / В.П. Горячкин // Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин: сб. ст. / Под ред. В.П. Горячкина. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1936. – Т. 2. – С. 285–297.
3. Нагорский, И.С. Физико-механические свойства кормовых материалов / И.С. Нагорский, А.А. Рунцо, К.Ф. Терпиловский // Вопросы сельскохозяйственной механики: сб. ст. / Под ред. М.Е. Мацепуро. – Минск: Урожай, 1964. – Т. XII. – С. 4–84.
4. Митков, А.Л. Статистические методы в сельхозмашиностроении / А.Л. Митков, С.В. Кардашевский. – М.: Машиностроение, 1978. – 360 с.
5. Герасимов, А.А. Требования к машинам для картофелеводства на основе физико-механических свойств клубней / А.А. Герасимов // Основные направления совершенствования конструкций машин для возделывания и уборки картофеля: материалы первого Всесоюзного научно-технического совещания. – М.: ОНТИ ВИСХОМ, 1974. – С. 111–119.

УДК 631.362.3:633.491

В.Н. Еднач, Г.А. Радипшевский

(УО «БГАТУ»,

г. Минск, Республика Беларусь)

Д.И. Комлач, А.Л. Рапинчук

(РУП «НИЦ НАН Беларуси по

механизации сельского хозяйства»,

г. Минск, Республика Беларусь)

**ПОВЫШЕНИЕ
ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРЕДПРОДАЖНОЙ
ПОДГОТОВКИ
КАРТОФЕЛЯ**

Введение

Картофель относится к числу важнейших, широко распространенных и самых прибыльных сельскохозяйственных культур. Эффективность картофелеводства определяется количеством и качеством товарной продукции, суммарными затратами трудовых и материальных ресурсов на ее производство. Послеуборочная обработка является одним из завершающих звеньев технологии производства этой культуры и в значительной мере определяет ее товарное качество, себестоимость и конкурентоспособность в условиях рынка. Сельхозпроизводители заинтересованы в повышении классности своей продукции в результате послеуборочной и предреализационной обработки. Повысить качество товарной продукции возможно путем снижения повреждаемости и повышения точности калибрования клубней картофеля на фракции при сортировании. Существующие сортировальные поверхности не обеспечивают решения этой задачи, и вопрос о создании эффективных рабочих органов остается актуальным.

На отечественных и зарубежных промышленных образцах сортировальных поверхностей разделение клубней по массе производится косвенным путем, то есть используются линейные размеры клубней (ширина, толщина или длина) или комбинация этих размеров.

Основная часть

Поточные линии послеуборочной обработки картофеля содержат сепарирующие и сортировальные поверхности различного типа.

Наиболее широкое распространение получили следующие типы поверхностей: роликовые, транспортерные (ременные, сетчатые), грохотные (решетные), барабанные (ротационные) и комбинированные.

Сортировальную поверхность можно условно разделить на несколько участков, выполняющих разные задачи и различающихся размерными параметрами калибрующих отверстий [1].

Количество участков (K), необходимых для разделения картофеля на фракции, определяется зависимостью:

$$K = n - 1,$$

где n – общее число фракций.

На каждом участке должно происходить разделение клубней на две фракции: более крупные сходят с сортирующего органа (сходящая фракция), а более мелкие проходят через калибрующее отверстие (проходная фракция).

В настоящее время в конструкциях сортировальных поверхностей используют два способа разделения клубней картофеля на фракции – последовательный и параллельный.

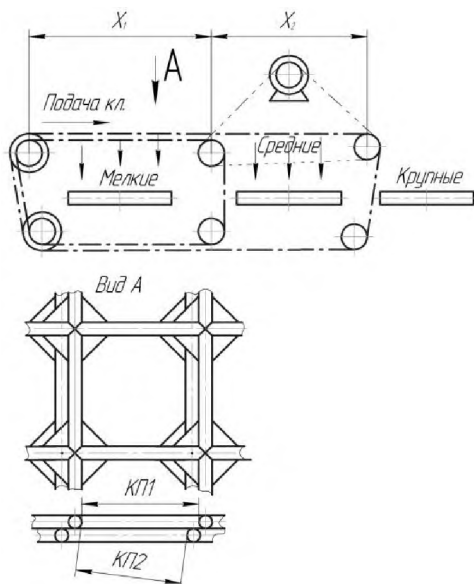
Последовательное разделение применяется в сортировальных машинах с классификаторами транспортерного и роликового типа, а параллельное – в грохотных.

Машины для сортирования по способу подачи вороха подразделяются на два класса: с поточной и поштучной подачей. Способ подачи зависит от признаков, по которым производится разделение на фракции или отделение примесей.

Показателем качества работы сортирующих органов является точность разделения клубней по фракциям и степень повреждения клубней в процессе сортирования.

Известно, что сортирующие рабочие органы транспортерного типа обеспечивают детерминированное и стабильное перемещение продукции, связанное с этим пониженное ее повреждение и сравнительно простую техническую возможность повышения производительности по сравнению с роликовыми, грохотными и барабанными калибрующими поверхностями [1].

На рисунке 96 [2] представлен рабочий орган транспортерного типа, на котором сортирование картофеля на фракции осуществляется за счет изменения калибрующего просвета путем сдвига коаксиальных сдвоенных прутковых полотен с ячейками одинакового размера.



КП1 – калибрующий просвет без сдвига полотен;
КП2 – просвет при сдвиге полотен

Рисунок 96 – Схема рабочего органа транспортерного типа

При движении транспортера сортируемая масса должна пройти через калибрующий просвет соответствующей размерной фракции и поступить на скатный лоток или отводящий транспортер, прежде чем полотно уйдет в зону отделения следующей фракции. Это условие выполнимо, если длина участка сортировального полотна соответствует содержанию данной фракции.

При прохождении через калибрующий просвет клубень должен переместиться вниз до такого уровня, когда его верхняя кромка окажется ниже прутков верхнего полотна. Если он не успеет пройти этот путь, то может оказаться в зоне

следующей фракции или будет поврежден.

Длина участка L выделения фракции в зависимости от скорости движения полотна и времени прохождения клубня через калибрующий просвет определяется выражением:

$$L \geq kVt,$$

где V – скорость движения полотна, $м/с$;

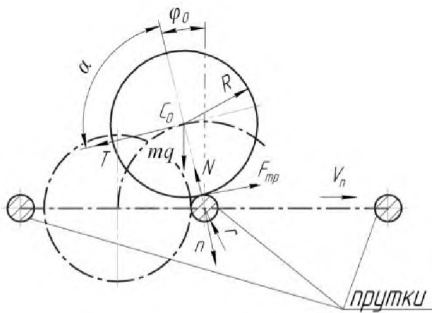
k – коэффициент, учитывающий геометрические параметры клубней, а также условия их движения;

t – время прохождения клубня через калибрующий просвет, $с$.

Время t состоит из времени, необходимого для скатывания клубня (t_1) и свободного падения (t_2) с высоты прутка ($R+r$) (рисунок 97).

Возможны несколько вариантов прохождения клубня через калибрующий просвет. Первый – клубень оказался точно над ним и находится в свободном вертикальном (или почти вертикальном) падении. В этом слу-

чае минимальная длина участка для отделения при перемещении сепарирующего полотна со скоростью 0,3 м/с и при шаге прутков 0,0635 м должна составлять не менее 0,18 м.



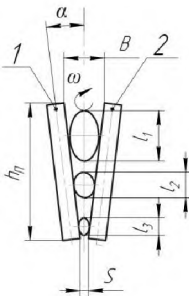
R – радиус клубня;
 r – радиус прутка

Рисунок 97 – Наиболее вероятное расположение клубня относительно прутков перед проходом через калибрующий элемент

В случае если клубень не располагается над отверстием и перемещается по шероховатой поверхности прутка с начальной скоростью, близкой к скорости полотна, то качение без проскальзывания будет продолжаться до тех пор, пока угол α не превысит угол трения между клубнем и прутком.

При $\varphi_0 = 1^\circ$ и начальной скорости перемещения клубня с полотном 0,3 м/с минимальная длина участка для разделения картофеля на фракции должна быть не менее 0,15 м при исходном ряде калибрующих ячеек, равном одному шагу полотна.

На рисунке 98 представлена сепарирующе-сортировальная поверхность с V-образным рабочим органом [3].



1, 2 – прутковые элеваторы;
 B, S – расстояние между прутковыми элеваторами в верхней и нижней частях сортировального устройства;
 l_i – размер клубня по длине в каждой фракции;
 h_n – ширина полотна;
 α – угол наклона пруткового элеватора к оси щели;
 ω – окружная скорость

Рисунок 98 – Схема для определения параметров сортировальной поверхности с V-образным рабочим органом

В основу процесса разделения положен принцип последовательного разделения при одновременном поступательном и вращательном движении картофеля. При этом клубни в рабочем зазоре располагаются попарно в зависимости от размера (диаметра). Количество клубней, находящихся в зазоре, определяется выражением:

$$n = \frac{L_{TP} h_{II} \cos \alpha}{\sum_{i=1}^n t_i},$$

где L_{TP} – длина транспортера, м;

h_{II} – ширина полотна транспортера, м.

Полнота разделения определяется выражением:

$$\eta = 28,996 + 55,188\lambda + 805,6t_{II} + 1,0254\gamma - 15,912\lambda^2 - 201,4t_{II}^2 - 0,01709\gamma^2,$$

где η – полнота разделения, %;

λ – показатель кинематического режима;

t_{II} – шаг прутков транспортера, м;

$\gamma = 2\alpha$ – угол наклона полотен друг к другу.

Максимальная полнота разделения картофеля на фракции достигается при $\lambda = 1,585$; $t_{II} = 0,02$ м и $\gamma = 29,7^\circ$.

Описанные выше сортировальные поверхности не обеспечивают требуемой производительности, так как процесс преодоления клубнями отверстий в направлении, перпендикулярном их осям, носит случайный характер и обусловлен как воздействием вышерасположенных клубнеплодов, так и размерами отверстий и клубнеплодов, а также постоянно меняющейся формой поверхностей клубнеплодов и коэффициентом трения их о сепарирующую поверхность, кроме того, эти поверхности наносят повреждения клубням при защемлении.

В БГАТУ разработана конструкция сортировальной поверхности (рисунок 99) [4], состоящая из двенадцати последовательно расположенных друг за другом роликов, причем первая группа (1–4), по направлению движения корнеплодов, предназначена для выделения почвенных примесей и растительных отходов и имеет навивку в виде эластичных выступов с шагом не менее зазора между поверхностями роликов, при этом направление навивки нечетных роликов противоположно направлению навивки четных.

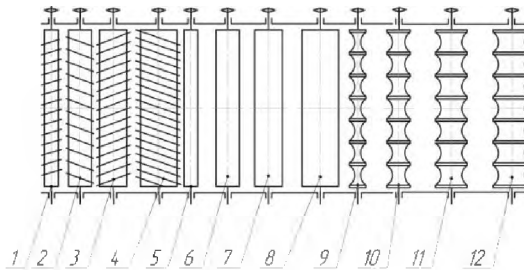


Рисунок 99 – Схема сортировальной поверхности

Вторая группа роликов (4–8) имеет гладкую поверхность, а третья (9–12) предназначена для выделения средней фракции клубнеплодов и выполнена фигурной, при этом первые ролики каждой группы выполнены с одинаковыми минимальными

диаметрами, а минимальные диаметры следующих за ними по направлению движения клубнеплодов роликов последовательно увеличиваются во всех секциях. Крупная фракция сходит с сепарирующей поверхности проходом.

Для исключения защемления клубня между роликами и сопутствующего этому повреждения необходимо, чтобы окружная скорость каждого последующего ролика была больше скорости предыдущего и диаметр последующего ролика D_2 – больше предыдущего D_1 :

$$D_2 = D_1 + \frac{b-c}{2},$$

где b и c – разность толщины и ширины клубней.

При этом минимальный диаметр первого ролика должен обеспечить перемещение клубня на последующие.

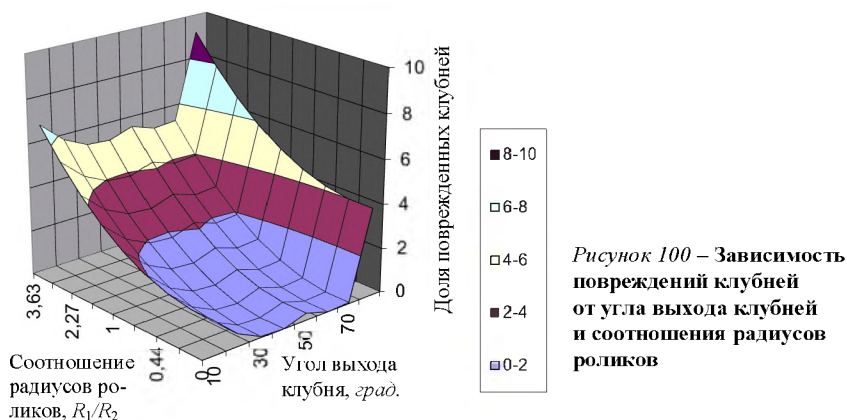
$$D \leq \frac{d \sin \varphi - l}{1 - \sin \varphi},$$

где d – диаметр клубня;

φ – угол трения клубня о ролик;

l – зазор между вальцами.

На рисунке 100 представлена зависимость повреждения клубней картофеля от угла выхода клубней из щели и соотношения радиусов роликов. Для построения зависимости использованы данные, полученные в результате лабораторных экспериментов.



Анализ поверхности отклика, представленной на рисунке 100, показывает, что увеличение соотношения радиусов роликов оказывает большое влияние на долю поврежденных клубней. Угол выхода клубней из щели менее значительно влияет на долю поврежденных клубней.

Выводы

Разработанная конструкция сортировальной поверхности, состоящая из двенадцати последовательно расположенных друг за другом роликов, эффективно удаляет почвенные и растительные примеси, осуществляет сортировку клубней на четыре фракции с минимальными повреждениями, что подтверждено в ходе лабораторных исследований.

24.09.13

Литература

1. Колчин, Н.Н. Комплексы машин и оборудования для послеуборочной обработки картофеля и овощей / Н.Н. Колчин. – М.: Машиностроение, 1982. – 242 с.
2. Поздеев, А.В. Математическая модель сортирования клубней картофеля / А.В. Поздеев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2004. – № 12. – С. 9–11.
3. Доценко, С.М. Обоснование параметров сепарирующе-сортирующего устройства для клубней картофеля / С.М. Доценко, Г.В. Чередов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 4. – С. 30–31.
4. Устройство для сортировки картофеля: пат. № 8261 РБ, А 01D 33/08 / В.Н. Еднач, А.А. Пушилов, Г.А. Радишевский, В.А. Агейчик, Д.И. Комляч, В.В. Поддубицкий; заявитель и патентообладатель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет». – № u20110942; заявл. 23.11.2011; опубл. 30.06.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 3. – С. 195. – 7 с.: ил.

УДК 631.356:005.512

А.Л. Рапинчук,

И.А. Барановский

*(РУП «НПЦ НАН Беларусі по
механізацыі сельскага гаспадарства»,
г. Мінск, Рэспубліка Беларусь)*

**ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ
КИНЕМАТИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО
ПОДКАПЫВАЮЩЕГО
УСТРОЙСТВА КОРНЕПЛОДО-
УБОРОЧНЫХ МАШИН**

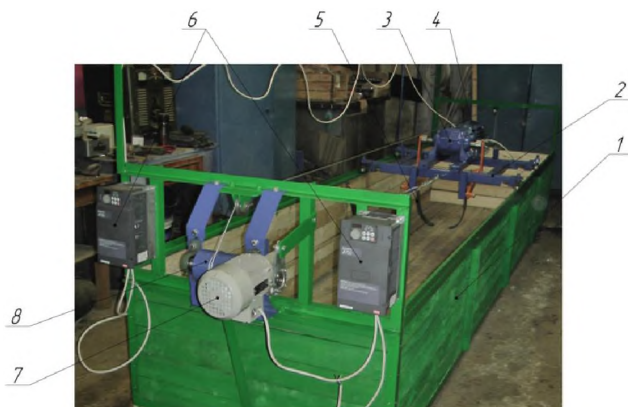
Введение

Одним из путей совершенствования машин для уборки столовых корнеплодов в части повышения качества убираемой продукции является исполнение их подкапывающего рабочего органа в виде скобообразных лап вибрационного действия.

В предлагаемой статье выполнен расчет механизма привода подкапывающего устройства вибрационного действия для уборки столовых корнеплодов.

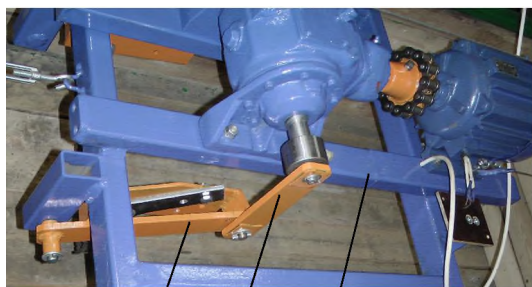
Основная часть

Для установления оптимального режима работы вибрационного подкапывающего рабочего органа (частоты и амплитуды колебания) изготовлена экспериментальная установка, внешний вид которой представлен на рисунке 101.



1 – ящик; 2 – тележка; 3 – редуктор; 4 – электродвигатель; 5 – подкапывающий рабочий орган; 6 – преобразователи частоты; 7 – электродвигатель привода тележки; 8 – барабан привода тележки

Рисунок 101 – Внешний вид экспериментальной установки



1 – рычаг горизонтальный; 2 – рычаг вертикальный; 3 – эксцентрик

Рисунок 102 – Привод подкапывающего устройства

Механизм привода подкапывающих рабочих органов (два рычага и эксцентрик) (рисунок 102) представляет собой базисный четырехзвенный механизм $OABD$, включающий неподвижную стойку DO и ведущее звено кривошипа OA (рисунок 103).

Определяем класс исследуемого механизма.

Класс механизма определяется внешним классом группы плоских механизмов (по Л.В. Ассур [1]), входящей в состав механизма.

Формула строения механизма $I(0; 1) \rightarrow II(2; 3)$.

Таким образом, данный механизм относится к механизму II класса II порядка, обладающего одной степенью свободы.

Частота колебаний рабочей поверхности носка лапы (M) будет определяться угловой скоростью ω кривошипа OA .

Исходя из рисунка 103, амплитуда колебаний (A_k) носка лапы (M), зависящая от длины кривошипа OA и отношения DC/CB , определяется по формуле:

$$A_x = B_1 B_2 \cdot \frac{DC}{CB} \quad (1)$$

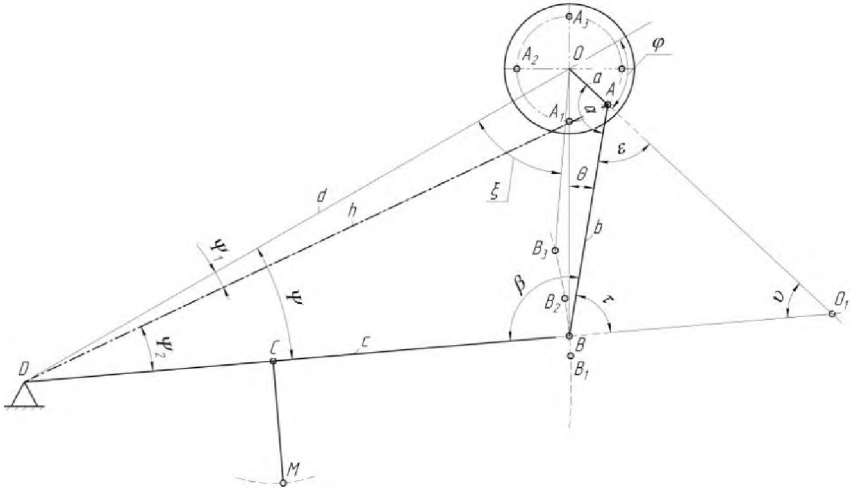


Рисунок 103 – К кинематическому анализу механизма привода подкапывающих рабочих органов

Найдем выражение для дуги $B_1 B_2$.

Из $\triangle B_1 O B_2$ хорда $B_1 B_2$, соответствующая угловому ходу $\angle B_2 D B_1$, определяется:

$$(B_1 B_2)^2 = 2(a^2 + b^2) + 2(a^2 - b^2) \cos \theta, \quad (2)$$

где a – длина кривошипа OA , м;

b – длина звена AB , м;

θ – угол между звеном AB в двух крайних положениях точки B , град.

Найдем угол θ . Из $\triangle O D B_2$

$$\cos \xi = \frac{d^2 + (b-a)^2 - c^2}{2d(b-a)},$$

где d – длина неподвижного звена DO , м;

c – длина звена DB , м.

Из $\triangle O D B$ находим:

$$\cos(\xi + \theta) = \frac{d^2 + (b+a)^2 - c^2}{2d(b+a)},$$

Приведем пример расчета, зная исходные данные: $a = (0,004 \text{ м}; 0,006 \text{ м}; 0,008 \text{ м}; 0,01 \text{ м})$, $b = 0,18 \text{ м}$; $c = 0,28 \text{ м}$; $d = 0,385 \text{ м}$.

Определяем: $\xi = 1,09^\circ$, $(\xi + \theta) = 1,28^\circ$. Отсюда $\theta = 0,19^\circ$.

Ввиду малой величины угла θ в выражении (2) $\cos\theta$ принимаем равным 1, после чего выражение (2) примет вид:

$$B_1B_2 = \sqrt{2(a^2 + b^2) + 2(a^2 - b^2)} = 2a. \quad (3)$$

Далее из $\triangle B_2DB_1$ по трем сторонам определяем угол $\angle B_2DB_1$:

$$\cos \angle B_2DB_1 = \frac{2c^2 - (B_1B_2)^2}{2c^2},$$

откуда

$$\angle B_2DB_1 = \arccos\left(1 - \frac{(B_1B_2)^2}{2c^2}\right).$$

Подставив в это выражение значение B_1B_2 из (3), будем иметь:

$$\angle B_2DB_1 = \arccos\left(1 - \frac{2a^2}{c^2}\right). \quad (4)$$

Как известно, длина дуги, опирающаяся на центральный угол, определяется по формуле:

$$B_1B_2 = \frac{\pi \cdot c \cdot \angle B_2DB_1}{180^\circ}.$$

Подставив в это выражение значение угла B_2DB_1 из (4) и перенеся его в выражение (1), определим амплитуду колебаний лапы CM :

$$A_\kappa = \frac{\pi \cdot c \cdot \arccos\left(1 - \frac{2a^2}{c^2}\right)}{180^\circ} \cdot \frac{DC}{CB}. \quad (5)$$

Остальные величины, определяющие амплитуду в этом выражении, при работе установки на различных режимах остаются постоянными, кроме кривошипа.

По полученным данным построен график изменения амплитуды колебания от величины эксцентриситета (рисунок 104).

Таким образом, выведенное уравнение (5) дает возможность определять значение амплитуды колебания подкапывающей лапы при различных расстояниях кривошипа.

Для нахождения скорости и ускорения носка лапы точки M воспользуемся следующими соображениями: так как кривошип OA (рисунок 103) вращается с постоянной угловой скоростью ω , то скорость точки A определится:

$$V_A = \omega \cdot a.$$

Тогда угловая скорость звена AB будет равна:

$$\omega_{AB} = \frac{V_A}{O_1A},$$

где ω_{AB} – угловая скорость звена AB вокруг мгновенного центра вращения (МЦВ), c^{-1} ;

O_1A – расстояние от МЦВ до точки A , м.

A_n , мм

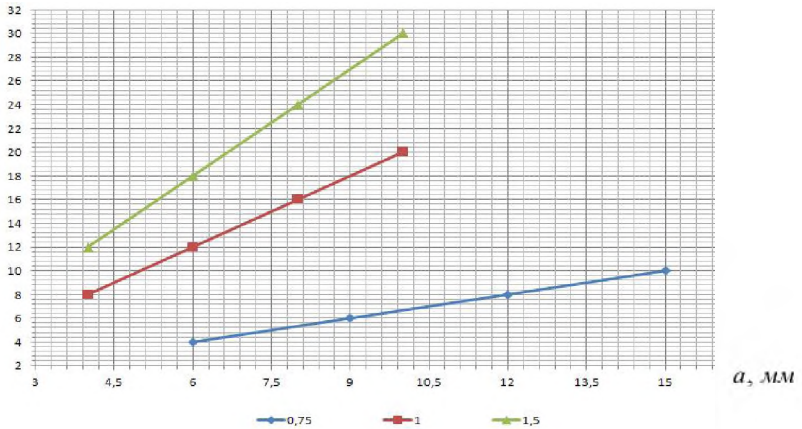


Рисунок 104 – Характер изменения амплитуды колебания от величины эксцентриситета для различных значений $\frac{DC}{CB} = 0,75; 1,0; 1,5$

Тогда скорость точки B будет равна:

$$V_B = \omega_{AB} \cdot \overrightarrow{O_1B} = V_A \cdot \frac{\overrightarrow{O_1B}}{O_1A},$$

где O_1B – расстояние от МЦВ до точки B , м.

Угловая скорость звена BD :

$$\omega_{BD} = \frac{V_B}{DB} = V_A \cdot \frac{\overrightarrow{O_1B}}{O_1A} \cdot \frac{1}{DB}.$$

Скорость точки C :

$$V_C = \omega_{BD} \cdot \overrightarrow{CD} = V_A \cdot \frac{\overrightarrow{O_1B}}{O_1A} \cdot \frac{\overrightarrow{CD}}{DB}.$$

Скорость точки M :

$$V_M = \omega_{BD} \cdot \overrightarrow{CM} = V_A \cdot \frac{\overrightarrow{O_1B}}{O_1A} \cdot \frac{\overrightarrow{CD}}{DB} \cdot \frac{CM}{CB},$$

$$V_M = V_A \cdot \frac{\overrightarrow{O_1B}}{O_1A} \cdot \frac{\overrightarrow{CD}}{DB} \cdot \frac{CM}{CB}.$$

Из $\angle ABO_1$ (рисунок 103) отношение $\frac{\overrightarrow{O_1B}}{O_1A}$ определяется по теореме

синусов:

$$\frac{\sin \angle BAO_1}{\sin \angle ABO_1} = \frac{\overrightarrow{O_1B}}{\overrightarrow{O_1A}} = \frac{\sin \varepsilon}{\sin \tau}.$$

Таким образом, скорость точки M определяется выражением:

$$V_M = V_A \cdot \frac{\sin \varepsilon}{\sin \tau} \cdot \frac{\overrightarrow{CD}}{\overrightarrow{DB}} \cdot \frac{CM}{CB}. \quad (6)$$

Для установления зависимости между углом поворота кривошипа и углами $\angle BAO_1$ и $\angle ABO_1$ обозначим (рисунок 103):

φ – угол поворота кривошипа, град.;

α – угол между кривошипом и шатуном, град.;

β – угол между звеном BD и шатуном, град.;

ψ – угол между звеном DB и стойкой OD , град.

Соединив точку A с D прямой AD и обозначив ее длину через h , из $\triangle ADO$ найдем:

$$h^2 = d^2 + a^2 - 2ad \cdot \cos(\pi - \varphi) = d^2 + a^2 + 2ad \cdot \cos \varphi. \quad (7)$$

С другой стороны, из $\triangle ABD$

$$h^2 = c^2 + b^2 - 2bc \cdot \cos \beta. \quad (8)$$

Из этих двух равенств найдем угол β как функцию угла φ :

$$c^2 + b^2 - 2bc \cdot \cos \beta = d^2 + a^2 + 2ad \cdot \cos \varphi;$$

$$\cos \beta = \frac{c^2 + b^2 - d^2 - a^2}{2bc} - \frac{ad}{bc} \cdot \cos \varphi.$$

Обозначив через

$$K_1 = \frac{c^2 + b^2 - d^2 - a^2}{2bc}; \quad K_2 = \frac{ad}{bc},$$

получим:

$$\cos \beta = K_1 - K_2 \cos \varphi, \quad (9)$$

откуда

$$\beta = \arccos(K_1 - K_2 \cos \varphi).$$

Для определения угла ψ предварительно найдем вспомогательные углы ψ_1 и ψ_2 .

Из $\triangle ADO$ имеем:

$$\frac{a}{h} = \frac{\sin \psi_1}{\sin(\pi - \varphi)},$$

откуда

$$\sin \psi_1 = \frac{a}{h} \sin \varphi. \quad (10)$$

Но из уравнения (7) имеем:

$$h = \sqrt{d^2 + a^2 + 2ad \cdot \cos \varphi}.$$

Обозначив

$$K_3 = d^2 + a^2; \quad K_4 = 2ad$$

и подставив значение h в уравнение (10), имеем:

$$\sin \psi_1 = \frac{a \cdot \sin \varphi}{\sqrt{K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi}},$$

откуда

$$\psi_1 = \arcsin \frac{a \cdot \sin \varphi}{\sqrt{K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi}}.$$

Далее, из $\triangle BAD$ имеем:

$$\begin{aligned} \frac{b}{h} &= \frac{\sin \psi_2}{\sin \beta}; \\ \sin \psi_2 &= \frac{b}{h} \cdot \sin \beta = \frac{b \cdot \sin \beta}{\sqrt{K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi}}. \end{aligned} \quad (11)$$

С другой стороны, из уравнения (9) имеем:

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta} = \sqrt{1 - (K_1 - K_2 \cos \varphi)^2}.$$

Подставив найденное значение $\sin \beta$ в уравнение (11), получим:

$$\begin{aligned} \sin \psi_2 &= \frac{b \sqrt{1 - (K_1 - K_2 \cdot \cos \varphi)^2}}{\sqrt{K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi}}; \\ \psi_2 &= \arcsin \frac{b \sqrt{1 - (K_1 - K_2 \cdot \cos \varphi)^2}}{\sqrt{K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi}}. \end{aligned}$$

Из рисунка 103 находим $\psi = \psi_1 + \psi_2$.

$$\psi = \arcsin \frac{a \cdot \sin \varphi}{\sqrt{K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi}} + \arcsin \frac{b \sqrt{1 - (K_1 - K_2 \cdot \cos \varphi)^2}}{\sqrt{K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi}}. \quad (12)$$

Угол α может быть определен из уравнения:

$$\alpha = [360^\circ - (180^\circ - \varphi) - \beta - \psi] = 180^\circ + \varphi - \beta - \psi.$$

Подставив значение соответствующих углов, имеем:

$$\begin{aligned} \alpha &= (180^\circ + \varphi) - \arccos(K_1 - K_2 \cos \varphi) - \arcsin \frac{a \cdot \sin \varphi}{\sqrt{K_3 + K_4 \cos \varphi}} - \\ &- \arcsin \frac{b \sqrt{1 - (K_1 - K_2 \cdot \cos \varphi)^2}}{\sqrt{K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi}}. \end{aligned} \quad (13)$$

Таким образом, получим значение углов α , β , ψ в функции угла поворота φ ведущего звена-кривошипа OA . Из рисунка 103 видно, что угол $\varepsilon = (180^\circ - \alpha)$, а $\tau = (180^\circ - \beta)$, следовательно, уравнение (6) примет вид:

$$V_M = V_A \cdot \frac{\sin(180^\circ - \alpha)}{\sin(180^\circ - \beta)} \cdot \frac{CD}{DB} \cdot \frac{CM}{CB};$$

обозначив

$$\frac{\overline{CD}}{DB} \cdot \frac{CM}{CB} \cdot V_A = \Phi,$$

$$V_M = \Phi \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}. \quad (14)$$

Подставив в это выражение значение углов α и $\sin \beta$ из уравнений (13) и (9), получим уравнение скорости движения носка подкапывающей лапы.

$$V_M = \Phi \cdot \frac{\sin \left[(180^\circ + \varphi) - \arccos(K_1 - K_2 \cos \varphi) - \arcsin \frac{a \cdot \sin \varphi}{\sqrt{K_3 + K_4 \cos \varphi}} - \arcsin \frac{b \sqrt{1 - (K_1 - K_2 \cdot \cos \varphi)^2}}{\sqrt{K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi}} \right]}{\sqrt{1 - (K_1 - K_2 \cdot \cos \varphi)^2}}.$$

Ускорение a_M носка подкапывающей лапы будет найдено в результате дифференцирования уравнения (14) скорости V_M по времени.

Учитывая, что $\varphi' = \omega$, получим:

$$a_M = \frac{dV_M}{dt} = \Phi \cdot \frac{\sin \beta \cdot \cos \alpha \cdot \alpha' - \sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot \beta'}{\sin^2 \beta} =$$

$$= \Phi \cdot \frac{\sqrt{1 - (K_1 - K_2 \cdot \cos \varphi)^2} \cdot (\omega - \psi_1' - \psi_2' - \beta') \cdot \cos \alpha - (K_1 - K_2 \cdot \cos \varphi) \cdot \beta' \cdot \sin \alpha}{1 - (K_1 - K_2 \cdot \cos \varphi)^2},$$

где α определяется формулой (13);

$$\beta' = \frac{d\beta}{dt} = [\arccos(K_1 - K_2 \cos \varphi)]' = - \frac{(K_1 - K_2 \cos \varphi)'}{\sqrt{1 - (K_1 - K_2 \cos \varphi)^2}} = \frac{K_2 \cdot \omega \cdot \sin \varphi}{\sqrt{1 - (K_1 - K_2 \cos \varphi)^2}};$$

$$\psi_1' = \frac{d\psi_1}{dt} = \left[\arcsin \frac{a \cdot \sin \varphi}{\sqrt{K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi}} \right]' = \frac{\left[\frac{a \cdot \sin \varphi}{\sqrt{K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi}} \right]'}{\sqrt{1 - \frac{a^2 \cdot \sin^2 \varphi}{K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi}}} =$$

$$= \frac{a \cdot \omega \cdot (2K_3 \cdot \cos \varphi + K_4 \cdot \cos^2 \varphi + K_4)}{2 \cdot (K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi) \cdot \sqrt{K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi - a^2 \cdot \sin^2 \varphi}};$$

$$\psi_2' = \frac{d\psi_2}{dt} = \left[\arcsin \frac{b \cdot \sqrt{1 - (K_1 - K_2 \cdot \cos \varphi)^2}}{\sqrt{K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi}} \right]' = \frac{\left[\frac{b \cdot \sqrt{1 - (K_1 - K_2 \cdot \cos \varphi)^2}}{\sqrt{K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi}} \right]'}{\sqrt{1 - \frac{b^2 \cdot [1 - (K_1 - K_2 \cdot \cos \varphi)^2]}{K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi}}} =$$

$$= \frac{b \omega \sin \varphi \{ 2K_2 \cdot (K_1 - K_2 \cdot \cos \varphi)(K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi) + K_4 \cdot [1 - (K_1 - K_2 \cdot \cos \varphi)^2] \}}{2(K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi) \sqrt{1 - (K_1 - K_2 \cdot \cos \varphi)^2} \sqrt{K_3 + K_4 \cdot \cos \varphi - b^2 [1 - (K_1 - K_2 \cdot \cos \varphi)^2]}}.$$

Заключение

Выражения (5) и (6) с математической точки зрения объясняют физическую сущность тех явлений и процессов, которые происходят с подкапывающей лапой при включении вибратора. В дальнейшем они будут использованы при обосновании параметров и расчете основных режимов работы подкапывающей лапы.

19.08.13

Литература

1. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1988. – 640 с.

УДК 677.051.38

**Ю.Ф. Лачуга, М.М. Ковалев,
А.П. Апыхин**

(ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства Российской академии сельскохозяйственных наук», г.Тверь, Российская Федерация)

В.П. Чебогарев, В.М. Изюитко

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

**СОСТОЯНИЕ И
ПЕРСПЕКТИВЫ
РАЗРАБОТКИ
ТЕХНОЛОГИИ И
ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ОДНОТИПНОГО
ЛЬНОВОЛОКНА**

Введение

Актуальной проблемой в области первичной обработки льняной тресты является модернизация технологии и оборудования с целью расширения сфер применения льноволокна, повышения производительности труда, снижения энергопотребления, капитальных вложений и эксплуатационных расходов.

Одним из перспективных направлений решения этой проблемы является разработка технологии и оборудования для получения *однотипного неориентированного волокна и однотипного волокна в ленте*. Однотипное волокно может быть использовано для широкого ассортимента полуфабрикатов и готовых изделий: тканей бытового назначения (простыней, скатертей, гардинных тканей, полотенец и др.), а также модифицированного волокна, пробивных и прошивных нетканых материалов, объемных утеплителей, технической и медицинской ваты и др. При этом в ряду изделий из однотипного волокна приоритетны ткани бытового назначения, так как в условиях ухудшающейся экологической обстановки «здоровая» одежда приобретает первостепенное значение.

Цель исследований заключалась в проведении анализа конструктивно-технологических схем линий обескостривания льносырья для

получения однотипного льноволокна из низкосортной льнотресты, отходов трепания и в разработке модернизированной технологической линии обескостривания таких продуктов с определением ее технико-экономических показателей.

Условия, материалы и методы

В условиях рыночной системы хозяйствования обеспечение конкурентоспособности льняного комплекса является основной задачей. Эту задачу в значительной степени можно решить, реализовав направление, связанное с расширением сфер применения льноволокна путем получения однотипного льноволокна. Особо актуальным является направление, связанное с получением однотипного льноволокна из тресты низких номеров (0,5; 0,75), переработка которой по существующей раздельной технологии с получением длинного и короткого волокна нерентабельна из-за низкой производительности, высоких цен на оборудование и энергоносители и малого процента выхода длинного волокна.

Работы по получению однотипного льноволокна были начаты в СССР и Западной Европе в 70-х годах прошлого века [1]. В это время технико-экономическое обоснование внедрения технологии переработки низкосортной тресты с получением неориентированного однотипного волокна путем сравнительного прядения волокна, полученного по раздельной технологии и технологии получения однотипного волокна, было сделано Центральным научно-исследовательским институтом промышленности лубяных волокон (ЦНИИЛВ, г. Москва).

В настоящее время работы по получению однотипного льноволокна проводятся в Российской Федерации и в Украине [2].

В процессе работы использовались необходимые литературные источники, льноссырье, отходы трепания, машины и оборудование для обескостривания.

При проведении исследований использовались системный анализ, экспериментальные исследования, сравнительные испытания и экономические расчеты.

Результаты и обсуждение

При выполнении технико-экономического обоснования в ЦНИИЛВ технология получения однотипного льноволокна базировалась на использовании куделеприготовительного агрегата КПМЛ-2М, которому был присущ ряд недостатков. Поэтому Псковским специальным конструкторским бюро по лубяным волокнам (СКБЛВ) была разработана КД, а ПО «Псковмаш» – изготовлен опытный образец агрегата АВОЛ, установленного на Славковском льнозаводе Псковской области. Однако из-за конструктивных недостатков и отсутствия сырьевой базы производственные испытания агрегата АВОЛ не были завершены.

Одновременно с технологией получения однотипного неориентированного волокна псковской экспериментальной лабораторией разрабатывались технология и оборудование для получения однотипной лубяной ленты из льносолумы. Для этого на Стремуткинском льнозаводе с цехом мочки льносолумы была смонтирована экспериментальная поточная линия. Совместно с ЦНИИЛВ были решены вопросы слоеформирования, мятъя, трепания, лентоформирования, что легло в основу создания опытного образца поточной линии ПЛЛ-1, а затем и ПЛЛ-2, техническая характеристика которой приводится в [3]. Линия имела производительность по пропуску соломы 500...700 кг/ч влажностью 12...13 %, с выходом лубяной ленты 20 %, и эксплуатировалась до 1990 г. Показатели качества ленты отвечали требованиям ТУ 17 РСФСР-6675-74.

Линия включала три агрегата. На первом агрегате получали сыровую лубяную ленту, на втором производилось выравнивание и обескостривание однотипной ленты, на третьем – утонение, параллелизация и укладка готовой лубяной ленты в пачки. Полученная лента перерабатывалась на Великолукском льнокомбинате. Пряжа № 14,7 (68 *текс*) и № 17,9 (56 *текс*) использовалась для выработки тканей бытового назначения.

По результатам эксплуатации поточной линии ПЛЛ-2 ПО «Псковмаш» был изготовлен и установлен на Великолукском льнозаводе Псковской области головной образец установочной серии.

В это же время СКБЛВ разработало, а ПО «Псковмаш» изготовило опытный образец поточной линии ЛКВ для переработки тресты низких номеров в однотипное неориентированное волокно, затем установленной на Ельнинском льнозаводе Смоленской области.

Учитывая, что процесс обескостривания льняной соломы и льняной тресты подчиняется общим закономерностям и включает операции сушки, слоеформирования, мятъя, трепания, трясения, то в линии ЛКВ ее первый агрегат во многом повторил технологические и конструктивные решения, заложенные в линии ПЛЛ-2. Второй агрегат содержал тряильную машину типа ТГ-135Л и линию по прессованию короткого волокна ЛПК.

Однако доводочные и пусконаладочные работы и головного образца установочной серии линии ПЛЛ-2, и линии ЛКВ не были завершены вследствие финансового кризиса 90-х годов XX века.

Анализируя опыт создания оборудования для получения однотипного неориентированного волокна, следует отметить, что в основу разработок было положено существующее оборудование (КПМЛ-2М, ПЛЛ-2), технологически не безупречное, с низким КПД, громоздкое и энергоемкое. В настоящее время и наука, и практика пополнились новыми знаниями по обескостриванию волокнистого продукта. Как известно, схема любого процесса механической обработки волокнистой массы определяется структурой обрабатываемого потока, видом и по-

следовательностью выполнения технологических операций, количеством воздействий и их интенсивностью.

До недавнего времени схема обескостривания льносырья была избыточна и включала последовательно выполняемые технологические операции: слоеформирование → мятье → трепание → трясение. Причем процесс трепания осуществлялся с применением несовершенного узла трепания, неудовлетворительная работа которого из-за частых забивок волокна в питающих вальцах, намоток на трепальные и отбойные барабаны явилась основной причиной, сдерживающей повышение производительности. Не было объективных данных о степени обескостривания волокнистой массы по переходам технологического процесса, а значит, и об эффективности применения тех или иных технологических операций. Совершенствование технологического процесса получения короткого волокна проводилось в два этапа. Была предложена новая технологическая схема узла трепания [4], реализованная в конструкции куделе-приготовительного агрегата КПАЛ. Исследованиями во ВНИИМЛ [5] было установлено, что технологический процесс обескостривания в КПАЛе построен нерационально, так как поступающая в мяльную машину волокнистая масса содержит крупные фракции насыпной костры (таблица 27).

Таблица 27 – Изменение массовой доли костры и сорных примесей в отходах трепания по переходам технологического процесса в агрегате КПАЛ

Наименование	Массовая доля костры и сорных примесей, %				% удаления костры
	общее	насыпная костра	присущая костра	сорные примеси	
Колковый питатель	46,2	10,5	28,9		–
Мяльная машина	42,7	16,6	22,2	1,6	3,5
Трепальная часть	38	14,4	22	1,6	4,7
Трясильная часть (6 верхних и 14 нижних игольчатых валиков)	21,3	4,9	14,2	2,2	1,7

Эти фракции не следует измельчать, их необходимо вывести из зоны обработки, так как удаление мелких костринок затруднено и приводит к повреждению волокон. При наличии 19 пар мяльных вальцов в агрегате КПАЛ низкая эффективность мятья. Применение трясильной машины с верхним расположением игольчатых валиков неэффективно, при этом из-за высокой скорости игольчатого транспортера и работы игольчатых валиков в разных фазах происходит зажгучивание волокна, в результате чего теряется его прочность и уменьшается штапельность.

Для устранения указанных недостатков была предложена новая технологическая схема получения однотипного волокна, включающая

операции слоеформирования → трепания → мятя → трепания → переформирования потока → трясения. Принципиальное отличие предложенной технологии обработки заключается в изменении последовательности выполнения технологических операций и применении двух трепальных секций, то есть в увеличении количества воздействий при одновременном уменьшении их интенсивности, а также в использовании механизма переформирования слоя, обеспечивающего распрямление и параллелизацию волокон, уменьшение весовой неравноты слоя и заостренности. Количество мыльных пар сокращено с 19 до 9.

Указанная технологическая схема получения неориентированного однотипного волокна была апробирована (без узла переформирования) на модернизированном агрегате КПАЛ, установленном на Порховском льнозаводе Псковской области.

Влажность перерабатываемых отходов трепания на КПАЛе была 6,9...8,4 %, а на модернизированном агрегате она составила 9,3...10,2 %. Результаты сравнительных испытаний представлены в таблицах 28 и 29.

Таблица 28 – Изменение содержания костры по переходам технологического процесса в агрегате КПАЛ при переработке отходов трепания из тресты с повышенной засоренностью

Наименование частей агрегата КПАЛ	Засоренность тресты (%):					
	15			24		
	Содержание костры (%):					
	общее	насыпной + примеси	присущенной	общее	насыпной + примеси	присущенной
Колковый питатель	42	15,3	26,7	48,3	19,6	28,7
Мыльная часть	38,3	–	–	41,4	–	–
Трепальная часть	31,4	–	–	36,4	–	–
Трясильная часть с верхними игольчатыми валиками	28,9	–	–	29,1	–	–
Трясильная часть с нижними игольчатыми валиками	27	8,5	18,5	27,8	12,5	15,3
Абсолютное удаление костры, %	15	6,8	8,2	20,5	7,2	13,4

Абсолютное удаление костры и сорняков по переходам технологического процесса для сравниваемых вариантов показано в таблице 30.

Проведенные исследования и производственная проверка оборудования показали следующее:

- эффективность обескостривания при использовании новой технологической схемы получения короткого волокна возросла в среднем на 6 %, в том числе присушистой костры удалено на 5 % больше;

Таблица 29 – Изменение содержания костры по переходам технологического процесса модернизированного агрегата КПАЛ при переработке отходов трепания из тресты с повышенной засоренностью

Наименование частей модернизированного КПАЛ	Засоренность тресты (%):					
	15			25		
	общее	насыпной + примеси	присущенной	общее	насыпной + примеси	присущенной
Колковый питатель	48,4	15,1	33,3	53,1	22,6	30,5
Первая трепальная часть	43,1	–	–	47,1	–	–
Мяльная часть	38,1	–	–	42,6	–	–
Вторая трепальная часть	31,9	–	–	33	–	–
Трясильная часть с верхними игольчатыми валиками	31	–	–	32	–	–
Трясильная часть с нижними игольчатыми валиками	26,6	8,6	18	27,5	13,3	14,2
Абсолютное удаление костры, %	21,8	6,5	15,3	25,6	9,3	16,3

Таблица 30 – Абсолютное удаление костры по переходам технологического процесса агрегата КПАЛ и модернизированного агрегата КПАЛ

Наименование переходов	КПАЛ		Модernизированный КПАЛ	
	Засоренность тресты (%)			
	15	24	15	25
	Абсолютное удаление костры и примесей (%)			
Первая трепальная секция	–	–	5,3	6
Мяльная часть:				
агрегат КПАЛ (19 пар мяльных вальцов)	3,7	6,9		
модernизированный агрегат КПАЛ (9 пар)			5	4,5
Вторая трепальная секция	–	–	6,4	9,6
Трепальная секция КПАЛ	6,9	5	–	–
Трясильная секция с верхними игольчатыми валиками	2,5	7,3	0,7	1,0
Трясильная часть с нижними игольчатыми валиками	1,9	1,3	4,4	4,5
Абсолютное удаление костры	15	20,3	21,8	25,6

- эффективность обескостривания в мяльной части агрегата КПАЛ и модернизированного агрегата оказалась адекватной и составила соответственно 5,3 и 4,8 %;

- применение в составе модернизированного агрегата двух трепальных секций эффективно. Суммарное обескостривание в зависимости от засоренности тресты составило от 11,7 до 15,6 %;

- применение в модернизированном агрегате трясыльной части с верхним расположением игольчатых валиков оказалось малоэффективным. Обескостривание не превысило 1 %;

- внедрение новой технологической схемы обработки позволяет перерабатывать отходы трепания влажностью до 10 % и засоренностью тресты до 25 % с возможностью гибкого регулирования процесса трепания.

С учетом этого во ВНИИМЛ были разработаны исходные требования модернизации куделеприготовительного агрегата КПАЛ, а ПО «Псковмаш» разработало КД и изготовило опытный образец модернизированного куделеприготовительного агрегата КПАЛ-И. Агрегат включает по ходу технологического процесса: первую трясыльную секцию типа ТГ-135Л → колковый питатель → первую трепальную секцию → двухсекционную мяльную машину (12 пар вальцов) → вторую трепальную секцию → механизм деления слоя → вторую трясыльную секцию типа ТГ-135Л.

Производственные испытания агрегата КПАЛ-И в сравнении с КПАЛ проводились на Рославльском льнозаводе Смоленской области.

В результате установлено:

- производительность агрегата КПАЛ-И составила 380 кг волокна в час, что на 25 % выше производительности агрегата КПАЛ;

- коэффициент технического использования (КТИ) – высокий и составил 0,95;

- номер короткого волокна повышается на 0,3;

- заостренность волокна снижается на 3 % (*абс.*);

- прочность полученного волокна возрастает на 22 %.

По результатам производственных испытаний ОАО «Псковмаш» приступил к серийному выпуску агрегата КПАЛ-И. Только в Республику Беларусь поставлено 13 таких машин.

Создание агрегата КПАЛ-И обеспечивает технологическую и конструктивную основу для разработки технологии и линии по переработке низкосортной тресты в однотипное неориентированное волокно.

Рассматривая процесс получения однотипного неориентированного волокна с точки зрения экономической эффективности, можно констатировать, что с учетом создания экономичной сушильной машины и современных достижений по оптимизации процесса обескостривания его внедрение целесообразно.

Выводы

1. В результате исследований предложена модернизированная технологическая схема линии для получения однотипного льноволокна, основное отличие которой от существующих заключается в изменении последовательности выполнения технологических операций и применении в ней двух трепальных секций.

2. Для комплектования линии могут быть использованы созданные во ВНИИМЛ новые машины и оборудование: сушильная машина СКПЦ-1Л, слоеформирующий механизм СПЛ-2, мяльная машина ММФ-1Л и куделеприготовительный агрегат КПАЛ-И.

3. Применение модернизированной технологической схемы линии для получения однотипного льноволокна при переработке тресты № 0,75 и производительности 900 кг/ч обеспечит расчетный экономический эффект шесть миллионов рублей в год. При этом в сравнении с известными линиями производительность оборудования возрастет в 1,4...1,6 раза, труда – в 1,7...2,0 раза; установленная мощность двигателей уменьшится в 2,0...2,4 раза, расход теплоносителя – в 2,0...2,2 раза, а капитальные вложения снизятся в 1,8...2,0 раза.

20.09.13

Литература

1. Успенский, В.К. Вопросы переработки льна во Франции / В.К. Успенский, В.И. Лобанов, Л.Н. Гинзбург. – М.: ЦНИИ информации, 1970. – 77 с.
2. Гилязетдинов, Р.Н. К вопросу производства льна без разделения его на длинное и короткое / Р.Н. Гилязетдинов, С.П. Коробченко // Повышение конкурентоспособности льняного комплекса России в современных условиях: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Вологда, 25 февраля 2009 г. – Вологда–Тверь, 2009. – С. 142–145.
3. Хромцов, В.Н. Справочник по заводской первичной обработке льна / В.Н. Хромцов. – М.: Легпищепром, 1984. – 510 с.
4. Устройство для обработки лубоволокнистого материала: а.с. № 983155 СССР, МПК ЗД01В1/10 / А.П. Апыхин, А.С. Дербенев, И.Н. Левитский, А.А. Федоров, Ф.А. Ицков, А.И. Чепусенко, О.А. Куликовский. – № 3229422/28-12; заявл. 31.12.1980; опубл. 23.12.1982. – Бюл. № 47. – 2 с.
5. Ковалев, М.М. Совершенствование технологии и оборудования для получения короткого волокна из льняной тресты / М.М. Ковалев, А.П. Апыхин, В.Ю. Молофеев // Повышение конкурентоспособности льняного комплекса России в современных условиях: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Вологда, 25 февраля 2009 г. – Вологда–Тверь, 2009. – С. 128–135.

УДК 631.363.284

С.Ф. Лойко, А.Н. Перепечаев
(РУП «НПЦ НАН Беларуси по
механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)

М.Н. Трибуналов
(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ПРЕСС-ПОДБОРЩИКОВ ОТНОСИТЕЛЬНО ЛЕНТЫ ЛЬНОТРЕСТЫ

Введение

Применение пресс-подборщиков на заготовке льнотресты позволило полностью механизировать процесс уборки льна, что, в свою очередь, существенно снизило затраты труда.

Заготовка льнотресты в рулоны производится с использованием прицепных и самоходных машин. Парк самоходных пресс-подборщиков в хозяйствах республики составляет около 10 %. Основным фактором их незначительного применения является высокая стоимость, влекущая за собой ощутимые амортизационные издержки в себестоимости эксплуатационных затрат. В то же время одним из значимых показателей при агротехнической оценке работы подборщиков является растянутость стеблей в ленте и рулоне. Данный показатель оказывает непосредственное влияние на выход длинного льноволокна при переработке льнотресты на стационарных линиях. Увеличение растянутости снижает выход длинного волокна, и наоборот.

Растянутость стеблей в ленте и в последующем в рулоне зависит от ряда факторов, значительное место среди которых занимает точность наведения подбирающего механизма на ленту, которая, в свою очередь, зависит от траектории движения машины относительно ленты.

Для изучения влияния типа пресс-подборщика на растянутость стеблей в ленте и рулоне были проведены исследования траекторий движения агрегата.

Основная часть

С целью определения траектории движения прицепного и самоходных пресс-подборщиков был произведен 61 замер отклонения ленты от прямой и отклонения движения пресс-подборщика от прямолинейного движения в заданных точках [1]. Для исследований использовались пресс-подборщики самоходные «Depoortere» и «Dehondt», прицепной – ПРЛ-150(А).

После обработки предварительных данных были получены величины отклонения при перемещении подбирающего механизма по ленте льнотресты. Полученные результаты сгруппированы в таблицу 31 в соответствующих интервалах (с точностью до 10 см).

Таблица 31 – Группировка отклонений при перемещении подбирающего механизма по ленте льнотресты

Показатель	Интервал, см					
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60
Число замеров в интервале, n_i	1	5	7	21	23	4
Расчетное число $N_i = P_i k \dots$	1,64	8,2	11,48	34,43	37,7	6,56
$(n - N)^2 / N$	0,25	1,25	1,75	5,24	5,73	1,00

Примечание – k – число разрядов; n_i и N_i – соответственно статическое и расчетное числа попаданий замеров в рассматриваемый интервал.

На рисунке 105 показано распределение отклонений движения пресс-подборщика ПРЛ-150 от ленты льна.

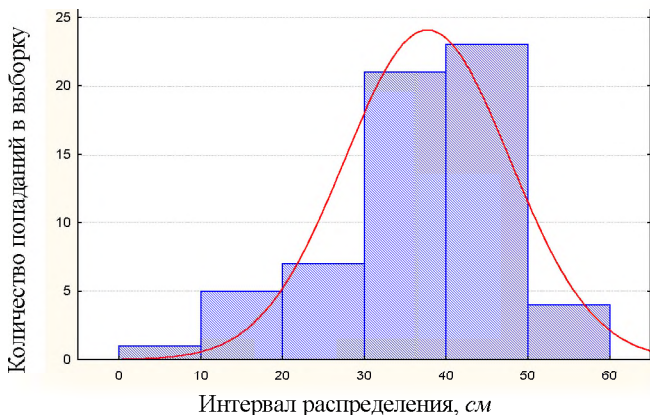


Рисунок 105 – Распределение отклонений движения пресс-подборщика ПРЛ-150 от ленты льна

Среднее арифметическое значение опытных данных $\bar{x} = 38,35$ см, а среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (n_i - 1) \bar{\sigma}_i^2 + \sum n_i (\bar{x}_i - \bar{X}_\Sigma)^2}{\sum n_i - 1}}$$

где x_i – граница i -го разряда;

\bar{X}_Σ – среднее суммарное;

$$\bar{\sigma} = 10,12 \text{ см.}$$

С помощью критерия Пирсона проверим гипотезу о нормальном характере распределения рассматриваемой выборки. Теоретические вероятности попадания размеров в соответствующие интервалы находим по формуле:

$$P_i = \Phi\left(\frac{x_{i+1} - m}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{x_i - m}{\sigma}\right),$$

где Φ – нормальная функция распределения;

x_{i+1} – граница i -го разряда;

m – математическое ожидание [2].

Для первого разряда граничные значения

$$t_1 = (0 - 38,35) / 10,12 = -3,79;$$

$$t_2 = (10 - 38,35) / 10,12 = -2,84.$$

Следовательно, $P_1 = \Phi(t_2) - \Phi(t_1) = 0,027$, расчетное число попаданий замеров в первый разряд $N_1 = P_1 N_0 = 0,027 \cdot 61 = 1,64$. Расчетные числа для других интервалов занесены в таблицу 31.

Для данного случая вероятность $P = 0,3$, что больше 0,1 – гипотеза распределения по нормальному закону правдоподобна.

При определении доверительных интервалов математических ожиданий и дисперсий число степеней свободы $\nu = k_0 - 1 = 8 - 1 = 7$. Тогда при коэффициенте степени риска $\alpha = 0,05$ по формуле:

$$\bar{x} - t_{1-\alpha/2} \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}} < \Delta x < \bar{x} + t_{1-\alpha/2} \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}}$$

для дисперсии

$$\frac{\bar{\sigma}^2 \nu}{x_{1-\alpha/2}^2} < \sigma^2 < \frac{\bar{\sigma}^2 \nu}{x_{\alpha/2}^2}$$

получим: $35,13 < m < 40,31$ см и $8,83 < \sigma < 11,41$ см.

Таким образом, средняя ширина отклонения движения транспортера от валка с надежностью 0,95 находится в пределах от 35,13 до 40,31 см. Отклонение дисперсии – в пределах от 8,83 до 11,41 см.

Аналогичные расчеты были произведены для самоходных подборщиков фирм «Depoortere» и «Dehondt». Графики распределения отклонений для данных пресс-подборщиков приведены на рисунках 106 и 107.

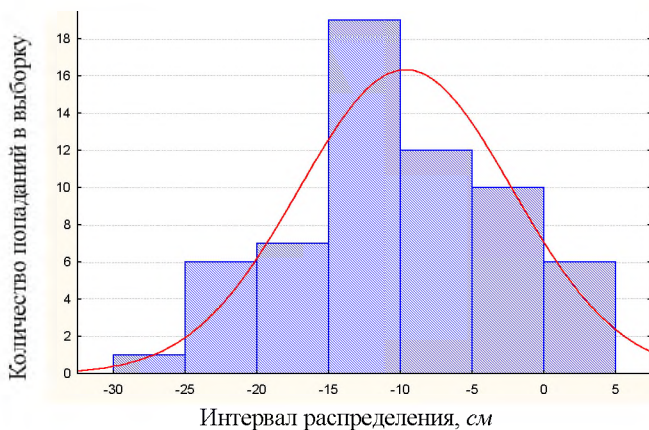


Рисунок 106 – Распределение отклонений движения пресс-подборщика «Depoortere» от ленты льна

Среднее арифметическое значение опытных данных $\bar{x} = -9,62$ см, а среднее квадратическое отклонение $\sigma = 7,74$ см.

Средняя ширина отклонения для «Depoortere» находится в пределах $-11,53 < m < -9,62$ см. Отклонение дисперсии $6,49 < \sigma < 8,39$ см.

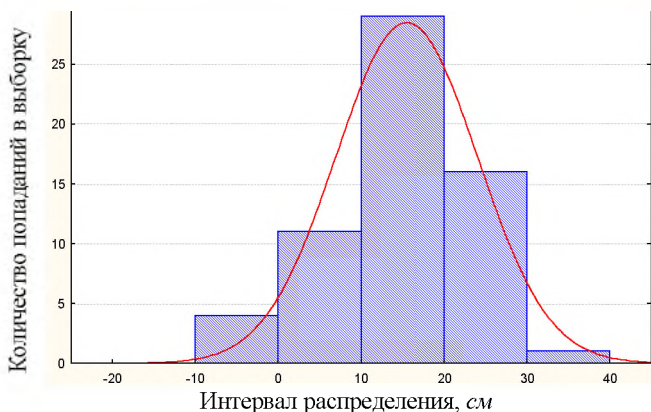


Рисунок 107 – Распределение отклонений движения пресс-подборщика «Dehondt» от ленты льна

Среднее арифметическое значение опытных данных $\bar{x} = 15,5$ см, а среднее квадратическое отклонение $\sigma = 8,54$ см.

Средняя ширина отклонения для «Dehondt» находится в пределах $13,3 < m < 17,7$ см. Отклонение дисперсии $7,45 < \sigma < 9,63$ см.

Выводы

Приведенные расчеты показывают, что наименьшее отклонение от края ленты льна имеют пресс-подборщики «Depoortere» и «Dehondt». Колебание отклонений от края ленты находилось в пределах от 9,62 до 11,53 и от 13,3 до 17,7 см соответственно. При этом диапазон отклонений для прицепного пресс-подборщика ПРЛ-150 составил от 35,13 до 40,31 см. Максимальные значения неравномерности достигали 56 см (ПРЛ-150), 26 см («Depoortere») и 27 см («Dehondt»).

Самоходные пресс-подборщики позволяют наилучшим образом производить подбор лент льна, что в дальнейшем будет положительно сказываться на выходе длинного волокна при обработке.

11.09.13

Литература

1. Венцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Венцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
2. Красовский, Г.И. Планирование эксперимента / Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов. – Минск: Изд-во БГУ им. В.И. Ленина, 1982. – 304 с.

УДК 631.358

**М.М. Ковалев,
Р.А. Ростовцев, Д.Ю. Лачуга**

(ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства Российской академии сельскохозяйственных наук», г.Тверь, Российская Федерация)

**В.П. Чебогарев,
А.Н. Перепечаев, С.Ф. Лойко**

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗБРАСЫВАНИЯ ОТСЕПАРИРОВАННОГО ЛЬНОВОРОХА

Введение

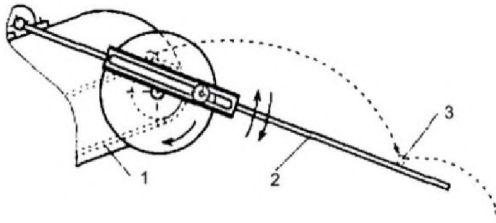
В технологической схеме послеуборочной обработки льновороха самым ответственным звеном является досушивание, так как, прежде всего, от влажности материала зависят сохранность и изменение семенных свойств досушиваемого материала. Высокая влажность приводит к большим энергозатратам на досушивание. Льняной ворох, доставляемый с поля от льнокомбайнов, неоднороден по составу и влажности. Содержание путанины в его массе достигает 40 % и более. Свойства льняного вороха затрудняют механизацию его загрузки как в тракторные прицепы в поле, так и в противоточные карусельные сушилки.

Основная часть

Для распределения сыпучих материалов сегодня применяют различные устройства. В противоточной карусельной сушилке СКМ-1 – это транспортер-раздатчик, совершающий возвратно-поступательные движения от периферии сушильной камеры к ее центру и наоборот [1]. Недостаток такого устройства – конструктивная сложность, материалоемкость и энергоемкость.

Другое направление распределения сыпучих материалов – разбрасыватели различных типов, лишенные указанных недостатков. Их принцип действия основан на том, что материал первоначально попадает на определенную рабочую поверхность устройства, которая изменяет свое положение или форму во времени и пространстве. При взаимодействии рабочей поверхности с частицами материала последние меняют траекторию своего движения в зависимости от кинематики и формы поверхности рабочего органа. Качественная работа устройства распределения материала такого типа возможна только при правильном выборе параметров и режимов. Для этого требуется установка общих зависимостей движения материала и его взаимодействия с рабочей поверхностью устройства.

В качестве примера рассмотрим устройство для распределения отсепарированного льновороха (рисунок 108), которое выполнено в виде кулисного механизма и установлено на выходной части транспортера-раздатчика или транспортера льновороха комбайна. Рабочим органом выступает кулиса, которая, совершая движение, взаимодействует с потоком материала, изменяя его траекторию. Задачей, выполняемой таким устройством, является равномерное распределение льновороха в сушильной камере или тракторном прицепе.



- 1 – транспортер;
- 2 – рабочая поверхность;
- 3 – частица материала

Рисунок 108 – Схема устройства распределения льновороха

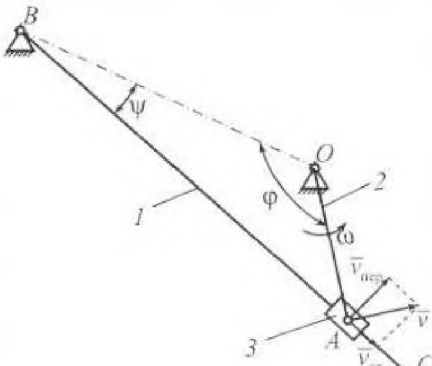
Первоначально необходимо установить кинематические зависимости между его звеньями. В представленном механизме кривошип OA (рисунок 109) шарнирно соединен с ползуном, скользящим вдоль кулисы BC и заставляющим последнюю качаться относительно оси B . Расстояние оси B от центра вращения кривошипа равно OB .

Абсолютная скорость ползуна, равная скорости \bar{v} точки A кривошипа OA :

$$v = \varphi \cdot I_{OA},$$

где φ – угол поворота кривошипа OA ;

I_{OA} – длина кривошипа OA .



- 1 – кулиса; 2 – кривошип; 3 – ползун
- Рисунок 109 – Схема устройства распределения льновороха*

Разложим данную скорость на составляющие из относительной скорости $\bar{v}_{от}$ скольжения ползуна вдоль кулисы и переносной скорости $\bar{v}_{пер}$, равной скорости той точки кулисы, с которой в этот момент времени совпадает ползун.

Из рисунка 109 видно, что $\angle OAB = 180^\circ - \varphi - \psi$, где ψ – угол поворота кулисы BC [2].

Произведя необходимые преобразования, с учетом того, что $\varphi = \omega t$, получим уравнение

изменения угла качения кулисы:

$$\psi = \arctg(\operatorname{tg} 0,5\omega t) + \frac{I_{CA}^2 - I_{CB}^2}{\left[(I_{OA} - I_{OB})^2 (I_{OA} + I_{OB})^2 \right]^{0,5}} \times \\ \times \arctg \frac{(I_{OA} + I_{OB})^2 \operatorname{tg} 0,5\omega t}{\left[(I_{OA} - I_{OB})^2 (I_{OA} + I_{OB})^2 \right]^{0,5}} + \psi_0,$$

где I_{OB} – расстояние от центра O вращения кривошипа до центра B вращения кулисы;

ψ_0 – сдвиг фаз.

Скорость, ускорение и перемещение любой точки C_i кулисы будут соответственно равны:

$$V_{B,C} = \psi \cdot I, \quad a_{C_i} = \frac{dV_{C_i}}{dt}, \quad S_{C_i} = \int_0^t V_{C_i} dt.$$

Частицы материала сходят с транспортера с начальной скоростью V_0 , равной скорости V_{mp} ремня транспортера, после чего происходит их свободный полет и соударение с рабочим органом. Пусть скорость $V_{цм}$ центра масс каждой частицы в начале удара образует с нормалью n к направляющей поверхности угол α , а скорость u_i в конце удара – угол β . Если пренебречь трением, то при соударении частиц с рабочим органом удар происходит только по направлению нормали n , и его суммарная скорость V_1 будет складываться из проекции скорости $V_{цм}$ частицы на нормаль, проведенную к рабочему органу, и скорости V_{C1} рабочего органа [3] (рисунок 110).

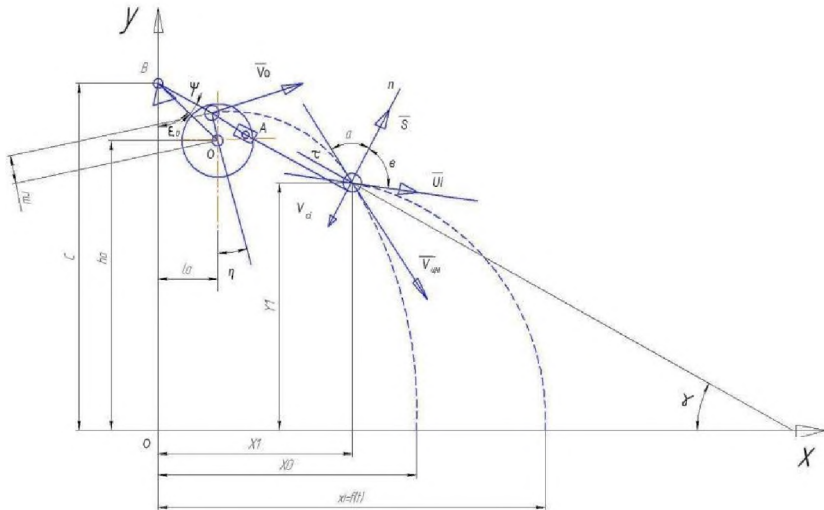


Рисунок 110 – Схема к определению дальности полета частицы материала

Определим траекторию частиц материала при сходе с транспортера. При этом будем рассматривать их как материальные точки массой m . Сопротивлением воздуха и колебаниями, возникающими во время работы механизма, пренебрегаем. Также будем считать, что во время полета частицы материала не взаимодействуют между собой. В итоге определение траектории движения частиц материала сводится к определению траектории отдельно взятой частицы.

Введем систему координат, в которой будет рассматриваться процесс. В принятой системе координат ось oy ординат проведем через точку B качения кулисы, а ось ox абсцисс расположим в плоскости, проходящей через oy и вектор \vec{v}_0 таким образом, чтобы она лежала в плоскости, по которой распределяется материал. Тогда угол между вектором \vec{v}_0 и осью ox будет равен η .

На движущуюся частицу в произвольном положении действует только сила тяжести \vec{P} , проекции которой на координатные оси равны:

$$P_x = 0; P_y = -P = -mg,$$

где g – ускорение свободного падения.

Начальные условия имеют следующий вид:

при $t = 0; x = l_0 - r_{uw} \sin \eta; y = h_0 - r_{uw} \cos \eta; v_x = v_0 \cos \eta; v_y = v_0 \sin \eta,$

где l_0, h_0 – координаты центра вращения кривошипа OA и вальца транспортера;

r_{uw} – радиус вальца транспортера с учетом толщины ленты.

Удовлетворяя начальным условиям, получим:

$$C_1 = v_0 \cos \eta; C_2 = v_0 \sin \eta.$$

Подставим эти значения в найденные ранее решения, заменив v_x на dx/dt и так далее, придем к уравнениям:

$$\frac{dx}{dt} = v_0 \cos \eta; \quad \frac{dy}{dt} = v_0 \sin \eta - gt. \quad (1)$$

Интегрируя выражение (1), найдем:

$$x = v_0 t \cos \eta + C_3; \quad y = v_0 t \sin \eta - gt^2/2 + C_4.$$

Подстановка начальных данных дает $C_3 = l_0 - r_{uw} \sin \eta, C_4 = l_0 + r_{uw} \cos \eta$, и окончательно находим уравнения движения частиц в виде:

$$\left. \begin{aligned} x &= v_0 t \cos \eta + l_0 - r_{uw} \sin \eta; \\ y &= v_0 t \sin \eta - gt^2/2 + h_0 + r_{uw} \cos \eta. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Исключив из выражений (2) время t , получим уравнение траектории частиц в плоскости oxy :

$$y = (x - l_0 + r_{uw} \sin \eta) \tan \eta - \frac{g(x - l_0 + r_{uw} \sin \eta)^2}{2v_0^2 \cos^2 \eta} + h_0 + r_{uw} \cos \eta.$$

Это уравнение параболы с осью, параллельной оси ou .

При работе устройства с изменением угла ψ угол γ также будет изменяться. Из рисунка 110 видно:

$$\gamma = 90 - (\xi_0 + \psi),$$

где ξ – угол наклона OB к оси ou .

Тогда

$$tg\gamma = tg[90 - (\psi + \xi_0)], \text{ или } tg\gamma = 1 / tg(\xi_0 + \psi).$$

С учетом изложенного уравнение, характеризующее местоположение рабочего органа в каждый момент времени в данной системе координат, будет иметь вид:

$$y = -\frac{x}{tg(\xi_0 + \psi)} + c.$$

В дальнейшем, определив скорость движения частицы в момент соударения $v_{цм}$ и начальную скорость u_i , зная угол $\xi = \xi_0 + \psi - \beta$, найдем уравнение траектории полета частицы после соударения с направляющей плоскостью:

$$y_1 = (x_1 - X_1)tg\xi - \frac{g(x_1 - X_1)^2}{2|u_1|^2 \cos^2 \xi} + Y_1,$$

где X_1 и Y_1 – координаты точки.

Или с учетом $\xi = \xi_0 + \psi - \beta$:

$$y_1 = (x_1 - X_1)tg(\xi_0 + \psi - \beta) - \frac{g(x_1 - X_1)^2}{2|u_1|^2 \cos^2 \xi} + Y_1, \quad (3)$$

приравняв уравнение нулю и выразив x_1 ;

$$x_{1,2} = \frac{gX_1 + |u_1|^2 \sin(\beta - \xi_0 - \psi) \cos(\beta - \xi_0 - \psi)}{g} \pm \frac{\left[|u_1|^2 \cos^2(\beta - \xi_0 - \psi) \left[|u_1|^2 \sin^2(\beta - \xi_0 - \psi) + 2gY_1 \right]^{0.5} \right]}{g}.$$

Два значения x соответствуют двум точкам пересечения параболы (3) с осью OX . В нашем случае физический смысл имеет только первое, так как частица движется, согласно рисунку 110, по параболе в правую сторону.

Рассмотрим работу устройства для распределения сыпучего материала на примере отсепарированного льяного вороха, состоящего, в основном, из семенных коробочек, при его загрузке в сушильную камеру либо в тракторный прицеп.

Наибольший интерес представляет поведение семенных коробочек после соударения с рабочим органом. Коробочки характеризуются достаточно высоким коэффициентом восстановления (k_d), что делает их полет малопредсказуемым. Среднее значение коэффициента для коробо-

чек в фазе зеленой спелости составляет 0,48, желтой – 0,41, бурой – 0,31 [4].

Свободных семян в ворохе относительно немного (2...7 %) [1]. Ввиду своей малой массы они обладают небольшими ударным импульсом и дальностью полета после соударения, быстро теряют энергию. В связи с этим начальную скорость полета свободных семян после контакта с рабочим органом можно принять равной его скорости. В случае неотсепарированного льновороха при попадании путанины и сорняков на рабочий орган происходит совершенно неупругий удар, что объясняется их формой и характером взаимодействия. Начальная скорость их полета после контакта также равна скорости рабочего органа.

Выводы

В результате исследований разработан алгоритм нахождения параметров и режимов работы устройства для распределения сыпучих материалов при разбрасывании и определены параметры устройства для распределения льновороха, выполненного в виде кулисного механизма.

18.09.13

Литература

1. Зеленко, В.И. Послеуборочная обработка льновороха (рекомендации) / В.И. Зеленко. – Торжок, 1988. – 41 с.
2. Пособие по математике для поступающих в ВУЗы / А.Д. Кутасов [и др.]; под ред. Г.Н. Яковлева. – М.: Наука, 1982. – 607 с.
3. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики: учеб. для втузов / С.М. Тарг. – 11-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 1995. – 416 с.: ил.
4. Черников, В.Г. Очищающие аппараты льноуборочных машин (теория, конструкция, расчет): монография / В.Г. Черников, С.Г. Порфирьев, Р.А. Ростовцев. – М.: Изд-во ВИМ, 2004. – 240 с.

УДК 631.626.2

**А.Н. Басаревский, С.П. Кострома,
И.Е. Мажугин**

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

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ
ЭКСКАВАТОРА-
ДРЕНОУКЛАДЧИКА
С ЛАЗЕРНЫМ
УКЛОНОМЕРОМ ЭТЦ-203**

Введение

Мелиорация является важным фактором интенсификации сельскохозяйственного производства и научно-технического прогресса в сельском хозяйстве. На мелиорированных землях производится более трети растениеводческой продукции.

В Республике Беларусь мелиорированные земли составляют около 6 млн га, из них около 3,4 млн га – земли, подвергнутые осушению, в числе которых польдерные – 250 тыс. га, охваченные осушительно-увлажнительными системами – свыше 700 тыс. га, орошаемые земли – около 100 тыс. га. При этом значительная часть ранее мелиорированных земель из-за неправильного использования пришла в состояние, требующее повторной мелиорации.

В условиях длительной эксплуатации мелиорированных земель значительно ухудшилось их состояние. Из-за заиления, размыва, обрушения откосов каналов, зарастания их травяной и древесной растительностью выходят из строя мелиоративные системы, дренажные линии, насосно-силовое оборудование, что ведет к повторному заболачиванию и изменению состояния поверхности почвы. Вследствие нерационального использования торфяных почв и возникновения эрозионных процессов на них сократилась мощность торфяной залежи, происходит интенсивная минерализация, что снижает плодородие почв. В то же время из-за недостаточной технической обеспеченности специализированных организаций машинами и оборудованием для проведения мелиоративных работ значительно ухудшилось культуротехническое и гидротехническое состояние мелиорированных земель. Поэтому основной задачей по сохранению и восстановлению мелиорированных земель Республики Беларусь является проведение работ по реконструкции и восстановлению мелиоративных систем и ремонтно-эксплуатационных работ, комплекса агро-мелиоративных мероприятий, совершенствование мелиоративного земледелия и луговодства.

Для решения этих и других задач разработана республиканская программа «Сохранение и использование мелиорированных земель на 2006–2010 годы», утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 5 мая 2005 года № 459 [1]. В соответствии с этой программой разработана Система машин на 2008–2015 годы для комплексной механизации мелиоративных работ [2].

Согласно принятым документам, одним из важнейших мелиоративных процессов в условиях Республики Беларусь является строительство закрытых дренажных систем. Так, в Систему машин [2] включен экскаватор-дреноукладчик ЭТЦ-2011. Российской Системой машин [3] предусмотрено применение приемлемого для условий Беларуси экскаватора-дреноукладчика ЭТЦ-2012. Однако выпуск первого экскаватора-дреноукладчика прекращен около 20 лет тому назад, а выпуск второго не налажен. В связи с этим была поставлена задача: разработать и внедрить дреноукладочную машину, которая обеспечит значительный рост производительности труда, повышение качества мелиоративных работ, а также повышение продуктивности сельскохозяйственных культур.

Основная часть

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан экскаватор-дреноукладчик с лазерным уклономером ЭТЦ-203, который изготовлен в ОАО «Кохановский экскаваторный завод».

Экскаватор-дреноукладчик с лазерным уклономером ЭТЦ-203, общий вид которого представлен на рисунке 111, предназначен для строительства закрытого горизонтального трубчатого дренажа и состоит из рамы 1, тележек 2, силового агрегата 3, рабочего органа 4, трубоукладчика 5, подкабинника 6, кабины оператора 7, транспортера 8, барабана 9, пилы 10, нивелира 11, электрооборудования 12, гидрооборудования 13.



Рисунок 111 – Общий вид экскаватора-дреноукладчика с лазерным уклономером ЭТЦ-203

Рабочий процесс экскаватора-дреноукладчика заключается в следующем: в начале работы ковшовый рабочий орган при помощи гидроцилиндров опускается вниз на грунт, после чего приводится в движение посредством гидромотора и заглубляется в грунт при минимальной скорости передвижения экскаватора. Движущиеся ковши при этом разрабатывают грунт, забирают его и поднимают вверх. Здесь ковши опрокидываются, грунт из них высыпается и попадает на поперечный ленточный транспортер, который перемещает извлеченный грунт в сторону от рабочего органа. После заглубления рабочего органа на заданную глубину ускоряется рабочий ход экскаватора-дреноукладчика и прокапывается траншея длиной, несколько превышающей длину трубоукладчика. Затем с помощью гидроцилиндра трубоукладчик опускается на дно траншеи. Далее производится прокладка трубы.

При укладке пластмассового дренажа трубу из бухты, установленную на барабане, пропускают над кабиной экскаватора и далее через направляющий желобок трубоукладчика – в траншею. Трубу соединяют

с коллектором и удерживают с помощью вилочного инструмента от сдвигания относительно коллектора до тех пор, пока она не будет присыпана гумусным слоем грунта.



Рисунок 112 – Общий вид лазерного уклономера

Уклон дна траншеи задается автоматически при помощи лазерного уклономера (рисунок 112), включающего в себя лазерный указатель с источником питания, фоточувствительный датчик с механизмом навески и блок обработки команд (далее – БВК).

Лазерный указатель вместе с аккумуляторной батареей устанавливается сзади по ходу экскаватора и служит для задания нужной глубины и уклона дрены. Фоточувствительный датчик навешивается посредством специальной навески на стойку рабочего органа и служит для приема луча и пере-

дачи сигнала к БВК, который устанавливается в кабине экскаватора и подключается к его электрической системе. БВК в автоматическом режиме дает команды на выглубление или заглубление рабочего органа.

Экскаватор-дреноукладчик перемещается на новую дрену после укладки трубы до конца траншеи. Гидропривод трансмиссии обеспечивает бесступенчатое регулирование скорости рабочего хода экскаватор-дреноукладчика.

Особенностью разработанного экскаватора-дреноукладчика с лазерным уклономером ЭТЦ-203 является возможность укладывать дренаж не только из пластмассовых труб, но и керамических (см. техническую характеристику в таблице 32).

Государственные приемочные испытания экскаватора-дреноукладчика проводились в ГУП «Узденская ПМС» Минской области на строительстве закрытого дренажа из пластмассовых труб (рисунок 113). В ходе приемочных испытаний определялись функциональные, эксплуатационно-технологические показатели, а также показатели энергопотребления и технической надежности экскаватора-дреноукладчика.

В ходе испытаний при определении функциональных показателей получены следующие результаты: ширина траншеи по дну составила 0,5 м (по ТЗ не более 0,5 м); рабочая скорость передвижения на торфянике, подстилаемом кварцевым песком, при глубине траншеи 1,1 м составила 0,150 км/ч (по ТЗ 0,014–0,90 км/ч); обеспечиваемый уклон траншеи составил 0,002 (по ТЗ 0,002–0,020).

Таблица 32 – Техническая характеристика экскаватора-дренукладчика с лазерным уклономером ЭТЦ-203

Наименование	Значение
Тип	траншейный цепной гусеничный
Двигатель	Д-245
Мощность насосной установки, номинальная, кВт	60 ± 2
Масса эксплуатационная экскаватора, кг	не более 14000
Транспортная скорость, км/ч	не более 4,7
Рабочая скорость, км/ч	0,014–0,390
Номинальная частота вращения двигателя, об./мин.	2200
Скорость передвижения рабочих органов, м/с	
– цепь ковшовая	0,74–1,24
– ленточный транспортер	3,01–4,51
Диаметр укладываемых труб, мм:	
– керамических	50–150
– пластмассовых	50–110
Точность позиционирования трубоукладчика, мм	10 ± 5
Удельное давление на грунт экскаватора, кПа	не более 35
Габаритные размеры в транспортном положении, м:	
– длина	не более 13,7
– ширина	не более 2,94
– высота	не более 3,3
Система выдерживания заданного уклона дна траншеи (наличие и вид)	Автоматическая с помощью лазерного уклономера
Угол поперечной статической устойчивости, не менее	30°
Минимальный радиус поворота в транспортном положении, м	не более 8,0
Преодолеваемый уклон твердого сухого пути	не менее 12°
Дорожный просвет, мм	не менее 425
Ширина гусеницы, мм	не более 600
Тип привода рабочих органов	Гидравлический
Напряжение в электросистеме, В	24
Давление в гидросистеме экскаватора, ограничиваемое предохранительным клапаном, МПа	не более 32
Обслуживающий персонал, чел.	
– машинист-экскаваторщик	1
– дренмастер	1
Эксплуатационно-технологические коэффициенты:	
– коэффициент использования сменного времени	не менее 0,7
– коэффициент использования эксплуатационного времени	не менее 0,6
– коэффициент надежности технологического процесса	не менее 1,0



Рисунок 113 – Экскаватор-дреноукладчик с лазерным уклономером ЭТЦ-203 на приемочных испытаниях

При энергетической оценке получены следующие результаты: расход топлива за основное время работы на строительстве закрытого дренажа из пластмассовых труб составил 13 кг; коэффициент использования мощности двигателя – 70 %.

В процессе приемочных испытаний проводилась сравнительная эксплуатационная технологическая оценка экскаватора-дреноукладчика с лазерным уклономером ЭТЦ-203 с экскаватором-дреноукладчиком Drainage Trencher 20/15 на строительстве закрытого горизонтального трубчатого дренажа.

Удельный расход топлива экскаватора-дреноукладчика ЭТЦ-203 составил 86,67 кг/км, в то время как у экскаватора-дреноукладчика Drainage Trencher 20/15 – 102,3 кг/км; конструктивная масса экскаватора-дреноукладчика ЭТЦ-203 – 13500 кг, экскаватора-дреноукладчика Drainage Trencher 20/15 – 17000 кг [4].

Таким образом, за период испытаний экскаватора-дреноукладчика с лазерным уклономером ЭТЦ-203 общая наработка составила 320 часов, отказов не зафиксировано. При оценке надежности получены следующие показатели: ежесменное оперативное время технического обслуживания – 0,22 ч; удельная суммарная оперативная трудоемкость технических обслуживаний – 0,033 чел.-ч/ч; коэффициент готовности – 1,0. Приведенные данные подтверждают высокую эффективность выполнения технологического процесса строительства закрытого дренажа из пластмассовых труб.

На основании результатов приемочных испытаний ИЦ ГУ «Белорусская МИС» рекомендовано поставить на производство экскаватор-дреноукладчик с лазерным уклономером ЭТЦ-203.

Заключение

1. Для строительства закрытого горизонтального дренажа разработан экскаватор-дреноукладчик с лазерным уклономером ЭТЦ-203 с активным широкотраншейным рабочим органом, являющийся первой машиной такого класса, выпущенной в Беларуси.

2. Приемочными испытаниями определены фактические значения показателей экскаватора-дреноукладчика с лазерным уклономером ЭТЦ-203 и установлено, что опытный образец соответствует ТЗ по функциональным показателям, удельному расходу топлива, показателям надежности и безопасности. Рекомендована постановка экскаватора-дреноукладчика на производство.

3. Экскаватор-дреноукладчик с лазерным уклономером ЭТЦ-203 не уступает по производительности и показателям назначения ведущим фирмам-изготовителям мелиоративной техники. Особенностью представленной разработки является наличие сменного оборудования, которое позволяет укладывать как керамические, так и пластмассовые трубы.

12.07.13

Литература

1. Республиканская программа «Сохранение и использование мелиорированных земель на 2006–2010 годы», утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 5 мая 2005 года № 459.: офиц. изд. – Минск, 2006.
2. Система машин на 2008–2015 годы для комплексной механизации мелиоративных работ / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2008. – 42 с.
3. Федеральные регистры базовых и зональных технологий и технических средств для мелиоративных работ в сельскохозяйственном производстве России до 2010 г. – М.: ФГМУ «Росинформагротех», 2003. – 120 с.
4. Протокол № И 025 (169)Б 1/1–2012 приемочных испытаний экскаватора-дреноукладчика с лазерным уклономером ЭТЦ-203 / ИЦ ГУ «Белорусская МИС». – Привольный, 2012.

УДК 631.331.022

А.Н. Юрин, А.А. Лях
(РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)

В.М. Резвинский, А.Д. Кузнецов
(РУП «Минский тракторный завод»,
г. Минск, Республика Беларусь)

**АГРЕГАТ САМОХОДНЫЙ
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АСУ-6
ДЛЯ УБОРКИ ПЛОДОВ
И ОБРЕЗКИ ДЕРЕВЬЕВ
В САДАХ ИНТЕНСИВНОГО
ТИПА**

Введение

В обеспечении населения республики продуктами питания особое место отводится плодоводству. В настоящий момент в сельскохозяйственных организациях республики имеется около 13 тыс. гектаров садов

интенсивного типа [1]. Кроме того, в текущей пятилетке по программе развития плодоводства планируется посадка интенсивных садов на площади около 8 тыс. га. Таким образом, к концу пятилетки в республике будет около 21 тыс. га интенсивных садов.

В то же время на одного жителя Беларуси производится только 30 кг плодов и ягод при научно обоснованной медицинской норме 80 кг. В результате республика ежегодно импортирует от 30 до 60 тыс. тонн свежих яблок, груш, ягод на сумму 8–16 млн долларов США.

Основная часть

Уборка плодов – заключительная и решающая операция в общем плане работ по их выращиванию, которая во многом определяет качественные и количественные показатели производимой продукции и экономики отрасли в целом. По трудоемкости уборка семечковых плодов составляет от 40 до 60 % затрачиваемого на выращивание ручного труда. В настоящее время в республике эти технологические операции выполняются вручную. Для сбора плодов используются плодосборные сумки с отстегивающимся дном емкостью 8 и 12 кг. Сумки, наполненные плодами, опустошают в контейнеры, размещенные на контейнеровозе [2]. Такая технология уборки требует больших затрат труда, которые составляют 140–210 чел.-ч./га при урожайности 20–30 т/га, или 2,94–4,41 млн чел.-ч. по республике. На оплату этой работы потребуется 9–13 млрд руб. Уборка урожая в садах носит сезонный характер и обычно создает напряженность в этот период в садоводческих хозяйствах. Даже в специализированных хозяйствах до 50–80 % работающих на уборке составляют привлеченные неквалифицированные рабочие. Именно по этой причине, а также в связи с применением несовершенных орудий производства объем продукции высшей категории снижается на 15–20 % и более.

Существует способ механизированной уборки плодов семечковых и косточковых культур с применением уборочных комбайнов вибрационного принципа действия – МПУ-1А, ВУМ-5А и КПУ-2, при котором комбайн производит стряхивание, улавливание в тентовую площадку для сбора, очистку и затаривание плодов в контейнеры, устанавливаемые на специальной площадке. После заполнения контейнер остается в междурядье сада для последующей его транспортировки [3].

Применение таких машин позволило обеспечить высокий уровень производительности (производительность уборки за час основного времени – до 60 деревьев) и качества уборки (полнота съема – 97 %, полнота улавливания – 96 %). При этом производительность труда по сравнению с ручным трудом возросла более чем в 12 раз.

Однако такие комбайны применяются для уборки плодов с сильно-рослых деревьев со схемами посадки 6×3, 4×3 метра и более. Примене-

ние этих машин приводило к значительному повреждению плодов (более 30 % плодов оказывались поврежденными и непригодными для длительного хранения) и уменьшению доли десертной продукции, вследствие чего такие машины не могут использоваться в интенсивных садах.

В последнее десятилетие за рубежом все больше создается универсальных плодуборочных платформ различного типа, способных обеспечивать производительность сборщика 250–350 кг/ч (увеличение производительности в 2,5–3,5 раза по сравнению с ручным трудом) и снижение прямых издержек не менее чем на 10 %.

Лучшими аналогами таких машин являются платформы плодуборочные «Pluk-O-TrakJunior» и «Pluk-O-TrakSenior» фирмы «Munckhof» (Голландия), «H40s pro», «M20s pro» и «L10s pro» фирмы «Knecht» (Италия), «Carrier», «Ein», «Junior», «Senior» и «Zip 30» фирмы «N.Blosi» (Италия).

Мировой опыт применения данной техники для уборки плодов показал, что наиболее целесообразно создание самоходного агрегата. Его применение исключает необходимость использования трактора в процессе работы, снижается расход топлива, улучшается маневренность платформ в междурядьях садов интенсивного типа и увеличивается производительность труда.

Также в производстве плодов важным агротехническим приемом по уходу за садом является обрезка деревьев, которая обеспечивает формирование кроны с заданными параметрами, что обеспечивает снижение периодичности плодоношения, улучшает зимостойкость и качество плодов, исключает образование разлома ветвей и увеличивает урожайность. В настоящее время этот технологический процесс осуществляется вручную с использованием лестниц и ручных секаторов, что не обеспечивает требуемого формирования кроны верхней части дерева. Затраты труда на обрезку деревьев, выполняемую высококвалифицированными рабочими, составляют 22–24 % всех трудозатрат при производстве плодов. В результате на обрезку деревьев и формирование кроны ежегодно требуется произвести затрат труда в количестве 151–227 чел.-ч/га, или на возделываемую площадь садов в республике – 3,2–4,8 млн чел.-ч, а стоимость этих работ составит 10–14 млрд рублей.

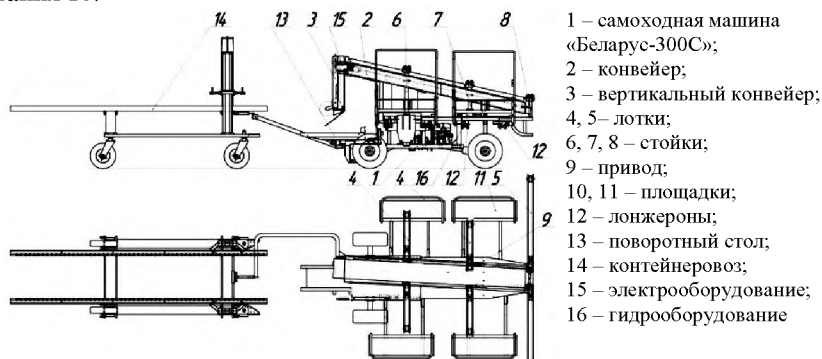
В мировой практике обрезка плодовых деревьев осуществляется на механизированной основе, для чего применяют пневматические секаторы.

Таким образом, актуальным в настоящее время является создание в республике самоходного технического средства, обеспечивающего максимальную механизацию технологических процессов обрезки деревьев и качественную уборку плодов.

Для выполнения таких операций в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с РУП «Минский трактор-

ный завод» был разработан агрегат самоходный универсальный с поточным контейнеровозом АСУ-6.

Агрегат АСУ-6 (рисунок 114, 115) состоит из самоходной машины «Беларус-300С» 1, конвейера 2, вертикального конвейера 3, лотков 4 и 5, стоек 6, 7 и 8, привода 9, площадок 10 и 11, лонжеронов 12, поворотного стола 13, контейнеровоза 14, электрооборудования 15 и гидрооборудования 16.



- 1 – самоходная машина «Беларус-300С»;
- 2 – конвейер;
- 3 – вертикальный конвейер;
- 4, 5 – лотки;
- 6, 7, 8 – стойки;
- 9 – привод;
- 10, 11 – площадки;
- 12 – лонжероны;
- 13 – поворотный стол;
- 14 – контейнеровоз;
- 15 – электрооборудование;
- 16 – гидрооборудование

Рисунок 114 – Схема агрегата АСУ-6



Рисунок 115 – Агрегат АСУ-6 (вид сзади)

Техническая характеристика агрегата АСУ-6 приведена в таблице 33.

Агрегат АСУ-6 предназначен для сбора плодов и формирования кроны семечковых культур (рисунок 116). Для выполнения операции сбора плодов на агрегате имеется конвейер, вертикальный конвейер, лотки и поворотный стол. Принцип действия заключается в следующем. Сбор плодов осуществляют 6 рабочих, из которых четверо находятся на

Таблица 33 – Техническая характеристика агрегата АСУ-6

Наименование показателя	Значение
Тип агрегата	самоходный
Двигатель:	
– тип	бензиновый
– мощность при номинальных оборотах 3600 <i>мин.</i> ⁻¹ , не менее	9,55
– расход топлива, <i>кг/ч</i> , не более	5
Коробка передач:	2 передачи
– механическая	вперед, 1 назад
Рабочая скорость движения, <i>км/ч</i> , не более	
– переднего хода:	
– I передача	2,6
– II передача	5,1
– заднего хода	2,46
Количество обслуживающего персонала, <i>чел.</i> :	
– на обрезке	4
– на уборке	6
Производительность рабочего:	
– на обрезке, <i>деревя/ч</i>	3–8
– на уборке, <i>кг/ч</i>	250–350
Масса агрегата (конструктивная), <i>кг</i> , не более:	3600
в т.ч.: – самоходной части	3000
– прицепной части	600
Габаритные размеры самоходной части агрегата, <i>мм</i> , не более:	
– длина	3770
– ширина	2160–3380
– высота	1410–1730
Габаритные размеры контейнера по поточного, <i>мм</i> , не более:	
– длина	5280
– ширина	1635
– высота	2846
Полнота сбора плодов, %	не менее 97
Количество подручной падалицы, %	не более 3

площадках, а двое – в междурядье сада спереди агрегата. Рабочие, находящиеся на задних площадках, оборудованных устройством подъема, осуществляют сбор плодов с верхнего яруса деревьев. Сборщики, расположенные на передних площадках, осуществляют сбор плодов со среднего яруса деревьев, а находящиеся в междурядье – с нижнего яруса.

Собранные плоды укладываются в лотки на ленты, которые транспортируют их на конвейер. Конвейер перемещает плоды на вертикальный конвейер, который, в свою очередь, укладывает их в контейнер, установленный на поворотном столе агрегата. Сбор плодов продолжается до заполнения контейнера, после чего прерывается на время смены контейнера.

После заполнения контейнера плодами оператор самоходного агрегата останавливает вращение контейнера посредством рычага и включает на

пульте управления кнопку опускания. Скорость спуска контейнера с полозьев регулируется степенью наклона стола относительно платформы.



Рисунок 116 – Агрегат АСУ-6 (в работе)

После спуска заполненного контейнера в междурядье сада на поворотный стол подается пустой контейнер с контейнеровоза и рабочий цикл повторяется.

Для осуществления операции обрезки деревьев на агрегате установлена пневмосистема, включающая в себя компрессор, ресивер и четыре пневмосекатора.

Операция обрезки проводится пневмосекаторами четырьмя обрезчиками, находящимися на площадках.

Сводные показатели экономической эффективности агрегата самоходного универсального (АСУ-6) с поточным контейнеровозом в сравнении с ручным трудом сборщиков с применением контейнеровоза ТКС-3 и ручной обрезкой приведены в таблице 34.

Таблица 34 – Сводные показатели сравнительной экономической эффективности агрегата АСУ-6

Наименование показателя	Значение показателя
Годовой приведенный экономический эффект, тыс. руб.	137 200
Годовая экономия себестоимости механизированных работ, тыс. руб.	16 119
Степень снижения себестоимости механизированных работ, %	46,02
Срок окупаемости абсолютных (дополнительных) капитальных вложений, лет	2,70
Капитализированная стоимость новой техники, тыс. руб.	792 152
Цена машины (без НДС), тыс. руб.	370 000

Потребность в агрегатах при годовой загрузке 600 часов для Республики Беларусь ориентировочно составляет 200 шт., а на перспективу, после вступления новых садов в фазу плодоношения, – 320 шт. Внедрение нового агрегата обеспечит годовой приведенный экономический эффект на одну машину 137 200 тыс. рублей, при полном объеме внедрения агрегатов в республике – 8 800 млн рублей, а импортозамещающий эффект составит около 17,6 млн евро.

Заключение

1. Анализ состояния вопроса показал, что наиболее трудоемкими операциями в садоводстве являются уборка плодов и обрезка деревьев, которые в настоящее время в республике не механизированы.

2. Существующий способ механизированной уборки плодов семечковых и косточковых культур с применением уборочных комбайнов вибрационного принципа действия непригоден для уборки плодов, предназначенных для длительного хранения, так как приводит к значительному повреждению плодов (более 30 %).

3. Для реализации технологического процесса уборки и механизированной обрезки крон деревьев необходим самоходный агрегат, оборудованный рабочими местами для сборщиков, устройством подъема и опускания рабочих площадок, перемещения их в горизонтальной плоскости, с возможностью механизированной погрузки пустых контейнеров, выгрузки заполненных, а также имеющий транспортеры для доставки собранных плодов в контейнеры.

09.09.13

Литература

1. Государственная комплексная программа развития картофелеводства, овощеводства и плодородства в 2011–2015 годах: офиц. изд. – Минск, 2012.
2. Самусь, В.А. Система сельскохозяйственных машин и орудий для механизации работ в плодородстве / В.А. Самусь, А.М. Криворот, В.А. Мычко; РУП «Институт плодородства». – Минск, 2010. – 37 с.
3. Самощенко, Е.Г. Плодородство: учебник для нач. проф. образования / Е.Г. Самощенко, И.А. Пашкина. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 320 с.

УДК 631.3.02.004.67

В.П. Иванов, А.П. Кастрюк

(УО «Полоцкий государственный университет»,
г. Новополоцк, Республика Беларусь)

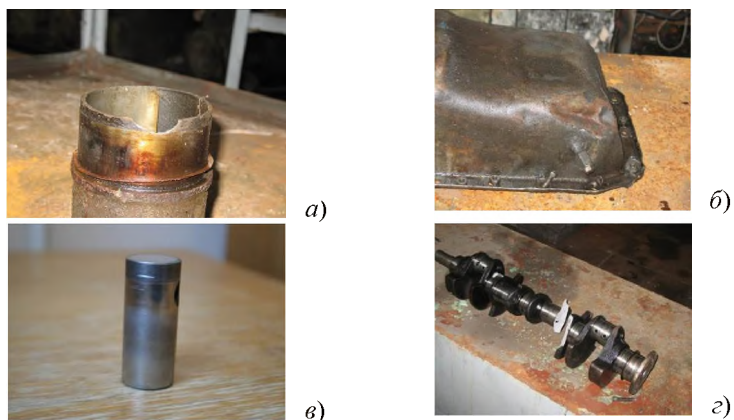
E-mail: ivprem@tut.by

**СОХРАННОСТЬ
ДЕТАЛЕЙ
ПРИ РАЗБОРКЕ
АГРЕГАТОВ**

Введение

Напряженно-деформационное состояние материала деталей и необходимые усилия и моменты в процессах сборки соединений исследованы обстоятельно. При разборочных процессах эти вопросы и характеристики изучены недостаточно, а сохранность деталей при разборке агрегатов не исследовалась.

Трудноустраняемые и неустраняемые повреждения деталей при разборке проявляются в виде обломов, сколов, заусенцев на обработанных поверхностях, деформаций и разрушения элементов (рисунок 117, таблица 35). Такие повреждения увеличивают расход запасных частей до 15 % и объем восстановительных работ – до 20 % [1].



а) скол на центрирующем пояске гильзы; б) вмятина на листовой штампованной детали; в) заусенец на поверхности толкателя; г) изломанный коленчатый вал

Рисунок 117 – Повреждения деталей при разборке двигателей

Таблица 35 – Повреждения деталей во время разборки, причины и меры по их устранению

Повреждения	Детали, элементы	Причины	Меры по устранению
Обломы	Фланцы корпусных деталей Приливы генераторов	Перемещение без тары	Использование специальной тары
		Небрежная ручная перегрузка	Наведение порядка на операции перегрузки изделий
Сколы	Гильзы цилиндров Обоймы подшипников	Ударная ручная разборка	Использование оправок. Использование механических съемников
Заусенцы, вмятины	Поверхности толкателей	Перекас осей деталей соединения разборочным усилием	Приложение разборочного усилия инструментом вдоль оси соединения
	Поверхности отверстий под толкатели	Ударная ручная разборка	Использование механических средств
Деформации	Головки цилиндров Крышки из листового металла	Приложение больших разборочных усилий к деталям из-за образования вторичных структур и накипи в зазорах деталей и приклеивания прокладок	Использование материалов и воздействий, уменьшающих адгезионные связи между материалами. Использование механических съемников
Разрушение	Резьбы	Адгезионное схватывание материалов	Использование материалов и воздействий, уменьшающих адгезионные связи между материалами

Изломы приливов и фланцев под крепежные отверстия (например, в корпусе генератора) могут наблюдаться у 50 % деталей. Случаи деформирования со следами касания ударного инструмента поверхности детали (головки цилиндров, крышки коренных подшипников и шатунов, штампованные крышки) наблюдаются почти у всех деталей этих видов. Деформация буртиков блока цилиндров под гильзы и сколы участков деталей – следствие приложения ударной нагрузки к этим элементам (например, нижний торец гильзы цилиндра у центрирующего пояса). Изогнутость длинных деталей, забоины на точных поверхностях и заусенцы на рабочих поверхностях отверстий (например, под толкатели клапанов) – результат использования инструментов и приемов, не обеспечивающих приложение разборочных усилий вдоль оси соединений. Разрушение резьбы, особенно в корпусных деталях из алюминиевого сплава, – неотвратимое явление по причине адгезионного схватывания материалов деталей резьбовых соединений.

Постановка задачи

Научный и практический интерес представляют исследования моментов и усилий, необходимых для разборки резьбовых и прессовых соединений после их длительной эксплуатации. При общей и узловой разборке, например, двигателя ЗМЗ-53 разъединяют около 700 резьбовых и 50 прессовых соединений. Сведения о фактических моментах и усилиях, связанных с разборкой соединений, необходимы как для выбора мощности силовых разборочных механизмов, так и для принятия мер к соединениям, для разборки которых требуются моменты или усилия, превышающие допустимые.

Основная часть

Резьбовые соединения крепления головок цилиндров, крышек шатунов и коренных подшипников в количестве 108 единиц при сборке были затянуты нормированным моментом с погрешностью 8–15 %. Момент затяжки остальных соединений ограничен прочностью деталей.

Для выявления закономерностей рассеяния значений моментов отворачивания одноименных резьбовых деталей исследовалось распределение моментов отворачивания гаек крепления головки цилиндров двигателя ЗМЗ-53. Размер резьбы – М11×1, количество гаек на одном двигателе – 36. Моменты отворачивания гаек измерялись с помощью динамометрического ключа ДК-25. Были выделены две группы соединений. Группа I измерения ($n = 1056$) получена на рабочем месте разборки двигателей в зимнее время при температуре воздуха в цехе 12–14°C, группа II измерений ($n = 1278$) – в летнее время при температуре воздуха 20–24°C. Распределения числа резьбовых соединений по значениям момента отворачивания представлены в таблицах 36 и 37 и на рисунке 118.

Таблица 36 – Распределение числа резьбовых соединений (1056 ед.) по значениям момента отворачивания гаек крепления головок цилиндров двигателя ЗМЗ-53 в зимних условиях (температура воздуха в цехе – 12–14 °С)

Момент, Нм	Количество, ед.	Момент, Нм	Количество, ед.	Момент, Нм	Количество, ед.
0	15	70	141	140	0
10	25	80	80	150	0
20	68	90	66	160	0
30	103	100	22	170	0
40	139	110	14	180	0
50	181	120	4	190	0
60	195	130	3		

Таблица 37 – Распределение числа резьбовых соединений (1287 ед.) по значениям момента отворачивания гаек крепления головок цилиндров двигателя ЗМЗ-53 в летних условиях (температура воздуха в цехе 20–24 °С)

Момент, Нм	Количество, ед.	Момент, Нм	Количество, ед.	Момент, Нм	Количество, ед.
0	48	70	135	140	11
10	95	80	120	150	4
20	91	90	107	160	7
30	97	100	75	170	1
40	135	110	56	180	1
50	146	120	17	190	1
60	152	130	24		

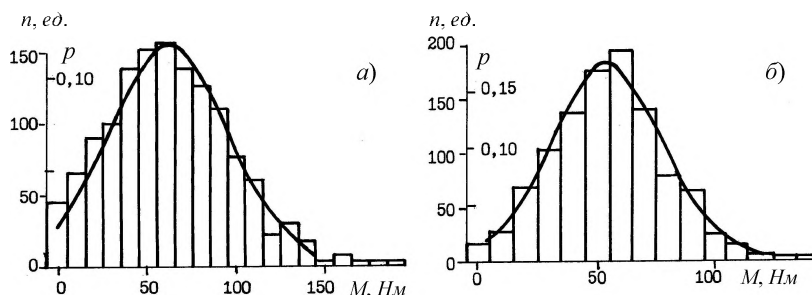


Рисунок 118 – Выборочные n и теоретические p распределения резьбовых соединений «гайка–шпилька» головок цилиндров двигателей ЗМЗ-53 по значениям момента отворачивания в зимних (а) и летних (б) условиях

Момент отворачивания гайки M изменяется от 0 до 190 Нм (значение момента затяжки гаек при сборке установлено 68–75 Нм). Математические ожидания момента отворачивания \bar{M} со стандартной ошибкой их

определения следующие: для группы I $\bar{M}_1 = 54,76 \pm 0,76 \text{ Нм}$, для группы II $\bar{M}_2 = 60,95 \pm 0,93 \text{ Нм}$. Средние квадратические отклонения σ (Нм) со стандартными ошибками их определения составляли $\sigma_1 = 23,18 \pm \pm 0,50 \text{ Нм}$ и $\sigma_2 = 33,35 \pm 0,66 \text{ Нм}$. Плотности вероятностей p выражались через средние величины:

для измерений группы I

$$p = 0,172 \exp [-0,00093(M - 54,76)^2];$$

для измерений группы II

$$p = 0,119 \exp [-0,00045(M - 60,95)^2],$$

где M – текущее значение момента отворачивания гаек, Нм.

Координаты доверительного интервала, включающего с заданной вероятностью $p = 1 - q$ (где $q = 0,05$ – уровень значимости) значения моментов отворачивания гаек, определяли по закону Стьюдента:

$$p = \left(M < \bar{M} + t_{(q; k-1)} \sigma \right) = \frac{1-q}{2},$$

где $t_{(q; k-1)}$ – критерий Стьюдента.

Если $p = 99,5 \%$, то $t_{[0,5; 1054 (1276)]} = 2,81$.

Тогда граничные значения моментов \bar{M}_1 и \bar{M}_2 равны:

$$M_1 < \bar{M}_1 + 2,81\sigma_1 = 54,76 + 2,81 \times 23,18 = 119,90 \text{ Нм};$$

$$M_2 < \bar{M}_2 + 2,81\sigma_2 = 60,95 + 2,81 \times 33,35 = 154,66 \text{ Нм},$$

что подтверждается экспериментальными данными.

Таким образом, средние значения моментов отворачивания гаек не превосходят нормированного значения момента их затяжки, а число гаек, момент отворачивания которых вдвое превосходит тарированный момент затяжки, не превышает 0,25 %.

Средний момент отворачивания гаек летом превосходит на 11,5 % соответствующий момент в зимних условиях, что объясняется более качественным обслуживанием двигателей в хозяйствах в летнее время.

Экспериментально исследовались как усилия сборки и разборки прессового соединения, так и рассеяние их значений на примере установки и снятия шестерни коленчатого вала двигателя ЗМЗ-53. Усилия сборки прессовых соединений, как правило, не регламентированы. Номинальный диаметр и длина соединения – 40 и 28 мм, наибольший натяг – 27 мкм. Материалы коленчатого вала и шестерни – соответственно ВЧ50 и 40Х. При названных условиях усилие запрессовывания шестерни, рассчитанное по формуле Ляме, составляет 20,31 кН.

Средние значения сил запрессовывания и выпрессовывания со стандартными ошибками их определения составляли $P_3 = 25,46 \pm 0,10 \text{ кН}$ и $P_в = 30,85 \pm 0,16 \text{ кН}$ соответственно (таблицы 38 и 39, рисунок 119). Работа выпрессовывания A_e (таблица 40) рассчитывалась по формуле:

$$A_g = \frac{P_6 l_c}{2}, \text{ Нм,}$$

где l_c – длина соединения, м.

Таблица 38 – Распределения прессовых соединений по усилию запрессовывания

Усилие P_3 , кН	Количество, ед.	Усилие P_3 , кН	Количество, ед.
18–19	2	25–26	121
19–20	10	26–27	94
20–21	18	27–28	72
21–22	26	28–29	45
22–23	45	29–30	16
23–24	73	30–31	8
24–25	86	32–33	1

Таблица 39 – Распределение прессовых соединений по усилию выпрессовывания

Усилие $P_в$, кН	22–24	24–26	26–28	28–30	30–32	32–34	34–36	36–38	38–40
Количество, ед.	8	9	41	89	105	61	43	12	5

Таблица 40 – Распределение прессовых соединений по работе выпрессовывания

Работа, Дж	3	5,5	12,5	29	69	70	94	246	284	358
Количество, ед.	8	5	8	1	1	5	1	1	1	16

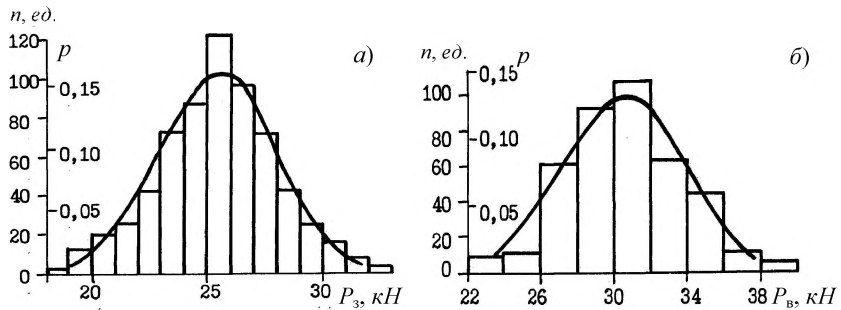


Рисунок 119 – Выборочные n и теоретические p распределения прессовых соединений «распределительная шестерня–шейка коленчатого вала» двигателей ЗМЗ-53 по значениям силы запрессовывания P_3 (а) и выпрессовывания $P_в$ (б)

Средние квадратические отклонения со стандартными погрешностями составляли: для силы запрессовывания – $\sigma_3 = 2,51 \pm 0,07$ кН, для силы выпрессовывания – $\sigma_в = 3,07 \pm 0,11$ кН.

Плотности вероятности p через средние величины выражались зависимостями:

для силы запрессовывания $p = 0,159 \exp [-0,0796(P_3 - 25,46)^2]$;

для силы выпрессовывания $p = 0,130 \exp [-0,0528(P_в - 30,85)^2]$.

Среднее значение $P_в$ превышает среднее значение P_3 в 1,21 раза, а среднее квадратическое отклонение силы выпрессовывания превышает аналогичную характеристику силы запрессовывания в 1,24 раза.

Верхнюю границу доверительного интервала, заключающего с заданной вероятностью $p = 1 - q$ значения сил P_3 и $P_в$, определяли по формуле:

$$p = \left(P < \bar{P} + t_{(q,k-1)} \sigma \right) = \frac{1-q}{2},$$

где P – сборочное усилие;

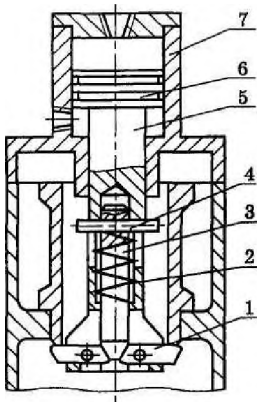
\bar{P} – среднее значение сборочного усилия.

При $p = 99\%$ и числе степеней свободы 8 $t_{(1;8)} = 3,355$, а при $p = 99\%$ и числе степеней свободы 14 $t_{(1;14)} = 2,977$, тогда $P_3 < 25,46 + 2,977 \times 2,51 = 32,93$ кН, а $P_в < 30,85 + 3,355 \times 3,07 = 41,14$ кН. Таким образом, граничное значение сборочного усилия P_3 превышает в 1,62 раза расчетное сборочное усилие $P_{3,p} = 20,31$ кН, а граничное значение разборочного усилия $P_в$ превышает его в 2,03 раза.

При превышении моментов и усилий разборки необходимо принимать технологические меры по уменьшению сил адгезии между соприкасающимися поверхностями.

Альтернативу ручной ударной разборке представляет использование механических съемников с гидро- или пневмоприводом для гильз, ступиц, зубчатых колес, подшипников качения, головок цилиндров и др. В качестве исполнительных механизмов при усилиях разборки 1–5 кН целесообразно применять пневматические цилиндры диаметром до 250 мм с питанием их сжатым воздухом под давлением 0,4–0,6 МПа от заводской компрессорной. При больших усилиях разборки (до 200 кН) следует использовать гидроприводы с диаметром цилиндров 63–125 мм с подачей масла под давлением 10–25 МПа цеховыми гидростанциями [2].

В качестве примера одного из технических решений, полученного в результате выполнения работы, на рисунке 120 показаны съемник гильзы цилиндра двигателя ЗМЗ-53, содержащий гидроцилиндр 7 диаметром 100 мм с заплечиками, которыми он устанавливается на стенки блока цилиндров, и поршень 6 со штоком 5. На штоке соосно ему установлен клин 3 со штифтом 4. Клин нагружен пружиной 2, которая стремится поднять его. В нижней части штока на осях установлены захваты 1 для гильзы. Съемник потребляет потенциальную энергию масла под давлением 10 МПа, подаваемого от гидравлической станции.



- 1 – захват; 2 – пружина; 3 – клин;
4 – штифт; 5 – шток; 6 – поршень;
7 – гидроцилиндр

Рисунок 120 – Гидравлический съёмник гильзы цилиндра

При подаче масла под давлением в полость цилиндра 7 над поршнем 6 последний движется вниз. Пружина 2 поднимает клин до упора штифтом 4 в стенку штока, при этом усилие от клина на захваты не передается.

Съёмник вводят в отверстие гильзы цилиндра, при этом захваты 1, поворачиваясь на своих осях, этому не препятствуют. Когда цилиндр 7 своими заплевыми касается блока цилиндров, захваты 1 под действием собственного веса располагаются горизонтально и касаются площадок штока.

Затем подают масло под давлением в полость цилиндра под поршнем. Сила давления от поршня 6 передается через захваты 1 к снимаемой гильзе. Штифт 4 клина после извлечения гильзы из блока

упирается в стенку штока. Остановившийся клин 3 действует на захваты 1, внешние концы которых, поднимаясь, перемещаются к центру и освобождают гильзу. Съёмник установлен на пружинной подвеске.

Организационные меры по предохранению деталей от разрушения при разборке агрегата состоят в их учете и внедрении системы оплаты труда не за количество разобранных агрегатов, а за количество сданных на рабочие места сортировки неразрушенных (главным образом, ресурсных) деталей.

Технологические меры сохранности деталей при узловой разборке соединений связаны с созданием специализированных стендов для снятия деталей (гильз цилиндров, ступиц, зубчатых колес, подшипников, головок цилиндров и др.) при узловой разборке изделий. Стенды включают механические приводы для приложения статической нагрузки, распределенной на большой площади снимаемых деталей. Затраты на создание стендов и их функционирование не должны превышать затрат, связанных с устранением повреждений, возникающих при ручной ударной разборке, т.е.

$$\frac{Z_{cm}}{n_s N} + C_m \leq Z_{y.n}, \quad (1)$$

где Z_{cm} – затраты на создание стенда, руб.;

n_s – срок службы стенда, лет;

N – годовой объем разборки, год⁻¹;

C_m – технологическая себестоимость работ, связанных с эксплуатацией стенда, руб.;

$Z_{y.n}$ – затраты на устранение повреждения детали от ручной ударной разборки изделия.

В развернутом виде выражение (1) может быть представлено таким образом:

$$\frac{M_{u.cm} + 3\Pi_{u.cm} + \mathcal{E}_{u.cm}}{n_3 N} + C_m \leq M_{y.n} + 3\Pi_{y.n} + \mathcal{E}_{y.n} + Z_{m.o},$$

где $M_{u.cm}$, $3\Pi_{u.cm}$ и $\mathcal{E}_{u.cm}$ – стоимость материалов, заработная плата и стоимость энергии при изготовлении стенда соответственно, руб.;

$M_{y.n}$, $3\Pi_{y.n}$, $\mathcal{E}_{y.n}$ – стоимость материалов, заработная плата и стоимость энергии на устранение повреждения соответственно, руб.;

$Z_{m.o}$ – затраты на функционирование технологического оборудования, используемого при устранении повреждения, руб.

Выводы

Механические стенды и съемники повышают производительность труда в 3–5 раз по сравнению с ручными средствами. Экономический эффект обусловлен уменьшением приобретения или изготовления новых деталей взамен поврежденных или изломанных.

Организационные и технологические меры по предохранению деталей от разрушения при разборке агрегата позволяют уменьшить их повреждения на 20 %.

26.09.13

Литература

1. Иванов, В.П. Сбережение остаточного ресурса деталей и сопряжений / В.П. Иванов // Агропанорама. – 2000. – № 2. – С. 15–18.
2. Коробко, В.И. Технологическое оснащение ремонтного производства / В.И. Коробко, В.П. Иванов, В.И. Семенов. – Минск: Універсітэцкае, 1994. – 140 с.

Рефераты

УДК 631.331.022

Самосюк, В.Г. **Основное направление научно-технической политики Республики Беларусь в области механизации растениеводства до 2015 и на период до 2020 года** / В.Г. Самосюк // 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. 3–13.

Новая концепция научно-технической политики в области механизации сельского хозяйства на 2015 и на период до 2020 года позволит приблизиться вплотную к показателям удельных затрат на производство сельскохозяйственной продукции лучших зарубежных стран и снизить удельные затраты труда и топлива в растениеводстве.

Она также позволит пересмотреть Систему перспективных машин и оборудования на новом техническом уровне. – *Рис. 8, табл. 1.*

Samosyuk V.G.

Main direction of scientific and technical policy of the Republic of Belarus in the field of mechanization of crop production by 2015 and up to 2020

A new concept of science and technology policy in agriculture mechanization for 2015 and for the period up to 2020 will help approach closely the indices of costs per unit of agricultural products production as in the most productive foreign countries and reduce specific labor and fuel costs in the plant growing.

It will also help review the system of promising machinery and equipment on a new technological level.

УДК 621.43

Тарасенко, В.Е. **Вероятность переохлаждения и перегрева двигателя трактора** / 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, 2013. – Вып. 47. – Т. 1. – С. 14–18.

Система охлаждения является вероятностной системой, на которую оказывают влияние множество факторов. В работе показано, что при проектировании системы охлаждения, для исключения перегрева дизеля, необходимо принимать расчетное количество теплоты больше требуемого. – *Табл. 1, библиогр. 3.*

Tarasenko V.E., Zheshko A.A.

Probability of overcooling and overheat of the tractor engine

The cooling system is a probabilistic system which is influenced by a number of factors. The paper shows that when designing a cooling system, to avoid diesel overheat, it is necessary to take the estimated amount of warmth exceeding the required level.

УДК 621.431.7

Тарасенко, В.Е. **Эксплуатация дизельных двигателей при использовании растительного топлива** / 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, 2013. – Вып. 47. – Т. 1. – С. 18–29.

На основании мирового опыта использования растительного топлива рассмотрены особенности рабочего процесса дизелей, влияние его физико-химических свойств на компоненты системы питания. Представлены результаты экспериментальных исследований использования топлива из рапса на тракторах в Республике Беларусь и других странах. – *Табл. 3, рис. 2, библиогр. 8.*

Tarasenko V.E., Zheshko A.A.

Operation of diesel engines when using vegetable oil fuel

On the basis of world experience in using vegetable oil fuel, the paper considers features of working processes of diesels, influence of its physical and chemical properties on power supply system components. It shows the results of pilot studies of using fuel from rape on tractors in Republic of Belarus and other countries.

УДК 631.431

Орда, А.Н. **Результаты экспериментальных исследований по определению нормальных напряжений в почве под колесом методом физического моделирования** / А.Н. Орда, В.А. Шкляревич, А.С. Воробей // 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. 29–37.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований по определению нормальных напряжений в почве под колесом методом физического моделирования. – *Рис. 9, библиогр. 3.*

Orda A.N., Shkliarevich V.A., Vorobey A.S.

Results of pilot studies on determination of normal tension in the soil under a wheel using a method of physical modeling

The article presents the results of pilot studies on determination of normal tension in the soil under a wheel using a method of physical modeling.

УДК 631.312.65

Лепешкин, Н.Д. **Об использовании машин для вертикальной обработки почвы в условиях Республики Беларусь** / Н.Д. Лепешкин, В.В.Мижурин, А.А. Зенов // 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. 37–43.

Настоящая статья посвящена детальному рассмотрению комплекса машин для вертикальной обработки почвы США как базовой основы для будущих технологий бесплужного возделывания сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь. – *Рис. 8.*

Lepeshkin N.D., Mizhurin V.V., Zenov A.A.

On the use of machines for vertical tillage of soil in the conditions of the Republic of Belarus

This article is devoted to a detailed consideration of a complex of machines for vertical tillage used in the United States, as a basic for future technologies of no-till crops cultivation in the Republic of Belarus.

УДК 631.331.022

Чеботарев, В.П. **Исследование процесса движения частиц посевного материала в распределителе вертикального типа пневматической зерновой сеялки** / В.П. Чеботарев, Ю.Л. Салапура, Д.В. Зубенко // 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. 43–52.

В статье приводится анализ исследования процесса движения частиц посевного материала в распределителе вертикального типа пневматической зерновой сеялки. – *Рис. 10, библиогр. 8.*

Chebotarev V.P., Salapura Y.L., Zubenko D.V.

Research of the process of movement of particles of a sowing material in the vertical dispenser of pneumatic grain seeder

The article analyses the research of the process of movement of particles of a sowing material in the vertical dispenser of pneumatic grain seeder.

УДК 631.33.022.1

Лепешкин, Н.Д. **Активирующее воздействие лопастей ворошителя нагнетателя на посевной материал** / Н.Д. Лепешкин, А.Л. Медведев, В.В. Мижурин, Д.В. Зубенко // 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. 52–56.

В статье теоретически рассмотрены усилия, возникающие на поверхности лопасти дозирующего устройства при уплотнении посевного материала. – *Рис. 1.*

Lepeshkin N.D., Medvedev A.L., Mizhurin V.V., Zubenko D.V.

Activating effect of the blades of agitator-pressurizer on the sowing material

The article theoretically considers efforts occurring on the surface of the blade of dispenser during compaction of sowing material.

УДК 631.31.06

Лепешкин, Н.Д. **Результаты испытаний агрегата безотвальной обработки почв АБТ-4 на суглинистых почвах** / Н.Д. Лепешкин, А.А. Точич-

кий, П.П. Костюков, Н.С. Мстиславская // 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. 56–62.

В статье приведены результаты испытаний агрегата безотвальной обработки почв АВТ-4 на суглинистых почвах Витебской области. – *Рис. 1, табл. 1, библиогр. 9.*

Lepeshkin N.D., Tochitski A.A., Kostyukov P.P., Mstislavskaya N.S.

Results of testing a unit for subsurface tillage АВТ-4 on loamy soils

The paper shows the results of testing a unit for subsurface soil treatment АВТ-4 on loamy soils of Vitebsk region.

УДК 631.353.3: 621.878

Смирнов, А.Н. **Энергосберегающий процесс совмещенной разгрузки ковша одноковшового погрузчика** / А.Н. Смирнов, Н.Д. Лепешкин // 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. 63–68.

В статье рассматривается энергосберегающий процесс разгрузки ковша одноковшового погрузчика, совмещенный с подъемом стрелы.

Приведены методика расчета некоторых кинематических и силовых параметров для этого процесса, сведения об его эффективности и рекомендации по реализации. – *Рис. 1, библиогр. 3.*

Smirnov A.N., Lepeshkin N.D.

Energy-saving process of combined unloading of bucket loader' bucket

The article deals with energy-saving process of unloading of bucket loader' bucket combined with the lifting of bucket beam.

The article presents methods of calculating some kinematic and force parameters for this process, the information about its effectiveness and implementation guidelines.

УДК 631.312

Лепешкин, Н.Д. **Результаты испытаний плуга полунавесного оборотного ПО-(6+4)-40/45** / Н.Д. Лепешкин, П.П. Костюков, Г.И. Павловский, Е.Л. Шибут // 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. 68–73.

В статье приведены результаты приемочных испытаний плуга полунавесного оборотного десятикорпусного с катковыми приставками, агрегируемого с тракторами мощностью 350 л.с., а также их анализ. – *Рис. 1, табл. 2, библиогр. 4.*

Lepeshkin N.D., Kostyukov P.P., Pavlovsky G.I., Shibus E.L.

Results of testing turnwrest semi-hinged plow PO-(6+4)-40/45

The paper presents the results of acceptance tests of turnwrest semi-mounted 10-frame plow with roller add-ons, which is drawn by tractors of 350 horse power, as well as their analysis.

УДК 631.312.06:631.51

Лепешкин, Н.Д. **К выбору конструкторско-технологической схемы широкозахватного почвообрабатывающе-посевого агрегата для условий Республики Беларусь** / Н.Д. Лепешкин, А.В. Сядура, Н.С. Козлов, В.В. Мижурин // 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. 74–79.

Обоснована схема перспективного широкозахватного почвообрабатывающе-посевого агрегата для условий Республики Беларусь.

Lepeshkin N.D., Syadura A.V., Kozlov N.S., Mizhurin V.V.

On the choice of design and technological scheme of wide-web soil-cultivating and sowing aggregate for the conditions of the Republic of Belarus

The paper describes the scheme of a promising wide-web tillage-sowing unit for the conditions of the Republic of Belarus.

УДК 631.31

Шевченко, И.А. **Методика экспериментальных исследований процесса взаимодействия рабочих органов ярусного глубокорыхлителя с почвой** / И.А. Шевченко, Ю.М. Лабатюк // 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. 80–84.

Разработана методика экспериментальных исследований для проверки и корректировки теоретических положений и выводов по обоснованию размещения рабочих органов на раме орудия глубокорыхлителя. Определены факторы, критерии оптимизации и план экспериментальных исследований. – *Рис. 3, табл. 2, библиогр. 6.*

Shevchenko I.A., Labatyuk U.M.

Methodology of experimental research of the process of interaction of working elements of chisel plow with the soil

The paper tells about a technique of experimental studies for verification and adjustment of theoretical propositions and findings to justify the placing of the working elements at the frame of a chisel plow. The paper determines factors, optimization criteria and a plan of experimental studies.

УДК 631.31

Лепешкин, Н.Д. **Исследование уровня патентования рабочих органов машин для почвозащитного земледелия** / Н.Д. Лепешкин, А.А. Зенов // 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. 85–89.

В статье на основании анализа патентной документации статистическими методами прогнозируется направление развития рабочих органов машин для почвозащитного земледелия. – *Рис. 2, табл. 1, библиогр. 3.*

Lepeshkin N.D., Zenov A.A.

Research of level of patenting of working elements of machines for conservation farming

The article, on the basis of the analysis of patent documentation, by statistical methods, predicts a direction of development of working elements of machines for conservation farming.

УДК 631.171:621.396

Авдеев, Ю.В. **Система дистанционной передачи команд управления движением машинно-тракторных агрегатов** / Ю.В. Авдеев, А.Д. Кононов, А.А. Кононов // 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. 89–97.

Приведено описание состава и принципа функционирования аппаратуры, реализующей вариант построения системы управления машинно-тракторным агрегатом с помощью передачи дискретных и пропорциональных команд. – *Рис. 4, библиогр. 3.*

Avdeev Y.V., Kononov A.D., Kononov A.A.

System of remote transmission of control instructions for machine-tractor aggregates driving

The article describes a composition and principles of operation of devices implementing a modification of constructing a system of control of machine-tractor aggregates with the help of transmission of discrete and proportional commands.

УДК 631.331.022

Салапура, Ю.Л. **Результаты экспериментальных исследований питателя эжекторного типа зерновой пневматической сеялки** / Ю.Л. Салапура, В.Ф. Марышев, Д.В. Зубенко, А.В. Новиков // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 1. – С. 97–104.

В статье приведены результаты исследований питателя эжекторного типа зерновых пневматических сеялок методом регрессионно-корреляционного анализа. – *Рис. 4, табл. 2, библиогр. 7.*

Salapura Y.L., Marishev V.F., Zubenko D.V., Novikov A.V.

Results of experimental studies of ejecting feeder of pneumatic grain seeder

The article shows the results of the research of ejecting feeder of pneumatic grain seeders using the method of regression and correlation analysis.

УДК 631.331–181.12

Лепешкин, Н.Д. **Результаты испытаний опытного образца сеялки пневматической С-9** / Н.Д. Лепешкин, А.Н. Смирнов, Н.Ф. Сологуб, С.В. Савчук // 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. 104–109.

В статье представлена сеялка пневматическая С-9, предназначенная для рядового посева семян зерновых колосовых, среднесеменных зернобобовых (горох, люпин), трав и других, аналогичных им по размерам, норме высева и глубине заделки семян, культур, указаны ее отличительные особенности, приведены техническая характеристика, а также результаты приемочных испытаний. – *Рис. 1, табл. 1.*

Lepeshkin N.D., Smirnov A.N., Sologub N.F., Savchuk S.V.

Results of testing a prototype of pneumatic seeder C-9

The article presents a pneumatic seeder C-9 which is designed for drilling of seeds of cereals, leguminous (such as pea, lupine), herbs, and other crops similar to these ones in terms of size, seeding rate and depth of seeding; points out to its distinctive features, provides technical characteristics and the results of acceptance tests.

УДК 631.53.01

Чеботарев, В.П. **Обоснование параметров устройства ввода зерна в пневмосепарирующий канал в виде питающего валика** / В.П. Чеботарев, И.В. Барановский, П.М. Немцев, Е.Л. Жилич // 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. 109–114.

Приведены результаты экспериментальных исследований устройства ввода зерна в пневмосепарирующий канал в виде питающего валика. Установлены рациональные параметры питающего валика для предварительной очистки зерна. – *Рис. 4, табл. 1, библиогр. 4.*

Chebotarev V.P., Baranovski I.V., Kniyazev A.A., Nemtsev P.M.

Substantiation of parameters of grain input into pneumoseparating channel in the form of feed roll

The paper presents the results of experimental studies of grain input into pneumoseparating channel in the form of feed roll. Rational parameters of feed roll are set for pre-cleaning of grain.

УДК 631.354.6

Перепечаев, А.Н. **Эффективность применения раздельной уборки в сравнении с прямым комбайнированием** / А.Н. Перепечаев, С.Г. Гриньков // 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. 115–119.

При уборке засоренных, неравномерно созревающих, влажных и полеглых хлебов, прямое комбайнирование которых сопряжено с резким падением темпа уборки, с высокими затратами энергоресурсов и большими потерями зерна, по мнению авторов, нет альтернативы раздельной и двухфазной уборке.

В РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» был разработан и изготовлен экспериментальный образец валковой жатки ЖТ-6 для эксплуатации с реверсивными тракторами «Беларус-1221В» и «Беларус-1522В». Сравнительную оценку произвели с комбайном КЗР-10 при прямом комбайнировании с жаткой шириной 6 м и при подборе валков. Результаты приведены в статье. – *Табл. 1, библиогр. 3.*

Perepechaev A.N., Grinkov S.G.

Efficiency of separate harvesting compared with direct harvesting

When harvesting clogged, unevenly ripening, humid and lodged cereals, direct combining of which is associated with a sharp fall in the rate of harvesting, high costs of energy resources and high losses of grain, there is no other alternative as a separate and split-phase harvesting, according to the authors of the paper.

Scientists of RUE «SPC for Agricultural Mechanization» designed and built an experimental model of a roll harvester VT-6 for its use with reverse tractors «Belarus-1221V» and «Belarus-1522V». A comparative assessment was carried out involving a combine KZR-10 with direct harvesting, the width of the harvester being 6 m. The results are given in the article.

УДК 631.365

Чеботарев, В.П. **Подбор, расчет и оптимизация технологических параметров машин зерноочистительно-сушильного комплекса** / В.П. Чеботарев, И.В. Барановский А.В. Новиков, Т.А. Непарко // 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. 119–123.

В данной работе изложены основные принципы оценки поточности работы зерноочистительно-сушильного комплекса. – *Библиогр. 8.*

Chebotarev V.P., Baranouski I.V., Novikov A.V., Neparko T.A.

Selection, calculation and optimization of technological parameters of machines of grain cleaning and drying complex

This paper outlines the main principles of evaluating the continuous operation of grain cleaning and drying complex.

УДК 631.56

Чеботарев, В.П. **Технологические основы и характеристика процессов сепарирования** / В.П. Чеботарев, И.В. Барановский, А.В. Новиков, Т.А. Непарко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 1. – С. 123–132.

В данной работе изложены технологические основы процессов сепарирования зерновых материалов. – *Рис. 5, библиогр. 3.*

Chebotarev V.P., Baranouski I.V., Novikov A.V., Neparko T.A.

Technological basis and characteristics of the process of separation

This paper outlines the technological basis and characteristics of the processes of separation of grain materials.

УДК 631.333:631.862

Степук, Л.Я. **Обоснование шага установки дисков и расстояния между их рядами в адаптере для внутрипочвенного внесения жидкого навоза** / Л.Я. Степук, А.А. Жешко, Э.В. Дыба // 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. 132–140.

В статье приводится обоснование шага установки дисков и расстояния между их рядами в адаптере для внутрипочвенного внесения жидкого навоза. – *Рис. 5, библиогр. 6.*

Stepuk L.Y., Zheshko A.A., Dyba E.V.

Substantiation of disks fitting step and distance between their rows in the adapter for intrasoil application of liquid manure

The article explains a step of disks fitting and distance between their rows in the adapter for intrasoil application of liquid manure.

УДК 631.333:631.862

Степук, Л.Я. **Обоснование типа рабочего органа для внутрипочвенного внесения жидкого навоза** / Л.Я. Степук, А.А. Жешко, Э.В. Дыба // 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. 140–145.

В статье приводится обоснование типа рабочего органа для внутрипочвенного внесения жидкого навоза. – *Рис. 4, библиогр. 3.*

Stepuk L.Y., Zheshko A.A., Dyba E.V.

Substantiation of the type of working element for intrasoil application of liquid manure

The article provides an explanation of the type of working element for intrasoil application of liquid manure.

УДК 631.3:631.174

Бегун, П.П. **К вопросу определения производительности лопастного барабана выравнивающего устройства** / П.П. Бегун // 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. 146–152.

В статье выведена формула для определения производительности лопатного барабана двухступенчатого выравнивателя потока удобрений, учитывающая его конструктивно-кинематические параметры и физико-механические свойства последних. – *Рис. 4, библиогр. 3.*

Behun P.P.

On the issue of determining performance of the paddle drum of leveling device

The article derives a formula to determine the performance of the paddle drum of two-stage equalizer of fertilizers flow, taking into account its structural-kinematic parameters and physical-mechanical properties of the latter.

УДК 631.333:631.174

Кудря, В.А. **Результаты исследований энергозатрат агрегата для внесения твердых органических удобрений с боковым выбросом** / В.А. Кудря, А.Н. Калнагуз // 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. 152–156.

В статье представлены результаты исследований нового разбрасывателя с боковым выбросом, который позволяет уменьшить затраты энергии при внесении твердых органических удобрений. – *Рис. 4, табл. 1, библиогр. 7.*

Kudrya V.A., Kalnagus A.N.

Results of research of energy costs of a unit for applying solid organic fertilizers with side discharge

The paper presents the results of studies of a new manure spreader with a side discharge, which can reduce energy costs when applying solid organic fertilizers.

УДК 633:621.039.37

Лысенко, Д.Н. **Определение пространственной ориентации стебля сухой листостебельной массы на фракционирующих барабанах** / Д.Н. Лысенко, А.В. Киселев // 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. 157–160.

В статье приведены результаты теоретических исследований определения пространственной ориентации стебля сухой листостебельной массы на фракционирующих барабанах. – *Рис. 2, библиогр. 3.*

Lysenko D.N., Kiselev A.V.

Determination of spatial orientation of stems of dry leafy mass on fractionating drums

The paper presents the results of theoretical research into determining the spatial orientation of a stem of dry leafy mass on fractionating drums.

УДК 631.31

Козлов, Н.С. **Анализ почвообрабатывающих машин для послеуборочного измельчения высокостебельных культур** / Н.С. Козлов // Механиза-

ция 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. 160–165.

В статье приводится анализ применяемых почвообрабатывающих машин для послеуборочного измельчения растительных остатков высококостельных культур. – *Табл. 2, библиогр. 3.*

Kozlov N.S.

Analysis of soil cultivating machines for post-harvest grinding of tall-stalked crops

The article analyses soil cultivating machines used for post-harvest grinding of plants residues of tall-stalked crops.

УДК 631.356.46

Комлач, Д.И. **Расчет шнекового сепаратора картофелеуборочных машин** / Д.И. Комлач, В.В. Голдыбан, А.Л. Рапичук // 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. 166–172.

В статье предложен метод расчета основных конструктивных и кинематических параметров шнекового сепаратора, способных обеспечить стабильную и непрерывную работу картофелеуборочных машин с заданной производительностью. – *Рис. 4, библиогр. 5.*

Komlach D.I., Haladyban V.V., Rapinchuk A.L.

Valuation of screw separator of potato harvesters

The paper proposes a method of calculating the basic structural and kinematic parameters of a screw separator, capable of providing a stable and continuous operation of potato harvesters with a preset output.

УДК 631.362.3:633.491

Комлач, Д.И. **К вопросу сортирования клубней на роликковых сортировальных поверхностях** / Д.И. Комлач, Ю.М. Урамовский, В.Н. Еднач, В. Танась // 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. 172–175.

Сортировка является завершающей операцией технологического процесса послеуборочной обработки при производстве картофеля, во многом определяющей количественные и качественные характеристики конечного продукта. Обеспечивает наибольшую сохранность клубней. – *Табл. 2, библиогр. 3.*

Komlach D.I., Uramovsky Y.M., Ednach V.N., Tanas' V.

On the sorting of tubers on roller sorting surfaces

Sorting is the final operation of the technological process of post-harvest processing in the production of potatoes; it largely determines the quantitative and

qualitative characteristics of the final product and provides the greatest preservation of tubers.

УДК [631.362.3:635.21]:519.87

Комлач, Д.И. **Анализ размерно-весовых характеристик клубней картофеля** / Д.И. Комлач // 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. 175–181.

В статье исследованы масса и размеры клубней сортов картофеля, путем статистической обработки измерений определены интервальные оценки средних значений и практические границы рассеивания параметров клубней, коэффициенты формы и регрессии между массой и произведением размеров клубня. – *Табл. 5, библиогр. 5.*

Komlach D.I.

Analysis of size and weight characteristics of potato tubers

The article studies the weight and size of tubers of potato of different varieties, determines, by statistical processing of the measurements, the interval estimates of average values and the practical limits of dispersion of tubers parameters, coefficients of the form and regression between the weight and the size of the tuber.

УДК 631.362.3:633.491

Еднач, В.Н. **Повышение эффективности предпродажной подготовки картофеля** / В.Н. Еднач, Г.А. Радисhevский, Д.И. Комлач, А.Л. Рапинчук // 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. 181–187.

В статье предложена конструкция сортировальной поверхности, способная обеспечить эффективное удаление почвенных и растительных примесей, а также сортировку клубней на четыре фракции с минимальными повреждениями. – *Рис. 5, библиогр. 4.*

Ednach V.N., Radishevsky G.A., Komlach D.I., Rapinchuk A.L.

Increase of efficiency of pre-sale preparation of potato

The article proposes a design of the sorting surface, capable of providing an effective removal of soil and vegetable impurities, as well as the sorting of tubers into four fractions with minimum damages.

УДК 631.356:005.512

Рапинчук, А.Л. **Обоснование основных кинематических параметров вибрационного подкапывающего устройства корнеплододоборочных машин** / А.Л. Рапинчук, И.А. Барановский // 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. 187–195.

В предлагаемой статье выполнен расчет механизма привода подкапывающего устройства вибрационного действия для уборки столовых корнеплодов. – *Рис.4, библиогр. 1.*

Rapinchuk A.L., Baranowski I.A.

Substantiation of basic kinematic parameters of vibration digging device of fruits and vegetables harvesters

The paper perform the valuation of the drive mechanism of the vibration digging device used for harvesting edible fruits and vegetables.

УДК 677.051.38

Лачуга, Ю.Ф. **Состояние и перспективы разработки технологии и оборудования для получения однотипного льноволокна** / Ю.Ф. Лачуга, М.М. Ковалев, А.П. Апыхин, В.П. Чеботарев, В.М. Изоитко // 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. 195–202.

Приведен анализ конструктивно-технологических схем линий обескостривания льноссырья для получения однотипного льноволокна из низкосортной льнотресты и отходов трепания. Предложена модернизированная технологическая схема линии для получения однотипного льноволокна, основанная на изменении последовательности выполнения технологических операций и применении двух трепальных секций в ней. – *Табл. 4, библиогр. 5.*

Lachuga U.F., Kovalev M.M., Apykhin A.P., Chebotarev V.P., Izoitko V.M.

The state and prospects of developing the technology and equipment for obtaining one-type flax fibre

The article present an analysis of construction-engineering schemes of lines for removing shives from flax stock with the aim of obtaining one-type fiber of flax from low grade flax straw and waste from scutching. It puts forward a modernized process line for obtaining one-type fiber based on the change of the sequence of operations execution and application of two scutching sections in it.

УДК 631.363.284

Лойко, С.Ф. **Исследование траектории движения пресс-подборщиков относительно ленты льнотресты** / С.Ф. Лойко, А.Н. Перепечаев, М.Н. Трибуналов // 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. 203–206.

С целью изучения влияния типа пресс-подборщика на растянутость стеблей в ленте и рулоне были проведены исследования траекторий движения агрегата.

Приведенные в статье расчеты показывают, что наименьшее отклонение от края ленты льна имеют самоходные пресс-подборщики «Depoortere» и «Dehondt». Самоходные пресс-подборщики позволяют наилучшим образом производить подбор лент льна, что в дальнейшем будет положительно ска-

зываются на выходе длинного волокна при обработке. – *Рис. 3, табл. 1, библиогр. 2.*

Loyko S.F., Perepechaev A.N., Tribunalov M.N.

Research of mechanical trajectory of balers relative to the belt of flax straw

A research of mechanical trajectory was carried out to study the influence of baler on the tension level of stems in the ribbon and in the roll.

According to calculations presented in the paper, self-propelled balers «Depoortere» and «Dehondt showed the smallest deviation from the edge of flax ribbon. Self-propelled balers can in the best way make the selection of flax ribbons which will subsequently have a positive impact on the output of long fibers during processing.

УДК 631.358

Ковалев, М.М. **Исследование процесса разбрасывания отсепарированного льновороха** / М.М. Ковалев, Р.А. Ростовцев, Д.Ю. Лачуга В.П. Чеботарев, А.Н. Перепечаев, С.Ф. Лойко // 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. 207–212.

В статье приведен анализ разбрасывания сыпучих материалов механизмом кулисного типа. Разработан алгоритм определения параметров и режимов его работы. – *Рис. 3, библиогр. 4.*

Kovalev M.M., Rostovtsev R.A., Lachuga D.Y.,
Chebotarev V.P., Perepechaev A.N., Loiko S.F.

Research of the process of spreading the separated flax heap

The article presents an analysis of bulk materials spreading with the rocker mechanism. It describes an algorithm for determining the parameters and modes of its operation.

УДК 631.626.2

Басаревский, А.Н. **Результаты испытаний экскаватора-дреноукладчика с лазерным уклономером ЭТЦ-203** / А.Н. Басаревский, С.П. Кострома, И.Е. Мажугин // 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. 212–218.

В статье приведены основные результаты испытаний экскаватора-дреноукладчика с лазерным уклономером ЭТЦ-203. Представлено описание конструкции и рабочего процесса экскаватора-дреноукладчика. – *Рис. 3, табл. 1, библиогр. 4.*

Basarevski A.N., Kostroma S.P., Mazhuhin I.E.

Results of tests of a drainage machine with laser inclinometer ETC-203

The article shows the main results of testing of drainage machine with laser inclinometer ETC-203, as well as describes the design and operation process of the machine.

Юрин, А.Н. **Агрегат самоходный универсальный АСУ-6 для уборки плодов и обрезки деревьев в садах интенсивного типа** / А.Н. Юрин, А.А. Лях, В.М. Резвинский, А.Д. Кузнецов // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 1. – С. 218–224.

В настоящее время актуальным является создание в республике самоходного технического средства, обеспечивающего максимальную механизацию технологических процессов обрезки деревьев и качественную уборку плодов. Для выполнения таких операций в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с РУП «Минский тракторный завод» был разработан агрегат самоходный универсальный с поточным контейнеровозом АСУ-6.

Приведена техническая характеристика агрегата АСУ-6, а также показатели его экономической эффективности. – *Рис. 3, табл. 2, библиогр. 3.*

Yurin A.N., Lyakh A.A., Rezvinsky V.M., Kuznetsov A.D.
**Self-propelled all-purpose unit ASU-6 for harvesting fruits
and pruning trees in the gardens of intensive type**

It is topical nowadays in our country to create a self-propelled process unit enabling the maximum mechanization of the processes of trees pruning and fruits harvesting. To perform such operations, specialists from the RUE «SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization» jointly with the «Minsk Tractor Works» developed a self-propelled unit with flow container car ASU-6.

The paper shows technical features of the unit ASU-6, as well as its economic effectiveness.

Иванов, В.П. **Сохранность деталей при разборке агрегатов** / В.П. Иванов, А.П. Кастрюк // 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. 224–232.

Проведен анализ возникающих повреждений деталей при разборке авто-тракторных двигателей. Представлены результаты исследований распределения моментов отворачивания гаек крепления головки цилиндров, а также усилия сборки и разборки прессового соединения и рассеяние их значения на примере установки и снятия шестерни коленчатого вала автомобильного двигателя. Предложены организационные и технологические меры по предохранению деталей от разрушения при разборке агрегата. – *Рис. 4, табл. 6, библиогр. 2.*

Ivanov V.P., Kastruk A.P.
Preservation of components during units disassembly

The paper shows the results of analysis of damage to components during motor and tractor engine disassembly. It presents the results of studies into moment distribution of unscrewing the nuts of cylinder head mounting as well as the efforts of assembly and disassembly of press-fit connection and dispersion of their values on the example of installation and removal of the crankshaft pinion of a car engine. It puts forward organizational and engineering measures to prevent the destruction of parts during disassembly of units.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<i>Самосюк В.Г.</i> Основное направление научно-технической политики Республики Беларусь в области механизации растениеводства до 2015 и на период до 2020 года	3
<i>Тарасенко В.Е., Жешко А.А.</i> Вероятность переохлаждения и перегрева двигателя трактора	14
<i>Тарасенко В.Е., Жешко А.А.</i> Эксплуатация дизельных двигателей при использовании растительного топлива	18
<i>Орда А.Н., Шкляревич В.А., Воробей А.С.</i> Результаты экспериментальных исследований по определению нормальных напряжений в почве под колесом методом физического моделирования	29
<i>Лепешкин Н.Д., Мижурин В.В., Зенов А.А.</i> Об использовании машин для вертикальной обработки почвы в условиях Республики Беларусь	37
<i>Чеботарев В.П., Салапура Ю.Л., Зубенко Д.В.</i> Исследование процесса движения частиц посевного материала в распределителе вертикального типа пневматической зерновой сеялки	43
<i>Лепешкин Н.Д., Медведев А.Л., Мижурин В.В., Зубенко Д.В.</i> Активирующее воздействие лопастей ворошителя-нагнетателя на посевной материал	52
<i>Лепешкин Н.Д., Тоцицкий А.А., Костюков П.П., Мстиславская Н.С.</i> Результаты испытаний агрегата безотвальной обработки почв АБТ-4 на суглинистых почвах	56
<i>Смирнов А.Н., Лепешкин Н.Д.</i> Энергосберегающий процесс совмещенной разгрузки ковша одноковшового погрузчика	63
<i>Лепешкин Н.Д., Костюков П.П., Павловский Г.И., Шибут Е.Л.</i> Результаты испытаний плуга полунавесного оборотного ПО-(6+4)-40/45	68
<i>Лепешкин Н.Д., Сядура А.В., Козлов Н.С., Мижурин В.В.</i> К выбору конструкторско-технологической схемы широкозахватного почвообрабатывающе-посевного агрегата для условий Республики Беларусь	74
<i>Шевченко И.А., Лабатюк Ю.М.</i> Методика экспериментальных исследований процесса взаимодействия рабочих органов ярусного глубокорыхлителя с почвой	80
<i>Лепешкин Н.Д., Зенов А.А.</i> Исследование уровня патентования рабочих органов машин для почвозащитного земледелия	85

<i>Авдеев Ю.В., Кононов А.Д., Кононов А.А.</i> Система дистанционной передачи команд управления движением машинно-тракторных агрегатов	89
<i>Салатура Ю.Л., Марышев В.Ф., Зубенко Д.В., Новиков А.В.</i> Результаты экспериментальных исследований питателя эжекторного типа зерновой пневматической сеялки	97
<i>Лепешкин Н.Д., Смирнов А.Н., Сологуб Н.Ф., Савчук С.В.</i> Результаты испытаний опытного образца сеялки пневматической С-9	104
<i>Чеботарев В.П., Барановский И.В., Немцев П.М., Жилич Е.Л.</i> Обоснование параметров устройства ввода зерна в пневмосепарирующий канал в виде питающего валика	109
<i>Перепечаев А.Н., Гриньков С.Г.</i> Эффективность применения раздельной уборки в сравнении с прямым комбайнированием	115
<i>Чеботарев В.П., Барановский И.В., Новиков А.В., Непарко Т.А.</i> Подбор, расчет и оптимизация технологических параметров машин зерноочистительно-сушильного комплекса	119
<i>Чеботарев В.П., Барановский И.В., Новиков А.В., Непарко Т.А.</i> Технологические основы и характеристика процессов сепарирования	123
<i>Степук Л.Я., Жешко А.А., Дыба Э.В.</i> Обоснование шага установки дисков и расстояния между их рядами в адаптере для внутривспашечного внесения жидкого навоза	132
<i>Степук Л.Я., Жешко А.А., Дыба Э.В.</i> Обоснование типа рабочего органа для внутривспашечного внесения жидкого навоза	140
<i>Бегун П.П.</i> К вопросу определения производительности лопастного барабана выравнивающего устройства	146
<i>Кудря В.А., Калнагуз А.Н.</i> Результаты исследований энергозатрат агрегата для внесения твердых органических удобрений с боковым выбросом	152
<i>Лысенко Д.Н., Киселев А.В.</i> Определение пространственной ориентации стебля сухой листостебельной массы на фракционирующих барабанах	157
<i>Козлов Н.С.</i> Анализ почвообрабатывающих машин для послепосевочного измельчения высокостебельных культур	160
<i>Комлач Д.И., Голдыбан В.В., Рапинчук А.Л.</i> Расчет шнекового сепаратора картофелеуборочных машин	166

Комлач Д.И., Урамовский Ю.М., Еднач В.Н., Танась В. К вопросу сортирования клубней на роликовых сортировальных поверхностях	172
Комлач Д.И. Анализ размерно-весовых характеристик клубней картофеля	175
Еднач В.Н., Радишевский Г.А., Комлач Д.И., Рапичук А.Л. Повышение эффективности предпродажной подготовки картофеля	181
Рапичук А.Л., Барановский И.А. Обоснование основных кинематических параметров вибрационного подкапывающего устройства корнеплодуборочных машин	187
Лачуга Ю.Ф., Ковалев М.М., Аныхин А.П., Чеботарев В.П., Изоитко В.М. Состояние и перспективы разработки технологии и оборудования для получения однотипного льноволокна	195
Лойко С.Ф., Перепечаев А.Н., Трибуналов М.Н. Исследование траектории движения пресс-подборщиков относительно ленты льнотресты	203
Ковалев М.М., Ростовцев Р.А., Лачуга Д.Ю., Чеботарев В.П., Перепечаев А.Н., Лойко С.Ф. Исследование процесса разбрасывания отсепарированного льновороха	207
Басаревский А.Н., Кострома С.П., Мажугин И.Е. Результаты испытаний экскаватора-дреноукладчика с лазерным уклономером ЭТЦ-203	212
Юрин А.Н., Лях А.А., Резвинский В.М., Кузнецов А.Д. Агрегат самоходный универсальный АСУ-6 для уборки плодов и обрезки деревьев в садах интенсивного типа	218
Иванов В.П., Кастрюк А.П. Сохранность деталей при разборке агрегатов	224
РЕФЕРАТЫ	233

Научное издание

Механизация и электрификация сельского хозяйства

Межведомственный тематический сборник

Выпуск 47

в 2 томах

Том 1

Ответственный за выпуск С.Н. Поникарчик

Редактор А.С. Борейша

Компьютерная верстка Н.С. Лаврентьева

Корректор С.Г. Пунько

Подписано в печать 02.12.2013. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 14,65. Уч.-изд. л. 13,62. Тираж 100 экз. Заказ 526.

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

ЛИ № 02330/0548563 от 26.06.2009.

Ул. Кнорина, 1, 220049, Минск.

Отпечатано в типографии РУП «НПЦ НАН Беларуси
по механизации сельского хозяйства».

Ул. Кнорина, 1, корп. 3, 220049, Минск.
