РАЗДЕЛ 3. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

УДК 629.113.004

Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

Стаття розкриває нові методи технічного обслуговування заснованіна різних показниках надійності МТА. У статті розкритий коефіцієнт вартості експлуатації, що виявляє економічну оцінку експлуатаційних властивостей МТА.

Ключові слова: *машинно-тракторний агрегат, знос, метод, технічне обслуговування, коефіцієнт.*

Статья раскрывает новые методы технического обслуживания, основанные на различных показателях надёжности МТА. В статье раскрыт коэффициент стоимости эксплуатации, являющийся экономической оценкой эксплуатационных свойств МТА.

Ключевые слова: *машинно-тракторный агрегат, износ, метод, техническое обслуживание, коэффициент.*

Article opens new methods of maintenance based various indicators of reliability of the machine and tractor unit. In article it is opened to factor of cost of the operation, showing by an economic assessment of operational properties of the machine and tractor unit.

Key words: *machine and tractor unit, wear, method, maintenance, factor.*

Постановка проблемы. Машинный агрегат – это сочетание энергетической части, передаточного механизма и рабочей машины. В машинно-тракторном агрегате (МТА) в качестве энергетической части используется трактор, а в качестве рабочей машины – сельскохозяйственные машины различного типа и назначения.

Работоспособность и эффективность использования МТА в сельском хозяйстве Украины во многом зависит от надёжности его узлов и деталей. Однако вследствие износа под действием различных нагрузок у МТА возникают отклонения в выполнении определённого технологического процесса – неисправности [1].

В современных рыночных условиях сельскохозяйственная продукция должна быть конкурентоспособной. Для выполнения этой задачи требуется повышение производительности труда в 2–3 раза. Однако до 65% от всего времени эксплуатации при сезонных работах сельскохозяйственная техника простаивает по причинам несовершенства технической эксплуатации – технического сервиса.

В связи с этим необходимо усовершенствовать планово-предупредительную систему технического обслуживания (ТО) и ремонта, особенно в период полевых работ, за счёт создания новых ресурсосберегающих технологий и комплекса мобильных технических средств, которые способны обеспечить своевременное техническое воздействие за короткий промежуток времени, тем самым повышая оперативную и техническую готовность техники для выполнения полевых работ.

Анализ литературы. Изучению основ технологий технического обслуживания МТА посвящены работы таких учёных, как В. Ф. Ванчукевич [1], У. А. Абдулгазис [2], И. М. Бендера, С. М. Грушецкий, П. И. Роздорожнюк, Я. М. Михайлович [3], С. И. Беляева [4] и др.

Как показывает анализ литературных источников [1; 2], существуют МТА с тремя усреднёнными показателями надёжности: низким показателем надёжности (0,1–0,4); средним показателем надёжности (0,5–0,7); высоким показателем надёжности (0,8–0,95). Для МТА с такими различными показателями надёжности нельзя применять только один обобщённый метод ТО (маршрутный с применением технологических карт на ТО). Это приведёт к неравноценной наработке МТА с различными показателями надёжности при выходе из ТО.

Целью статьи является усовершенствование методов технического обслуживания машинно-тракторных агрегатов на основе базисного метода ТО – маршрутного, путём создания новых методов на основе показателей надёжности.

Изложение основного материала. Для предупреждения неисправностей и обеспечения нормального технического состояния необходимо использовать новые методы ТО.

Данные методы представляют собой определенную совокупность технических воздействий при техническом обслуживании МТА и являются различными специализациями, выделенными из одного базисного метода ТО – маршрутного. Специализации дают возможность составить разные совокупности методов ТО МТА в зависимо-

сти от их показателей надёжности и их обосновать. Выделяются три основных метода ТО.

Профилактический метод ТО (МТА с низким показателем надёжности) – это совокупность следующих видов технических воздействий на МТА:

1) *технический контроль*; при этом осуществляется постоянный сплошной децентрализованный контроль основных параметров машинно-тракторного агрегата для оценки его функционирования; при установке компьютеризированной системы управления о результатах контроля оповещает звуковая сигнализация и показ алгоритма данных на дисплее бортового компьютера;
2) *профилактика по календарному принципу*;
3) *текущее техническое обслуживание*.

При профилактическом методе ТО основным видом технических воздействий является профилактика, целью которой является предотвращение возникновения повреждений, а также обнаружение и устранение имеющихся повреждений до того как они скажутся на работе МТА [2].

У профилактического метода есть свои особенности:

- не допускаются колебания качества выполнения технологических операций МТА;
- для поддержания качества работы МТА на должном уровне требуются высокие трудозатраты, которые обусловливают и высокие эксплуатационные расходы;
- на время профилактического технического обслуживания МТА снимается с эксплуатации, поскольку часть работ проводится в мастерской хозяйства;
- при проведении ТО механизатор может случайно внести дополнительные повреждения; статистика показывает, что у МТА с низкой надёжностью количество повреждений зависит от правильности выполнения операций ТО;
- профилактическое ТО не должно проводиться без диагностики текущего состояния МТА, что может сделать неэффективным этот метод технического обслуживания, если не выполнять диагностирование.

При профилактических проверках устраняются неисправности в МТА, имеющиеся в данный момент времени.

Контрольно-корректирующий метод ТО (МТА со средним показателем надёжности) – это совокупность следующих технических воздействий на МТА:

1) *технический контроль двух видов*:
- постоянный сплошной децентрализованный контроль основных параметров МТА для оценки его функционирования; о результатах контроля оповещает звуковая сигнализация и показ алгоритма данных на дисплее бортового компьютера [6];
- выборочный (статистический) контроль параметров МТА, который может быть постоянным и периодическим, децентрализованным и централизованным; наиболее распространен постоянный децентрализованный вариант; в процессе осуществления этого вида диагностирования решается задача контроля работоспособности МТА;

2) *профилактика по временному принципу*; эта профилактика проводится по результатам выборочного контроля с учетом состояния МТА;
3) *текущее техническое обслуживание*.

Основными видами работ при этом методе ТО являются выборочный контроль и корректировка по его результатам состояния МТА путем проведения профилактических мероприятий – ресурсной диагностики.

У контрольно-корректирующего метода есть свои особенности:

- допускаются колебания качества работы МТА, так как профилактика проводится только в том случае, если качество выполнение технологического процесса ниже допустимой нормы [2]. При этом трудовые затраты на ТО значительно меньше, чем при профилактическом методе, а следовательно, меньше и эксплуатационные расходы;
- профилактика проводится с учетом состояния МТА, поэтому при частых изменениях состояния контрольно-корректирующий метод перерождается в профилактический метод, следовательно, необходимо определить условия применения этого метода ТО.

При контрольно-корректирующем методе мастер находится в помещении, отделенном от мастерской. В этом помещении находится ЭВМ, которое обеспечивает постоянный статистический контроль за работой МТА и качеством его обслуживания, регистрирующее данные контроля приёмником DGPS, поступающие с бортовых компьютеров управления трактора и агрегата посредством системы DGPS навигации [6].

Таким образом, контрольно-корректирующий метод связан с централизацией сбора информации о техническом состоянии всей системы МТА.

Восстановительный метод ТО (МТА с высоким показателем надёжности) – это совокупность следующих технических воздействий на МТА:

1) *технический контроль*; проводится постоянный, сплошной, дистанционный, централизо-

ванный контроль основных параметров машинно-тракторного агрегата для оценки его работоспособности; о результатах контроля сообщает приёмник DGPS, выведенный на пульт диспетчерской;

2) *текущее техническое обслуживание*, в результате которого происходит восстановление МТА.

При восстановительном методе ТО основным видом работы является восстановление.

У восстановительного метода есть свои особенности:

- допускаются колебания качества работы МТА, поскольку не производится профилактика технических отказов, следовательно, при этом методе ТО трудовые затраты и эксплуатационные расходы в целом меньше, чем при контрольно-корректирующем методе;
- профилактические мероприятия при восстановительном методе не проводятся, поэтому при частых колебаниях качества выполнения технологической операции МТА обслуживающий мастер не сможет отойти от такого оборудования, следовательно, необходимо определить условия применения этого метода;
- требуются дополнительные капитальные и эксплуатационные затраты на организацию дистанционного централизованного контроля, которые должны быть компенсированы за счет преимуществ восстановительного метода.

При проведении ТО по восстановительному методу обслуживающий мастер сосредоточен в одном центре, куда на диспетчерский пульт выведена сигнализация с контролируемых технических параметров машинно-тракторного агрегата. Ремонтные бригады выезжают на проведение ТО либо текущего ремонта в зависимости от вида отказа.

Выбор метода ТО данного МТА зависит от его надежности. Для высоконадежного МТА, например МТА фирмы AMAZONE, рекомендуется восстановительный метод, для МТА с невысокими показателями надежности – профилактический [6].

Каждый МТА обладает свойством надежности, численное значение которой колеблется от 0 до 1. При значении показателей надежности, равных 1, МТА абсолютно надежен и технического обслуживания не требует. Поэтому предлагается использовать коэффициент стоимости эксплуатации, который является экономической оценкой эксплуатационных свойств любого оборудования. Под коэффициентом стоимости эксплуатации $k_{сэ}$ понимают отношение стоимости эксплуатации МТА в течение года Э к стоимости его производства, которую можно выразить через капитальные затраты К. При расчете $k_{сэ}$ в знаменатель можно поставить или полную сумму капитальных вложений, или приведенную к году через коэффициент эффективности капитальных вложений (ЭКВ), что приведёт числитель и знаменатель в единые временные рамки.

Выводы. Изменение одной составляющей коэффициента стоимости эксплуатации влечет за собой изменение другой составляющей, так как они связаны. Создание более надежного оборудования требует увеличения затрат на его производство. В состав этих затрат входят разработка оборудования, специальные испытания и отбор более надежных комплектующих и материалов, обеспечение разгруженных режимов за счет выбора большого коэффициента запаса по нагрузке, резервирование отдельных узлов, системы контроля работоспособности МТА и прогнозирования отказов и др. При этом расходы на содержание МТА в период эксплуатации уменьшаются, т. е. стремятся к 0, а приведенные затраты (С = ЭВК+Э) стремятся к ЭВК. Рекомендуемые методы ТО МТА, в зависимости от их показателей надёжности, позволят поддерживать ресурс на необходимом уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ванчукевич В. Ф. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей / В. Ф. Ванчукевич, В. Седюкевич. – Минск : Ураджай, 1987. – 120 с.
2. Технологія технічного обслуговування сільськогосподарської техніки : навчальний посібник / [Л. Ф. Бабицький, І. В. Соболевський, У. А. Абдулгазіс, В. Ю. Москалевич, В. О. Куклін]. – Сімферополь : ДІАЙПІ, 2011. – 447 с.
3. Технологія технічного обслуговування машин : [навч. посіб. для студентів інжен. спец. зі спеціалізації «Технічний сервіс» на осв.-кваліф. рівні «Спеціаліст», «Магістр»] / [І. М. Бендера, С. М. Грушецький, П. І. Роздорожнюк, Я. М. Михайлович]. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2010. – 320 с.
4. Беляева С. И. Имитационное моделирование систем массового обслуживания / С. И. Беляева. – Горький : ГПИ, 1988. – 52 с.
5. Фирменный ремонт машин / [А. Халаберда, В. Кветкин, К. Дементьев, К. Максимов] // Плановое хозяйство. – 1986. – № 3. – С. 99–105.
6. AMAZONE – надежный партнер сельского хозяйства [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:DsOXMITMgcgJ:www.promintel-agro.ru/netcat_files/userfiles/pdf/amazone/amazone.pdf+info%40amazone.ru&hl=ru&gl=ua&pid=bl&srcid=ADGEESipJaDkEQix7dTHoqtg-CxJFu4tEllNe8b7kdIA_zU85SY2MKgjLrxE1zc6Y2bkLjL3O0RaMFXXTf6kdYIS8EZ8rT7Bp5qqVp83Cbl2AavfOLk24SI4TAnaZ9D7MHxU8G2x_-oI&sig=AHIEtbT2uaxz8JdDbtJzPuvdCGL-DC5Fig.

УДК 631.348:632.934

Бекиров Р. Н.

МОЩНОСТЬ, ПОТРЕБНАЯ НА ПЕРЕМЕШИВАНИЕ И СОЗДАНИЕ ОДНОРОДНОЙ СМЕСИ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ В РЕЗЕРВУАРАХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ

У роботі надається обґрунтування потрібної потужності задля перемішування робочої рідини і створення однорідної суміші в резервуарах обприскувачів, оздоблених гідравлічними мішалками.

Ключові слова: *порошкоподібний препарат, тверда частка, перемішування, швидкість осідання, швидкість витікання перемішуючих струменів, потужність.*

В работе даётся обоснование потребной мощности на перемешивание рабочей жидкости и создание однородной смеси в резервуарах опрыскивателей, оснащённых гидравлическими мешалками.

Ключевые слова: *порошкообразный препарат, твёрдая частица, перемешивание, скорость оседания, скорость истечения перемешивающих струй, мощность.*

In this work we are specifying the power necessary for interfusion of working liquid and creation of homogeneous mixture in the reservoirs of sprinklers with hydraulic mixers.

Key words: *powdery preparation, hard particle, interfusion, speed of settling, speed of expiration of mixing streams, power.*

Постановка проблемы. Наиболее трудоёмким процессом применения химических средств защиты растений остаётся подготовительный процесс. Это обусловлено как широким ассортиментом самих препаратов, так и формой их поставки сельскому хозяйству.

На подготовку препаратов к применению требуются трудозатраты, превышающие в 1,5–2 раза и более само опрыскивание посевов или внесение под посев [1].

Эффективность применения препаратов в виде рабочих жидкостей зависит от многих факторов. Это прежде всего качество приготовления рабочей жидкости (заданная концентрация, однородность, стабильность состава), сохранение заданной нормы внесения и заданной концентрации препарата в рабочей жидкости от начала до конца работы опрыскивающего агрегата.

Анализ научной литературы. Исследованиями подготовки рабочих жидкостей опрыскивания занимались такие ученые, как В. А. Вялых [2], Е. Э. Дибнер [3], С. П. Тимошенко [4] и др.

Подготовка рабочих жидкостей включает в себя растаривание препаратов, приготовление маточных концентратов и рабочих жидкостей, транспортировку и заправку ими опрыскивателей для дальнейшего использования, на что трудозатраты и затраты времени составляют более 50–60%.

Существуют такие препаративные формы применения химических средств: смачивающие порошки (с. п.), концентраты эмульсий (к. э.), пасты, водные растворы (в. р.) и другие препаративные формы (коллоидные растворы, концентрированные суспензии, концентрированные растворы для УМО).

Равномерное распределение твёрдых, нерастворимых частиц препарата осуществляется направленными движениями струй жидкости в резервуарах с помощью мешалок (гидравлических, механических).

С. П. Тимошенко [4] изучал при гидравлическом перемешивании характер и направление циркуляции жидкости в резервуаре в зависимости от соотношения размеров резервуара, количества сопел, их диаметра и места установки в резервуаре, и от начальных параметров истечения перемешивающей струи (скорости истечения, начального диаметра и условия её распространения), но при этом он исследовал только струи, направленные горизонтально по длине резервуара.

При этом из-за местных сопротивлений (углы стыка стенок и обечайки) создаются «мёртвые» или застойные зоны [4], где жидкость задерживается, чем ухудшается однородность состава.

Н. П. Худолий [5] приходит к выводу, что эти «мёртвые» зоны могут быть уменьшены при увеличении «смывающей» скорости перемешивающей струи жидкости.

В наших исследованиях [6] струю, направленную поперёк продольной оси резервуара, движущуюся снизу вверх или сверху вниз, условились считать вертикально направленными.

Цель исследований – обосновать потребную мощность на перемешивание рабочей жидкости в резервуарах с вертикально направленными струями при применении гидравлических мешалок.

Изложение основного материала. Повышению эффективности применяемых химических препаратов, уменьшению загрязнения ок-

ружающей среды, а также сокращению материальных и трудовых затрат прежде всего способствует строгое выполнение установленных требований и правил их применения, из которых наиболее важные такие:

- внесение химпрепаратов рекомендованными нормами расхода, с учетом концентрации и формы поставки препарата, требуемой концентрации рабочей жидкости;
- однородность состава приготовленной рабочей жидкости и стабильность ее по времени как при транспортировке до опрыскивателей, заправке, так и при применении (допустимые отклонения однородности состава рабочей жидкости в резервуарах опрыскивателей с начала и до полного их опорожнения должны соответствовать требованиям ГОСТ 5731-75 и другим требованиям по плотности покрытия обрабатываемого объекта, регулировке опрыскивателя на заданный режим работы).

Из анализа вышеуказанных работ и, исходя из конструктивного расположения гидромешалок хлопковых и других опрыскивателей, нами был сделан вывод, что распространение струй гидромешалок идет в ограниченном пространстве со стеснением струи в нижней части резервуара, у днища (рис. 1).

Как видно на рис. 1а, движение жидкости в резервуаре будет идти по следующим направлениям: поток жидкости, направленный к верху, уменьшается по мере снижения уровня жидкости в резервуаре.

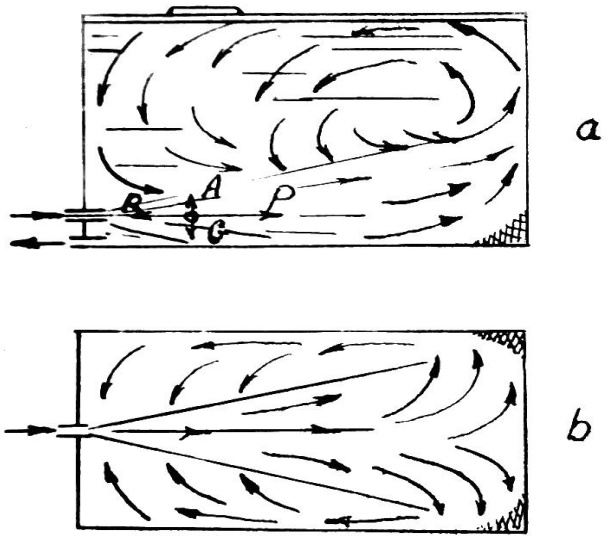


Рис. 1. Схема распространения струи гидромешалки в виде цилиндрической насадки: а – вид сбоку; б – вид сверху.

Силы, действующие на оседающую твердую частицу в горизонтально направленной струе (рис. 1б), таковы: по направлению струи действует движущая сила *P*, противоположно ей – сила сопротивления жидкой среды *R*, вертикально вниз направлена сила тяжести *G*, а вверх – подъемная сила *A*, действующая на тело, погруженное в жидкость.

Так как путь частицы при движении вертикально направленной струи будет равен высоте (диаметру) резервуара, т. е. соотношение длины пути к высоте (диаметру) равна $L / D_р = 1{,}0$, то и потребная критическая скорость в 1,5 раза будет меньше, чем при горизонтально направленной струе.

Следовательно, для обеспечения равномерного распределения частиц в жидкой среде при вертикальноструйном перемешивании потребуется меньше мощности и, исходя из этого, способ вертикальноструйного перемешивания будет более эффективным.

Рассмотрим движение вертикально направленной струи.

Струя, направленная вверх (рис. 2а), создает качественное перемешивание при заполненном резервуаре. Когда уровень жидкости не меняется, что способствует отражению потока от верхнего уровня резервуара и циркуляции жидкости вдоль стенок в поперечном сечении, тогда как струя, направленная вниз (рис. 2б), отражаясь от дна, образует потоки в обе стороны, которые поднимаются вверх, вдоль стенок резервуара, поднимая при этом и оседающие твердые частицы, вплоть до полного опорожнения. Но так как рабочая жидкость постепенно расходуется из резервуара во время работы опрыскивателя, уровень жидкости в резервуаре понижается, что ведет к ухудшению качества перемешивания.

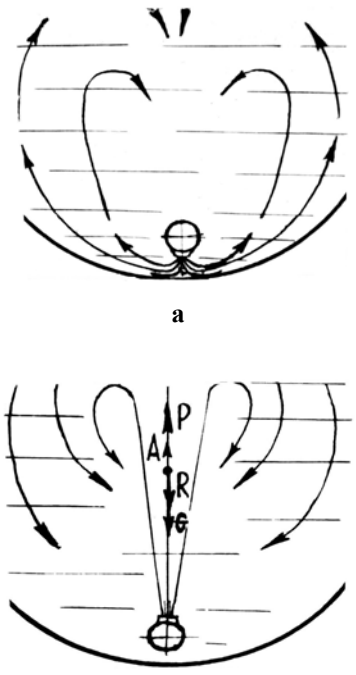
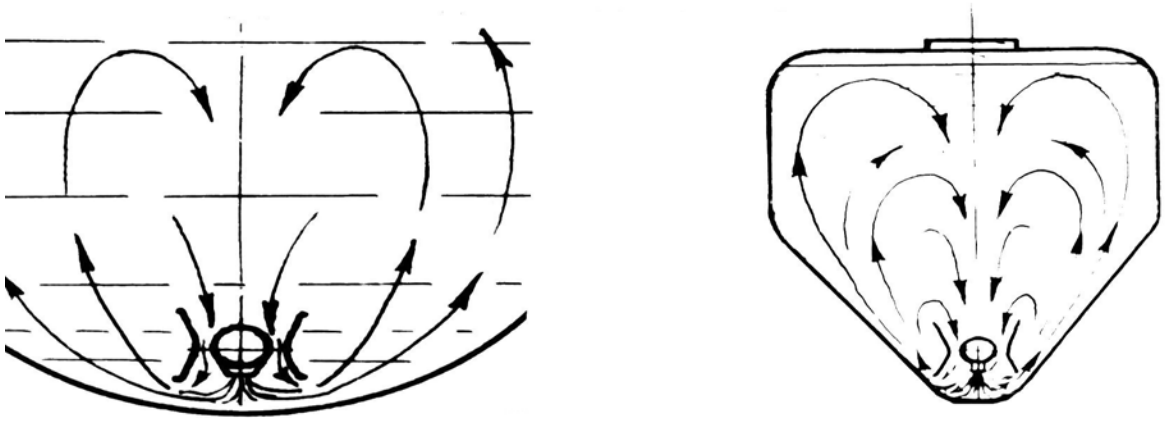


Рис. 2. Схема движения струи: а – направленной снизу вверх, б – направленной сверху вниз.

Таким образом, можно сделать заключение, что при перемешивании суспензий желательно отдать предпочтение струям, направленным вертикально вниз, т. е. ко дну резервуара.

Задача вертикальноструйной гидромешалки – не только поднимать оседающие твердые частицы препарата, но и равномерно распределять их в перемешиваемом объеме жидкости. Поэтому для обеспечения направленности и циркуляции потоков возник вопрос о необходимости установки направителей, расположенных симметрично с двух сторон гидромешалки с расширением в сторону движения струи (рис. 3).



I II

Рис. 3. Схема перемешивания рабочей жидкости вертикальноструйной гидромешалкой с направителями в резервуаре опрыскивателя: I – круглого сечения; II – трапециевидного сечения.

Подбор определенных установочных размеров направителей относительно насадок гидромешалки способствует созданию дополнительного эжекционного эффекта (рис. 4). На разработанную вертикальноструйную гидромешалку с направителями получен патент [7].

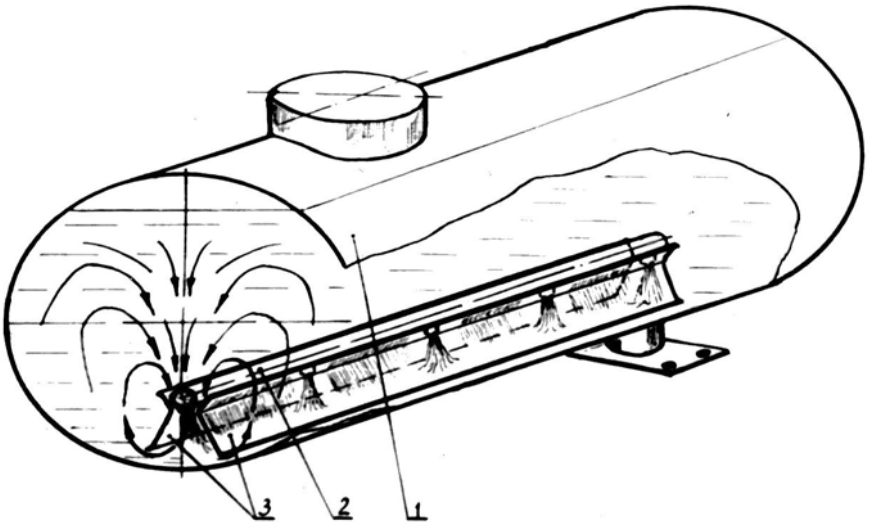


Рис. 4. Схема установки вертикальноструйной гидромешалки с направителями в цилиндрическом резервуаре: 1 – резервуар; 2 – труба с насадками; 3 – направители [7].

Равномерность перемешивания рабочей жидкости в резервуаре можно обеспечить заданной скоростью истечения перемешивающих струй из насадков, что зависит от необходимого размера выходного отверстия, числа насадков по длине резервуара, концентрации препарата в рабочей жидкости, то есть заправочной дозы/массы препарата в нем.

Допустив, что твердая частица препарата сферическая, оседание их равномерное, уравняв силу тяжести частицы с силой сопротивления среды ее оседания и выразив удельные веса твердых частиц и жидкости через их плотности, определили скорость оседания твердых частиц в жидкой среде или ее гидравлическую крупность [8]:

$$w = \sqrt{\frac{2dg}{3K_1}\left(\frac{\rho_1}{\rho_ж} - 1\right)}, \qquad (1)$$

где d – диаметр оседаемой частицы препарата, м; ρ_1, $\rho_ж$ – плотности, соответственно, твердых частиц и жидкости, кг/м;

K_1 – опытный коэффициент (для твердых частиц сферической формы $K_1 = 0{,}5$)

$$P = K_1 \frac{\rho_ж}{g} \times F w^2; \qquad (2)$$

где P – лобовое сопротивление твердой частицы, Н;
F – площадь проекции частицы, перпендикулярная направлению движению, м^2;
g – ускорение свободного падения, м/с^2;
w – скорость движения частицы, м/с.

Оседаемые частицы с массой, обладающие определенной потенциальной энергией (или кинетической – в момент оседания), могут быть подняты скоростным напором струи вверх только при условии, если

$$Е \geq П,$$

где Е – скоростной напор струй гидромешалки, определяется массовым расходом рабочей жидкости и скоростью истечения струй из насадков гидромешалки,

$$Е = n \times \frac{Q_р \times \rho_ж \times w_{ст}^3}{2}; \qquad (3)$$

П – потенциальная энергия оседаемых частиц, $П = \Sigma m_i \times g \times h$.

Таким образом имеем

$$n = \frac{Q_р \times \rho_ж \times w_{ст}^3}{2g} \geq \sum m_i \times g \times h, \qquad (5)$$

где n – число насадков гидромешалки;
$Q_р$ – объемный расход рабочей жидкости через один насадок, м/с;
ρ_1, $\rho_ж$ – соответственно, плотности твердых частиц и жидкости, кг/м;
$w_{ст}$ – скорость истечения струи жидкости из насадка, м/с;
g – ускорение силы тяжести, м/с^2;
$\sum m_i$ – сумма масс твердых частиц, кг;
h – высота оседания i-ой частицы, м.

Преобразовав (3) в $n \times Q_р \rho_ж w_{ст}^3 \geq \sum m_i g 2gh_i$, и зная, что $2gh_i = w^2$, получили:

$$n \times Q_р \rho_ж w_{ст} \geq \Sigma m_i g w^2, \qquad (6)$$

где w – скорость оседания твердых частиц, или гидравлическая крупность, м/с.

После преобразования и принятия ряда упрощений получили для практического применения выражение скорости истечения перемешивающих струй из насадков гидромешалки в следующем виде:

$$w_{ст}^3 \geq \frac{M 2dg^2}{n Q_р 3K_1 \cdot \rho_ж} \left(\frac{\rho_1}{\rho_ж} - 1 \right), \qquad (7)$$

где $\sum m_i = M$, т. е. равна массе заправленной дозы препарата в резервуаре, и использовав формулу (2), выразили скорость истечения перемешивающих струй.

Расход жидкости через насадок определили из выражения

$$Q_р = \mu \times f \times w_{ст}, \qquad (8)$$

где μ – коэффициент расхода, $\mu = 0{,}60$ [9];
f – площадь поперечного сечения проходного отверстия насадка, м.

Для круглого отверстия $f = \frac{\pi d_н^2}{4}$, где $d_н$ – диаметр отверстия насадка, м.

Подставив значение расхода жидкости (8) в формулу (7) после преобразования, получили:

$$w_{ст}^4 \geq \frac{M}{n d_н^2} \times \frac{8dg^2}{3\mu\pi K_1 \rho_ж} \left(\frac{\rho}{\rho_ж} - 1 \right). \qquad (9)$$

Формулу (9) упростили, приняв

$$w_{ст} \geq \sqrt[4]{\frac{M}{n d_н^2}} C, \qquad (10)$$

где $C = \frac{8dg^2}{3\mu\pi K \rho_{ж1}} \left(\frac{\rho}{\rho_ж} - 1 \right)$

По результатам экспериментальных исследований [6], наибольший размер оседаемых частиц – 90 мкм, плотность препарата и жидкости, соответственно, 1470 и 1006,3 кг/м^3, отсюда $C = 24{,}6 \times 10^{-6}$ м^6/кг с^4. (4)

Формула (10) применима для установившегося процесса перемешивания в резервуаре, а для начала циркуляции взвеси требуется больший расход гидромешалки.

И. Мори [10], проводивший исследования по перемешиванию с водой порошкообразного препарата и песка с размерами частиц более 40 мкм, установил, что в рабочих жидкостях с концентрацией 16 кг/м порошка для создания условий подъема твердой фазы и начала циркуляции взвеси требуется в 4–5 раз больше объемного расхода перемешивающей смеси гидромешалки, чем для поддержания постоянной циркуляции той взвеси в резервуаре.

В условиях хлопководства концентрация препарата в резервуарах равно 15–20 кг/м^3, т. е. аналогична указанным выше условиям. Поэтому для практического применения формула (10) была приведена к следующему виду:

$$w_{ст} = K_ц \sqrt[4]{\frac{M}{nd^2}} \times C, \qquad (11)$$

где $K_ц$ – коэффициент циркуляции, равный 4,5–6,0.

Зная силу сопротивления жидкой среды движению твердых частиц препарата и скорость истечения перемешивающих струй из насадок гидромешалки (10), пользуясь известной формулой, определяем N:

$$N = \frac{P_с \times w_{ст}}{102}, \qquad (12)$$

где N – потребная мощность на перемешивание рабочей жидкости в резервуарах опрыскивателя, кВт;

$P_с$ – суммарная сила сопротивления движению твердых частиц препарата при перемешивании суспензии в резервуаре, Н;

$w_{ст}$ – скорость истечения перемешивающих струй из насадков гидромешалки, м/с.

Практически концентрация препарата в рабочей жидкости в полевых условиях не превышает 5% и, предполагая, что при однородной смеси в каждой площади сечения резервуара суммарная площадь частиц препарата составит эти же проценты от всей площади сечения, расчетная суммарная площадь проекции частиц составит $\sum f$ = 0,444 мм^2 (для резервуара цилиндрической формы, длиной Z = 1000 мм, диаметром D = 650 мм). Подставив в формулу (12) значения $P_с$ из выражения (9) и $w_{ст}$ из выражения (10) получим потребную мощность:

$$P_с = K_1 \frac{\rho_ж}{g} (\sum F) W^2 ;$$

$$N = \frac{K_1 \frac{\rho_ж}{g} (\sum F) w^2 K_ц \sqrt{\frac{M}{n d_н^2} \cdot C}}{102} . \qquad (13)$$

Зная, что скорость оседания твердой частицы определяется выражением $w = \sqrt{2gh_i}$,

где h_i – высота оседания i-ой частицы на дно резервуара, подставим значение в формулу (13) и, преобразовав ее, получим:

$$N = \frac{K_1 \times \rho_ж \sum F \times 2h_i K_ц \sqrt{\frac{M}{n d_н^2}} \times C}{102} . \qquad (14)$$

Полученное выражение (14) позволяет проводить практические расчеты по определению требуемой мощности на перемешивание рабочей жидкости в резервуаре опрыскивателя при заданных значениях заправочной дозы препарата, конструктивных параметров гидромешалки (числа насадок, диаметра выходного отверстия насадка), высоты резервуаров.

По заданным значениям заправочной дозы препарата M и числа насадок был проведен компьютерный расчет значений потребной мощности N (табл. 1).

Таблица 1.

Значения потребной мощности при перемешивании рабочей жидкости в резервуарах опрыскивателей при заданных значениях заправочной дозы препарата и конструктивных параметров гидромешалки.

№ п/п	Заправочная доза (масса) препарата, кг	Число насадков гидромешалки n, шт	Диаметр насадка $d_н$, мм	Потребная мощность N, кВт
1	3,0	5	4,0	22,90
2	3,0	6	4,0	21,88
3	3,0	7	4,0	21,05
4	6,0	5	4,0	27,24
5	6,0	6	4,0	26,02
6	6,0	7	4,0	25,04
7	9,0	5	4,0	30,14
8	9,0	6	4,0	28,80
9	9,0	7	4,0	27,71

По полученным значениям были построены в фокальных плоскостях (x, z) и (y, z) (рис. 5, 6) и в 3-мерном изображении (рис. 7) графики функции $N = f(M,n)$.

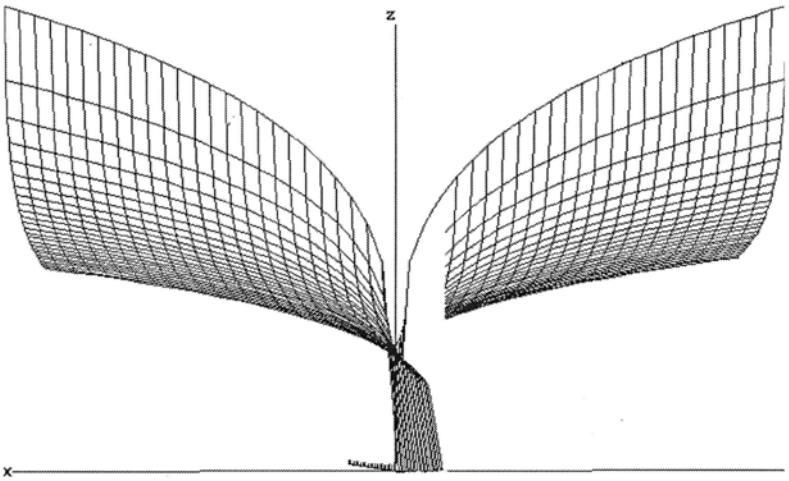


Рис. 5. Графическое изображение зависимости $N = f(M,n)$ в плоскости (x, z).

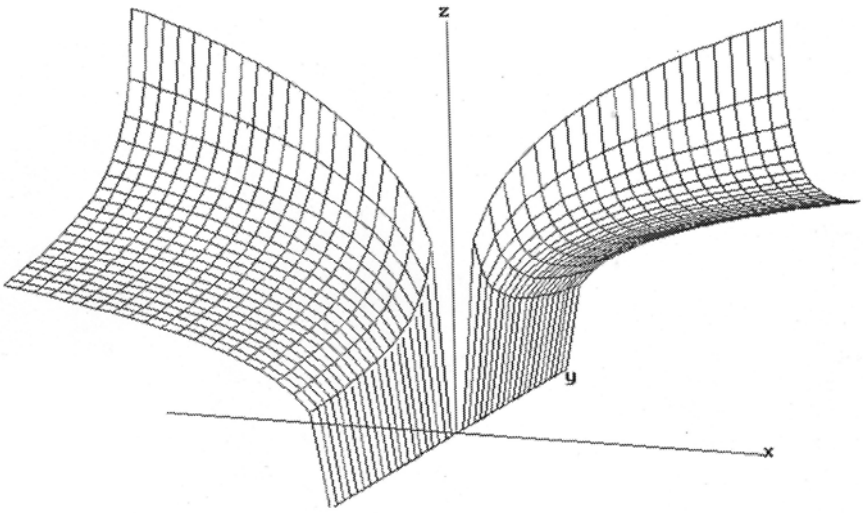


Рис. 6. Графическое изображение зависимости *N = f(M,n)* в плоскости (y, z).

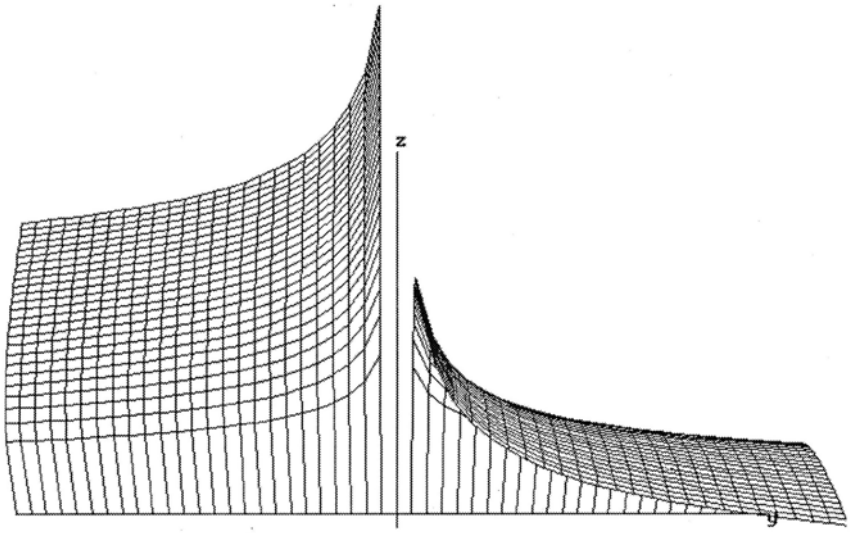


Рис. 7. Графическое изображение зависимости *N = f(M,n)* в 3-мерном пространстве x, y, z.

Выводы.

1. При перемешивании рабочей жидкости в резервуарах опрыскивателя предпочтение отдается струям, направленным ко дну резервуара для смывания оседающих частиц препарата.

2. Для обеспечения направленности и циркуляции потоков необходимо симметрично с двух сторон мешалки установить направители с расширением в сторону движения струй.

3. Равномерность перемешивания рабочей жидкости можно обеспечить заданной скоростью истечения перемещивающих струй, зависящих от размера выходного отверстия, числа насадков по длине резервуара, концентрации препарата в рабочей жидкости или заправочной дозы препарата в резервуаре.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михин Л. А. Совершенствование технологии подготовки и применения пестицидов при опрыскивании / Л. А. Михин // Тезисы докладов научно-технической конференции «Комплексное использование пестицидов и других средств химизации в земледелии», Воронеж, 1–3 июля 1986 г. / ВНПО по агрохимобслуживанию сельского хозяйства ВНИИПЗР. – М., 1986. – С. 75.
2. Вялых В. А. Растворные узлы для приготовления рабочих жидкостей пестицидов : рекомендации / В. А. Вялых – Воронеж, 1985. – 83 с.
3. Дибнер Е. Э. Исследование процессов приготовления и заправки опрыскивателей : автореф. дис. … канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / Е. Э. Дибнер. – Л. : ВИЗР, 1963. – 21 с.
4. Тимошенко С. П. Исследование процесса перемешивания суспензии ядохимикатов гидродинамическими мешалками в резервуарах опрыскивателей : автореф. дис. … канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / С. П. Тимошенко ; УСХА. – К., 1973. – 18 с.
5. Худолий Н. П. Исследование процесса перемешивания рабочей жидкости и определение оптимальных параметров винтовых мешалок опрыскивателей : автореф. дис. … канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / Н. П. Худолий ; КСХИ. – Кишинёв, 1966. – 19 с.

6. Кучеровский П. А. Перемешивание взвесей в резервуарах опрыскивателей / П. А. Кучеровский, Х. Н. Зейликман // Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии. – 1971. – № 4. – С. 11.
7. Бекиров Р. Н. Исследование и обоснование параметров процесса механизированного приготовления рабочей жидкости в резервуарах хлопковых гербицидных приспособлений : автореф. дис. … канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / Р. Н. Бекиров ; Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства. – Ташкент, 1980. – 25 с.
8. Канторович З. Б. Машины химической промышленности / З. Б. Канторович. – М. : Машиностроение, 1965. – 416 с.
9. Пат. 30070 А Україна, В 01 F 5/04. Пристрій для перемішування рідин у резервуарах / Бекіров Р. Н. – № 97126073 ; заявл. 16.12.1997 ; опубл. 15.11.2000. Бюл. № 6-II.
10. Лапшин А. А. Определение завершения процесса смешивания / А. А. Лапшин // Сборник научных трудов Ленинградского технологического института холодильной промышленности. – Л., 1954. – Т. 5. – С. 113.

УДК 664.40

Гербер Ю. Б.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СМЕСИТЕЛЯ КОМПОНЕНТОВ КОМБИКОРМА С ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

Наведені результати експериментальних досліджень по визначенню оптимальних параметрів установки для змішування компонентів комбікорму з тангенціальною подачею повітряного потоку в зону змішування.

Ключові слова: *змішувач, рівномірність змішування, додатковий повітряний потік, кут установки патрубка.*

Приведены результаты экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров установки для смешивания компонентов комбикорма с тангенциальной подачей воздушного потока в зону смешивания.

Ключевые слова: *смеситель, равномерность смешивания, дополнительный воздушный поток, угол установки патрубка.*

The results of experimental studies to determine the optimal parameter settings for mixing feed with tangential feed air flow in the mixing zone.

Key words: *mixer, mixing uniformity, additional air flow, the angle of the nozzle.*

Постановка проблемы. Процессы механического смешивания активно используются во многих областях производства.

Анализ литературы. В результате предыдущих исследований определена целесообразность использования отходов винодельческого производства в качестве добавок в корм молочному стаду КРС с целью нейтрализации вредных примесей – радионуклидов, тяжелых металлов, попадающих в организм животных с кормами на загрязненных территориях [1; 2]. Один из технологических процессов, позволяющих реализовать указанный способ – это смешивание обезвоженных отходов виноделия с компонентами комбикорма. Установлено, что оптимальной нормой добавки ферроцинсодержащих отходов виноделия (ФОВ) является 110–120 г/кг комбикорма.

Изучением процесса механического смешивания, созданием новых и совершенствованием существующих смесителей занимались многие учёные как в нашей стране, так и за рубежом, в том числе А. А. Александровский, В. Р. Алёшкин, А. А. Артюшин, Н. Н. Белянчиков и др. При изучении процесса механического смешивания немаловажным является вопрос о критерии оценки качества смешивания, так как получение идеальной смеси невозможно.

В настоящее время существует множество различных методик, используемых для определения качества смешивания [3–5]. Соотношение компонентов в точках смеси – величина случайная, поэтому, для того чтобы определить, насколько хорошо перемешаны компоненты корма, необходимо ввести критерий оценки качества смешивания кормовых продуктов. За критерий оценки качества смешивания компонентов нами взята равномерность распределения контрольного компонента в единичном объеме смеси.

Цель статьи – обоснование параметров установки для смешивания кормовых компонентов с отходами винодельческого производства. В задачу экспериментальных исследований входило определение зависимости равномерности смешивания от конструктивно-режимных параметров.

Изложение основного материала. Для осуществления смешивания указанных кормовых компонентов предложена конструкция установки, представленная на рис. 1.

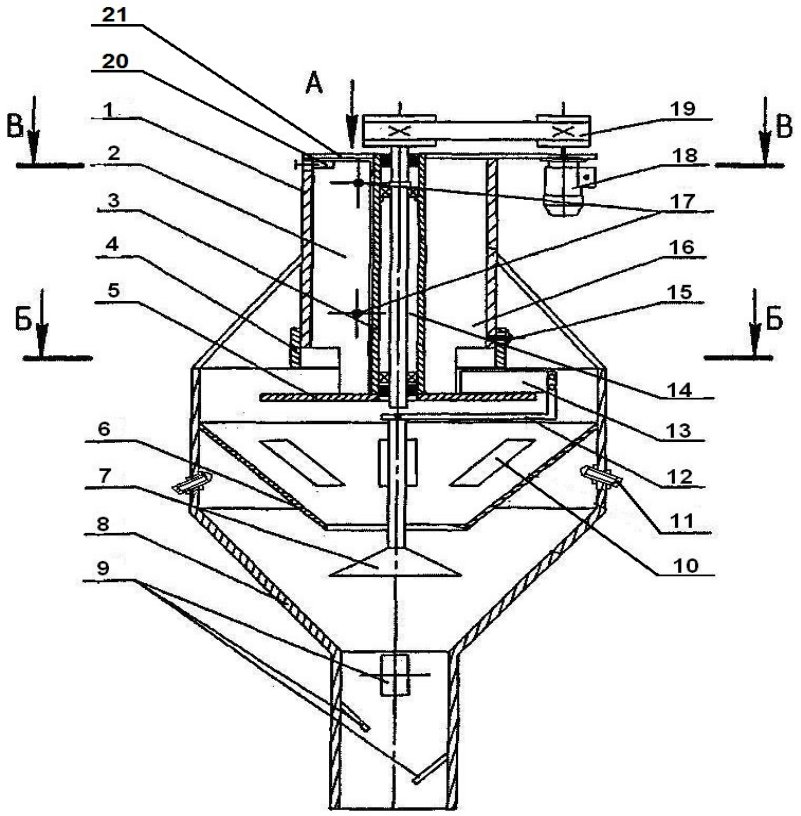


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для смешивания компонентов комбикорма: 1 – загрузочный бункер; 2 – подвижная заслонка; 3 – труба; 4 – цилиндрическая секция; 5 – диск; 6 – основная воронка; 7 – распределительный конус; 8 – нижняя воронка; 9 – направляющие пластины; 10 – окна; 11 – сопла для подачи дополнительного воздушного потока; 12 – поводок; 13 – скребки; 14 – приводной вал; 15 – стопорный винт; 16 – заслонка;17 – направляющие кольца; 18 – электродвигатель привода установки; 19 – ременная передача привода; 20 – шкала распределения бункера; 21 – регулировочные пазы.

На основе предыдущих исследований и теоретического анализа в качестве факторов были выбраны частота вращения приводного вала, скорость подачи дополнительного воздушного потока, угол установки патрубка для подачи дополнительного воздушного потока.

Для получения математической модели технологического процесса приготовления корма реализован полный трехфакторный эксперимент.

Уровни и интервалы варьирования перечисленных факторов представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Конструктивно-режимные параметры смесителя, интервалы и уровни варьирования.

Фактор *X*	X_{min}	X_0	X_{max}	**Интервал варьирования**
X_1 (n) – частота вращения вала n, мин$^{-1}$	10	20	30	10
X_2 ($\upsilon_в$) – скорость дополнительного воздушного потока, м/с	35	45	55	10
X_3 (α_n) – угол подачи дополнительного воздушного потока, град.	–10	0	10	10

Для определения возможности проведения регрессионного анализа была рассчитана однородность дисперсии параллельных опытов по критерию Кохрена:

$$S^2_{U\max} = 0{,}00070;\ \sum_{u=1}^{N} S^2_Y = 0{,}00180.$$

Табличное значение G-критерия Кохрена при уровне значимости 0,05, числе степеней свободы 2 и числе опытов 15 $G_{0,05\%} = 03346$.

Проведенные вычисления по формуле

$$b_i = \sum_{u=1}^{N} X_{iu}\overline{Y}_u \Big/ \sum_{u=1}^{N} X^2_{iu}$$

позволили получить следующие значения коэффициентов регрессии выбранной математической модели:

$b_0 = 0{,}667$; $b_1 = -0{,}050$; $b_2 = -0{,}164$; $b_3 = 0{,}026$;
$b_{11} = 0{,}073$; $b_{22} = -0{,}029$; $b_{33} = 0{,}043$;
$b_{12} = -0{,}069$; $b_{13} = -0{,}022$; $b_{23} = 0{,}051$.

После этого определены дисперсия, а также среднее квадратичное отклонение ошибки коэффициентов регрессии по формуле:

$$S\{b_i\} = \sqrt{S^2\{\overline{Y}\}} / \sum_{u=1}^{N} X_{iu}^2$$

Результаты многофакторного эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Результаты многофакторного планирования.

X_1 (n)	X_2 ($\upsilon_в$)	X_3 (α_n)	$Y1$	$Y2$	$Y3$	Yср	Дисперсия, S_Y^2
–1	–1	–1	0,91	0,93	0,89	0,91	0,00040
+1	–1	–1	0,918	0,925	0,932	0,925	0,00005
–1	+1	–1	0,52	0,526	0,519	0,522	0,00001
+1	+1	–1	0,38	0,376	0,382	0,379	0,00001
–1	–1	+1	0,821	0,816	0,814	0,817	0,00001
+1	-1	+1	0,862	0,858	0,863	0,861	0,00001
–1	+1	+1	0,747	0,754	0,751	0,751	0,00001
+1	+1	+1	0,37	0,411	0,423	0,400	0,00070
–1,215	0	0	0,738	0,743	0,739	0,740	0,00001
+1,215	0	0	0,647	0,650	0,653	0,650	0,00001
0	–1,215	0	0,681	0,684	0,675	0,680	0,00002
0	1,215	0	0,400	0,390	0,431	0,407	0,00043
0	0	–1,215	0,574	0,568	0,567	0,570	0,00001
0	0	+1,215	0,728	0,734	0,729	0,730	0,00001
0	0	0	0,671	0,652	0,661	0,660	0,00010

После этого определена значимость коэффициентов регрессии по t_i критерию Стьюдента. Для 5% уровня значимости и числа степеней свободы 30 $t_{кр} = 2{,}04$.

В рассматриваемом случае все указанные коэффициенты оказались значимыми.

Адекватность полученной модели процесса проверяли по F-критерию Фишера. Табличное значение $F_{таб}$ принято согласно определенным числам степеней свободы $v_1 = m - 1 = 2$, $v_2 = N = 15$, $f_1 = N - d = 15 - 7 = 8$ при уровне значимости $q = 5\%$, значение критерия – $F_{0,05\%} \approx 2{,}5$.

Гипотеза адекватности модели принимается, так как определенное по формуле знание критерия меньше значения $F_{кр}$, $F_{0,05\%}$ – $\overline{F} = 0{,}42$, следовательно, полученное аналитическое выражение достаточно точно описывает характер влияния выбранных факторов на параметр оптимизации – равномерность смешивания компонентов комбикорма с использованием ФОВ.

Полученные экспериментальные данные показывают, что при фиксированном значении угла установки патрубка для подачи воздушного потока $\alpha_n = -10^o$ в диапазон значений требуемой однородности смешивания попадает определенное количество значений параметров смешивающей установки.

Оптимальные значения параметров установки: частота вращения вала – 5–11 мин$^{-1}$ при скорости воздушного потока – 35–42 м/с, а также диапазон значений при частоте вращения 28–35 мин$^{-1}$ и скорости воздушного потока 35–39 м/с.

Уравнение регрессии, описывающее процесс перемешивания компонентов комбикорма, в зависимости от указанных выше факторов принимает вид:

$$y = 0{,}667 - 0{,}05 \cdot x_1 - 0{,}164 \cdot x_2 + 0{,}026 \cdot x_3 + 0{,}073 \cdot x_1^2 - 0{,}029 \cdot x_2^2 +$$
$$0{,}043 \cdot x_3^2 - 0{,}069 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0{,}022 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0{,}051 \cdot x_2 \cdot x_3.$$

Для изучения данной зависимости воспользуемся методикой построения трехмерных поверхностей отклика при фиксированном значении одного из факторов, оказывающих влияние на критерий оптимизации. Поверхность отклика при фиксированном значении фактора x_3 на нулевом кодированном уровне представлена на рис. 2 и может быть записана в виде уравнения:

$$y = 0{,}667 - 0{,}05 \cdot x_1 - 0{,}164 \cdot x_2 + 0{,}073 \cdot x_1^2 - 0{,}029 \cdot x_2^2 - 0{,}069 \cdot x_1 \cdot x_2 .$$

Поверхность отклика при фиксированном значении фактора x_1 на нулевом кодированном уровне представлена на рис. 3. Уравнение регрессии для этого случая примет вид:

$$y = 0{,}667 - 0{,}164 \cdot x_2 + 0{,}026 \cdot x_3 - 0{,}029 \cdot x_2^2 + 0{,}043 \cdot x_3^2 + 0{,}051 \cdot x_2 \cdot x_3 .$$

После раскодирования получим уравнение регрессии в следующем виде:

$$v_з = 0{,}00073 \cdot n^2 - 0{,}00029 \cdot \upsilon_в^2 + 0{,}00043 \cdot \alpha_n^2 - 0{,}03 \cdot n + 0{,}024 \cdot \upsilon_в \cdot 0{,}016 \cdot \alpha_n \cdot 0{,}00069 \cdot n \cdot \upsilon_в -$$
$$- 0{,}0022 \cdot n \cdot \alpha_n + 0{,}00051 \cdot \upsilon_в \cdot \alpha_n + 0{,}589.$$

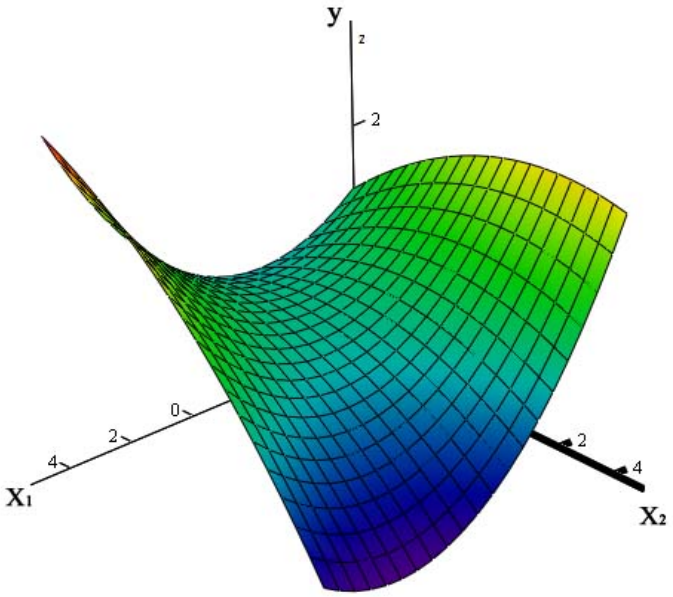


Рис. 2. Поверхность отклика при фиксированном значении угла установки патрубка α_n.

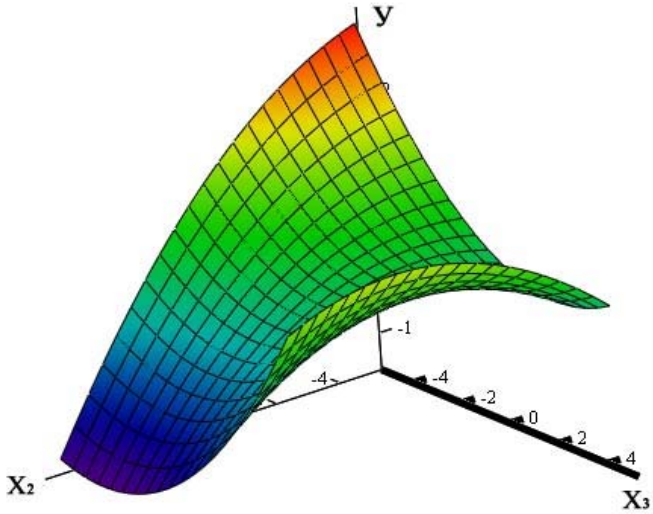


Рис. 3. Поверхность отклика при фиксированном значении частоты вращения вала *n*.

Анализируя результаты проведенных экспериментальных исследований, можно сделать следующие **выводы:**

- на процесс смешивания компонентов комбикорма (по показателю равномерности перемешивания $v_з$) в предложенной установке оказывают наиболее значимое влияние следующие конструктивно-режимные параметры: частота вращения вала ротора – n; скорость дополнительного воздушного потока – $\upsilon_в$; угол подачи дополнительного воздушного потока – α_n;
- максимальное значение равномерности смешивания компонентов $v_з$ наблюдается при значениях скорости дополнительного воздушного потока $\upsilon_в$ в интервале 35–38 м/с; частоте вращения n = 30–33 мин$^{-1}$, углу установки патрубка подачи воздушного потока α_n = –10º (встречный воздушный поток).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гербер Ю. Б. К вопросу энергосбережения при переработке виноградных выжимок / Ю. Б. Гербер, И. Г. Панченко // Научные труды ученых Крымского государственного аграрного университета (технические науки). Выпуск 69. – Симферополь : 2002. – С. 79–81.
2. ОСТ 70.32.2-83. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и оборудование для приготовления кормов. Программа и методы испытаний. – М. : Гостехагропром, 1984. – 94 с.
3. Алешкин В. Р. Механизация животноводства / В. Р. Алешкин, П. М. Рощин. – М. : Агропромиздат, 1985. – 336 с.
4. РД 10.19.2-90 – Руководящий документ. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и оборудование для приготовления кормов. Методы испытаний. – М., 1990. – 92 с.
5. Типовая методика определения качества смешивания кормов М 29.055-87. – Введ. 30.09.1987. – Дослидницкое : Ротапринт ВНИИМОЖ, 1987.

УДК 631.314

Бабицкий Л. Ф., Куклин В. А.

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАТКА С ПОВЫШЕННОЙ СТЕПЕНЬЮ ПОДВИЖНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

У статті наведено теоретичне обґрунтування раціональних параметрів котка з шарнірним з'єднанням робочих органів.

Ключові слова: *обробіток ґрунту, коток, ступінь рухливості, ширина котка, крок розстановки, якість розпушування.*

В статье дано теоретическое обоснование рациональных параметров катка с шарнирным соединением рабочих органов.

Ключевые слова: *обработка почвы, каток, степень подвижности, ширина катка, шаг расстановки, качество рыхления.*

In this paper we give a theoretical justification of rational parameters of the rink with swivel joint working bodies.

Key words: *soil compactor, range of motion, roller width, pitch placement, quality of loosening.*

Постановка проблемы. В настоящее время в сельскохозяйственном производстве особенно актуальным является вопрос снижения энергоемкости выполняемых операций и повышения их качества. Известно, что большинство всех энергетических затрат приходится на обработку почвы [1]. В связи с этим совершенствование существующих почвообрабатывающих орудий является важной задачей.

Состояние поверхностного слоя почвы непосредственно влияет на газо- и водообмен, а следовательно, и на урожайность возделываемых культур. Разработка конструкции и теоретическое обоснование рабочих органов с повышенной степенью свободы позволит повысить качество поверхностной обработки почвы и снизить затраты энергии.

Анализ литературы. Для выравнивания поверхности почвы, разрушения глыб, уплотнения и рыхления верхнего слоя применяются различные виды катков: гладкие, кольчато-шпоровые, кольчато-зубовые и др. [2]. Существенным недостатком известных конструкций серийно выпускаемых катков является жесткость крепления рабочих органов, что не позволяет орудию приспосабливаться к неровностям поверхности поля и приводит к неравномерному воздействию по ширине захвата агрегата. Одним из путей устранения данного недостатка является придание подвижности рабочим органам катков посредством шарнирного соединения, что позволит обеспечить более полный контакт рабочих элементов с поверхностью поля. Существуют конструкции катков с шарнирным соединением рабочих органов [3], но их параметры теоретически не обоснованы.

Цель статьи – теоретическое обоснование рациональных параметров катка с повышенной степенью подвижности рабочих органов.

Изложение основного материала. В разработанной конструкции катка (рис. 1) для повышения степени подвижности используется шарнирное соединение рядом расположенных дисковых катков при помощи П-образных проушин. На рабочей поверхности катков предусмотрена возможность установки рыхлительных зубьев.

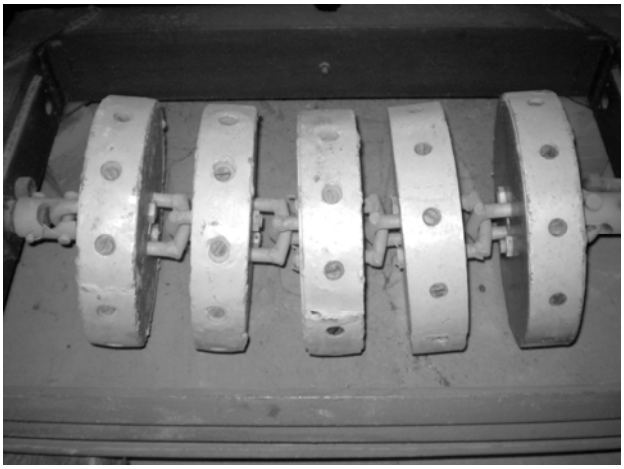


Рис. 1. Каток с повышенной степенью подвижности рабочих органов.

Рассмотрим процесс прикатывания почвы гладкими катками. Усилие вдавливания комка в почву $F_в$ можно определить по формуле:

$$F_в = q \cdot V_{см},$$

где q – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м^3;

$V_{см}$ – объем сминаемой почвы, м^3, равен:

$$V_{см} = \frac{1}{2} \cdot V_к \cdot S_к \cdot r = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 + \pi \cdot r^2 \cdot r = \frac{5}{3} \cdot \pi \cdot r^3,$$

где $V_к$ – объем комка почвы, м^3;

$S_к$ – площадь сечения комка почвы, м^2;

r – радиус комка почвы, м.

Так как отдельные катки в секции соединены шарнирно, прикатывающее усилие будет зависеть главным образом от массы катка ***m*** (рис. 2).

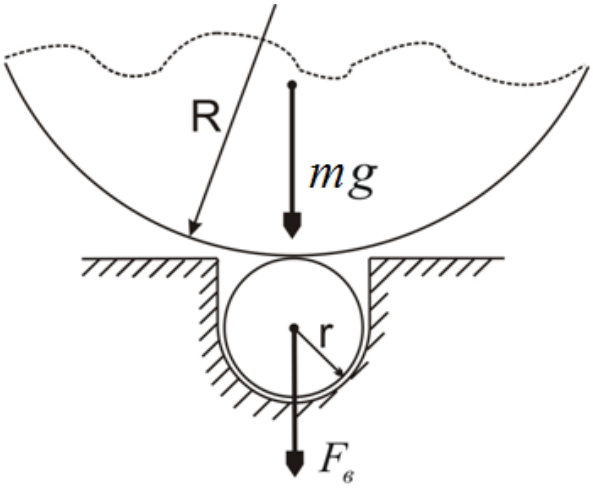


Рис. 2. Схема вдавливания комка в почву.

Комок будет полностью вдавливаться в почву при выполнении следующего условия:

$$m \cdot g = F_в.$$

На рис. 3 изображена расчетная схема к определению расстояния между катками.

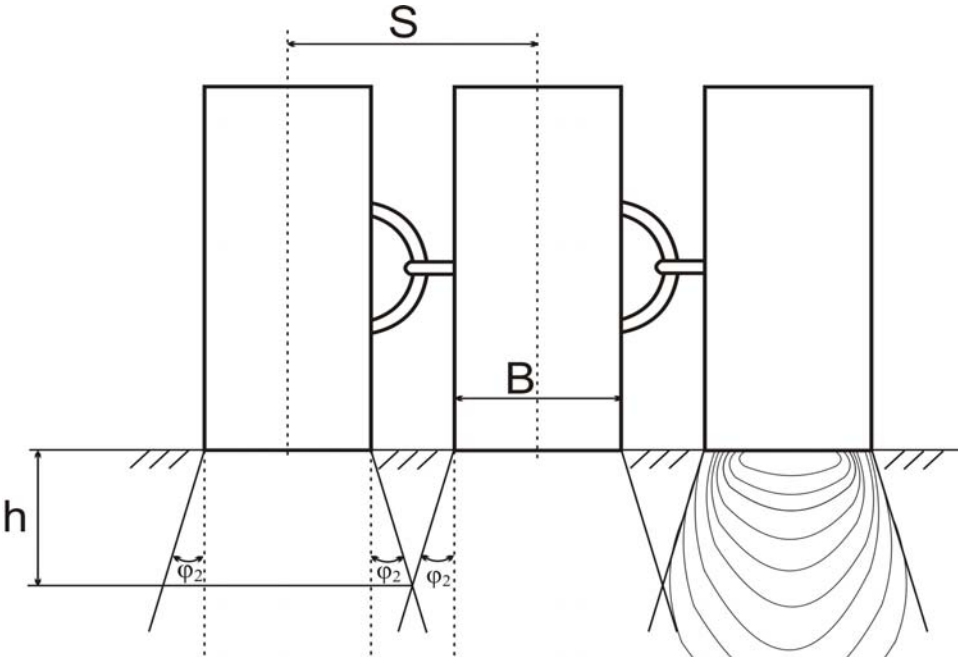


Рис. 3. Расчетная схема к определению расстояния между катками.

Масса цельнометаллического катка цилиндрической формы будет равна:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot \pi R^2 \cdot B,$$

где ρ – плотность стали;
R – радиус катка, м;
B – ширина катка, м:

$$\rho \cdot \pi R^2 \cdot B \cdot g = \frac{5}{3}\pi \cdot r^3 \cdot g.$$

С учетом известной формулы [4]

$$R = r \cdot \mathrm{ctg}^2\left(\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}\right),$$

где φ_1 и φ_2 – углы внешнего и внутреннего трения почвы, связывающей радиус комка почвы r с радиусом прикатывающего катка R, получим выражение:

$$\rho \cdot \pi \cdot B \cdot g \cdot r^2 \cdot \mathrm{ctg}^4\left(\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}\right) = \frac{5}{3}\pi \cdot r^3 \cdot g,$$

откуда ширина катка B равна:

$$B = \frac{5 \cdot r \cdot g}{3 \cdot \rho \cdot g \cdot \mathrm{ctg}^4\left(\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}\right)}. \qquad (1)$$

Как видно из рис. 3, расстояние между катками, обеспечивающее перекрытие зон деформации почвы на глубине h, равно:

$$S = B + 2 \cdot h \cdot \mathrm{tg}\frac{\varphi_2}{2}. \qquad (2)$$

Рассмотрим процесс рыхления почвы катками (рис. 3) с размещенными на их рабочей поверхности зубьями (рис. 4).

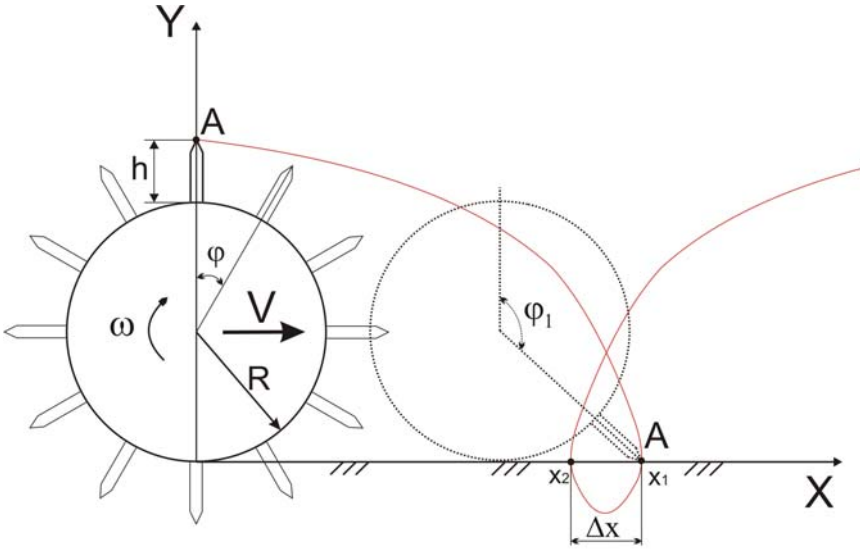


Рис. 4. Расчетная схема к обоснованию количества зубьев.

В процессе перекатывания зубчатого шарнирного катка происходит периодическое внедрение зубьев в почву. Крайняя точка зуба *A* движется по кривой вида циклоиды. Для обеспечения качественного рыхления поверхностного слоя почвы необходимо обеспечить перекрытие зон рыхления зубьев в направлении движения рабочего органа. Составим уравнения движения точки зуба *A* в зависимости от угла поворота φ. Как видно из рис. 4

$$x(t) = V \cdot t + (R + h) \times \sin\varphi,$$
$$y(t) = R + (R + h) \times \cos\varphi.$$

Учитывая, что $V = \omega \cdot R = \frac{\varphi}{t} \cdot R$, получим:

$$x(\varphi) = \varphi \cdot R + (R + h) \cdot \sin\varphi, \quad (3)$$
$$y(\varphi) = R + (R + h) \cdot \cos\varphi. \quad (4)$$

В момент вхождения зуба в почву:

$$y(\varphi) = R + (R + h) \times \cos\varphi_1 = 0,$$

откуда $\varphi_1 = \arccos\left(\frac{-R}{R+h}\right)$.

Подставляя полученное значение в уравнение (3), получим значение координаты x_1.

Очевидно, что угол выглубления зуба из почвы φ_2 равен:

$$\varphi_2 = -\varphi_1.$$

Подставляя полученное значение в уравнение (3), получим значение координаты x_2.

Величина зоны рыхления почвы одним зубом будет равна:

$$\Delta x = x_1 - x_2.$$

Из условия перекрытия зон рыхления определим необходимое количество зубьев *N*:

$$2 \cdot \pi \cdot R = N \cdot \Delta x$$
$$N = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\Delta x}.$$

Шаг зубьев определяется по известной зависимости [4].

Выводы. Теоретически обоснованы рациональные параметры предложенного рабочего органа: ширина катка *B*, шаг расстановки катков *S* и количество зубьев *N*.

Катки с предложенными параметрами обеспечат улучшение качества поверхностной обработки почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Погорілий Л. В. Сучасні проблеми землеробської механіки і машинознавства при створенні сільськогосподарської техніки нового покоління / Л. В. Погорілий // Техніка АПК. – 2003. – № 11. – С. 4–7.
2. Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины / В. М. Халанский, И. В. Горбачев. – М. : Колосс, 2006. – 621 с.
3. Пат. 52732 Україна, А 01 В 29/04. Ротаційне ґрунтообробне знаряддя / В. М. Булгаков, Л. Ф. Бабицький, К. Ю. Коваленко, В. В. Гальцов та ін. – заявл. 28.09.1999 ; опубл. 15.01.2003.
4. Синеоков Г. Н. Теория и расчёт почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. – М. : Машиностроение, 1977. – 328 с.