



ТРАКТОРЫ И СЕЛЬХОЗМАШИНЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Шарипов В.М.

Издаётся с февраля 1930 г.

6•2017

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Годжаев З.А.

Горбачёв И.В.

Городецкий К.И.

Ерохин М.Н.

Жалнин Э.В.

Измайлов А.Ю.

Ковалёв М.М.

Котиев Г.О.

Ксеневич Т.И.

Кутьков Г.М.

Лачуга Ю.Ф.

Ляшенко М.В.

Предигер В.

Фомин В.М.

Щельцын Н.А.

Учредитель

- Редакция

Зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций 18.03.2016
ПИ № ФС77-65085

Журнал входит в перечень ВАК РФ
изданий для публикации трудов соискателей
ученых степеней, а также в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ)

Издатель

Московский Политех

Адрес редакции:

115280, Москва, Автозаводская, 16
Тел. (495) 276-33-67
E-mail: izdat.mospolytech@yandex.ru
Сайт: www.mospolytech.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ОБОРУДОВАНИЕ**Руденко Н.Е.**Как эффективно воздействовать на почву
при поверхностной обработке

НОВЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Голубкович А.В., Павлов С.А.,**Марин Р.А., Дадыко А.Н.**

Сушка зерна с использованием топок на твердом топливе

Джибилов С.М., Гулуева Л.Р.Функциональные возможности опытного агрегата
для внесения в почву водных растворов удобрений**Лобачевский Я.П., Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х.**Новая ресурсосберегающая конструкция
высевающего аппарата для кормовых культур**Михайлов В.А., Климова Е.В.**Автоматизация стенда для экспериментального
исследования локального воздухоохладителя
для водителя транспортного средства

ТЕОРИЯ, КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ

**Божко И.В., Пархоменко Г.Г., Громаков А.В.,
Максименко В.А., Камбулов С.И.**Экспериментальная установка для исследования
почвообрабатывающих рабочих органов

КАЧЕСТВО, НАДЕЖНОСТЬ

**Бурьянов М.А., Бурьянов А.И.,
Червяков И.В., Костыленко О.А.**О влиянии морфологических признаков растений
оziмой пшеницы на выбор режимов работы
очесывающей жатки

АГРОСЕРВИС

Леонов О.А., Антонова У.Ю.Выбор универсальных средств измерений для контроля
гильз цилиндров двигателя при селективной сборкеЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ
И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА**Несмиян А.Ю.**Технические характеристики и агротехнические показатели
работы почвообрабатывающих агрегатовENVIRONMENTALLY CLEAN TECHNOLOGIES
AND EQUIPMENT**Rudenko N.E.**How to effectively influence the soil
during surface treatment

NEW MACHINES AND EQUIPMENT

Golubkovich A.V., Pavlov S.A.,**Marin R.A., Dadyko A.N.**

Drying grain using solid fuel

Dzhibilov S.M., Gulueva L.R.Functional capabilities of the experimental unit
for introducing into the soil aqueous solutions of fertilizers**Lobachevskiy Ya.P., Akhalaya B.Kh., Shogenov Yu.Kh.**New resource-saving design
of the sowing device for fodder crops**Mikhaylov V.A., Klimova E.V.**Automation of the test bench
for experimental research of the local air cooler
of the vehicle driver

THEORY, DESIGN, TESTING

**Bozhko I.V., Parkhomenko G.G., Gromakov A.V.,
Maksimenko V.A., Kambulov S.I.**The experimental setup for the study
of soil-working bodies

QUALITY, RELIABILITY

**Bur'yanov M.A., Bur'yanov A.I.,
Chervyakov I.V., Kostylenko O.A.**The influence of morphological characteristics
of winter wheat plants on the choice
of operating modes of combing header

AGRICULTURAL SERVICE

Leonov O.A., Antonova U.Yu.The choice of universal measuring instruments
for monitoring the cylinder liners
of the engine during selective assemblyECONOMICS, ORGANIZATION
AND TECHNOLOGY OF MANUFACTURING**Nesmiyan A.Yu.**Technical characteristics and agrotechnical indices
of work of tillage machines

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении по каталогу «Пресса России» – индекс 27863, а также в агентствах: «Информнаука», тел. (495) 787-38-73, gladkih@viniti.ru;
 «Урал-Пресс», тел. (495) 789-86-36, e_timoshenkova@ural-press.ru;
 «МК-Периодика», тел. (495) 672-70-89, chernous@periodicals.ru

Перепечатка материалов из журнала возможна при обязательном письменном согласии редакции.
 При перепечатке ссылка на журнал «Тракторы и сельхозмашины» обязательна.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

За приводимые в статьях факты, точность расчетов и экспериментальных данных,
 а также за точность цитирования и ссылок на источники ответственность несут авторы.

КАК ЭФФЕКТИВНО ВОЗДЕЙСТВОВАТЬ НА ПОЧВУ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ

HOW TO EFFECTIVELY INFLUENCE THE SOIL DURING SURFACE TREATMENT

Н.Е. РУДЕНКО, д.с.-х.н.

Ставропольский государственный аграрный университет,
Ставрополь, Россия, kajwanov@yandex.ru

N.E. RUDENKO, DSc in Agriculture

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia,
kajwanov@yandex.ru

Поверхностная обработка почвы включает предпосевную, паровую, междурядную обработки и выполняется культиваторами или комбинированными машинами. Применяемые рабочие органы осуществляют одностороннее свободное воздействие на почву. Это приводит к смещению, отбрасыванию почвенных отдельностей в одном или разных направлениях в зависимости от формы плоской поверхности рабочего органа. Сопротивление, связанное с отбрасыванием почвы, приданiem кинетической энергии, находится в квадратичной зависимости от скорости рабочего движения. Поэтому чаще всего существует ограничение, не превышающее 12 км/ч, что сдерживает рост производительности. Отсутствие противодействия не позволяет обеспечивать высокую степень крошения и выровненность поверхности почвы. Вот почему при поверхностной обработке почвы в комбинации с почвообрабатывающими лапами на культиваторах устанавливают диски, бороны, выравниватели, катки разных модификаций. Они осуществляют доизмельчение почвы и выравнивание поверхности. Однако это существенно увеличивает удельную материалоемкость почвообрабатывающих агрегатов. Она для некоторых из них достигает 300–400 кг/м. Это дополнительные материальные и финансовые затраты. Кроме того происходит переуплотнение почвы, ухудшение условий для роста и развития растений. Необходимо провести анализ и проверку разных способов воздействия на почву: разнонаправленного, стесненного и концентрированного. Установлено, что для улучшения качественных показателей при поверхностной обработке почвы необходимо применять разнонаправленное, стесненное или концентрированное воздействие, используя инновационные технические решения почвообрабатывающих рабочих органов. В результате обеспечивается стабилизация глубины обработки, исключается вынос влажной почвы на дневную поверхность, повышается производительность и снижаются энергозатраты.

Ключевые слова: почва, обработка, воздействие, технология, дефлектор, культиватор, лапа.

Surface treatment includes soil presowing, steam, inter-row cultivation and is performed by cultivators or combined machines. The applied working organs carry out one-way free action on the soil. This leads to a displacement, discarding of soil sections in one or different directions, depending on the shape of the flat surface of the working organ. The resistance associated with discarding the soil, giving kinetic energy is in a quadratic dependence on the speed of the working movement. Therefore, most often there is a restriction not exceeding 12 km/h, thereby restraining productivity growth. The absence of counteraction does not allow providing a high degree of crumbling and leveling of the soil surface. That is why when surface processing of soil in combination with soil cultivating paws discs, harrows, equalizers, rollers of different modifications on cultivators are installed. They carry out soil re-grinding and leveling the surface. However, this significantly increases the specific material consumption of soil cultivating units. It for some of them reaches 300–400 kg/m. This is an additional material and financial costs, in addition, there is a reconsolidation of the soil, deterioration of conditions for the growth and development of plants. It is necessary to analyze and test different ways of affecting the soil: multidirectional, constrained and concentrated. It has been established that in order to improve the quality of the surface treatment of soil, it is necessary to use a multidirectional, constrained or concentrated effect, using innovative technical solutions of soil cultivating working organs. As a result, stabilization of the depth of processing is ensured, removal of moist soil on the day surface is excluded, productivity is increased and energy costs are reduced.

Keywords: soil, treatment, impact, technology, deflector, cultivator, paw.

Введение

Чаще всего при поверхностной обработке почвы используют культиваторы, оснащенные стрельчатыми лапами. Основными техническими характеристиками лап являются: ширина захвата, угол крошения, угол раствора лезвий. Лапа состоит из стойки, лемеха и крепежных деталей [1]. Наличие угла крошения и одностороннего воздействия на почву приводят к смещению ее, отбрасыванию.

Энергия, приобретаемая почвой после воздействия на нее стрельчатой лапы, равна:

$$W = \frac{m\vartheta^2}{2} \sin \alpha (1 - f), \quad (1)$$

где ϑ – скорость рабочего движения, м/с; m – масса отбрасываемой почвы, кг; f – коэффициент трения почвы по поверхности рабочего органа.

С увеличением скорости рабочего движения ϑ и угла крошения лемеха энергия возрастает. В результате обеспечивается улучшение степени крошения почвы. Однако при этом увеличивается дальность отбрасывания, создается невыравненная поверхность, происходит вынос влажной почвы, образование борозд.

По этой причине в почвообрабатывающих культиваторах применяют разные варианты выравнивания поверхности после прохода стрельчатых лап (см. рис. 1) [2].

Все это приводит к росту удельной материоемкости почвообрабатывающих машин. Для широкозахватных культиваторов она достигает 292 кг/м [3], а для импортных – 390 кг/м.

При междурядной обработке с целью исключения повреждения культурных растений отбрасываемой почвой используют защитные диски, щитки, что усложняет конструкцию. Поэтому изыскание более эффективных способов воздействия на почву актуально.

Цель исследования

Целью исследования является анализ способов воздействия на почву при поверхностной обработке с использованием инновационных технических решений.

Материалы и методы исследования

Использованы имеющиеся патенты на изобретения, материалы научных статей, результаты лабораторных и полевых испытаний, теоретический анализ, методы экстраполяции.

Результаты исследования и их обсуждение

Рабочий орган действует на почву с одной стороны. В зоне контакта при этом происходит смятие почвы, ее деформация. Равнодействующие от силы нормального давления и

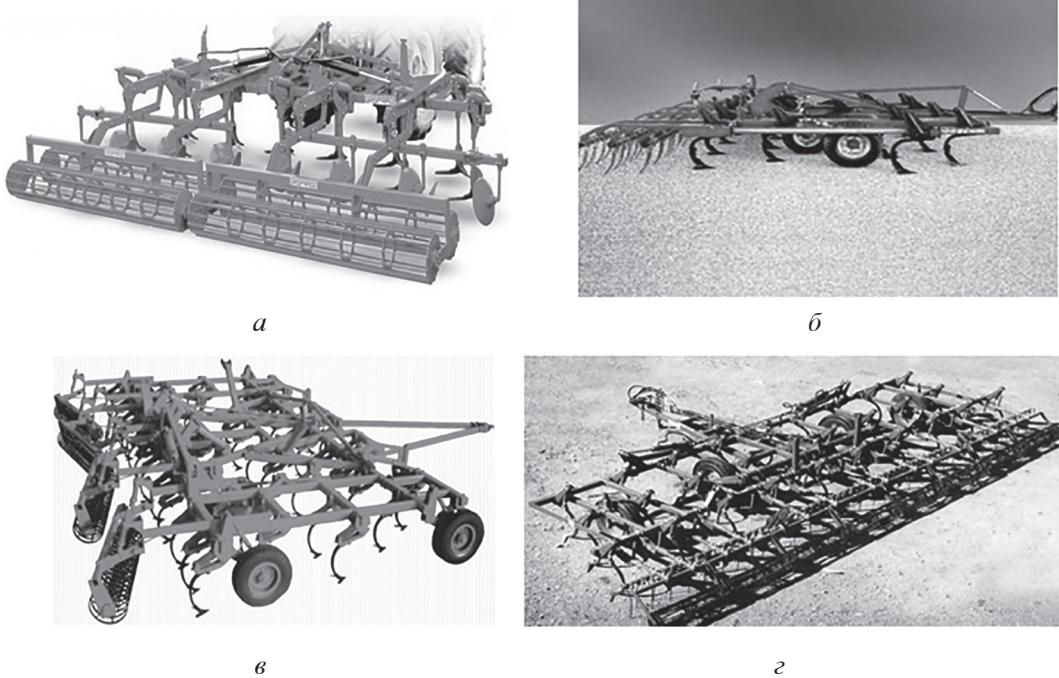


Рис. 1. Культиваторы с разными вариантами выравнивания почвы после прохода стрельчатых лап путем установки: а – за каждой стрельчатой лапой диска; б – в несколько рядов пружинных борон; в – пружинных борон и прутковых катков; г – спиральных катков

силы трения для рабочих органов с плоскими поверхностями направлены вверх. Они осуществляют смещение и отбрасывание почвы с частичным рыхлением и крошением. Чтобы произошла деформация всего пласта, необходимо осуществить воздействие с противоположенных сторон, сжатие или разнонаправленное воздействие. Объемное воздействие возможно в случае стесненного перемещения почвы в каком-то пространстве. По данным академика В.А. Желиговского, следует концентрировать воздействие внешних сил, что способствует интенсивному крошению почвы. Следовательно, необходимо изыскивать технические решения рабочих органов, обеспечивающих разнонаправленное, стесненное или концентрированное воздействие на обрабатываемый материал.

Разнонаправленное воздействие

Для реализации этой технологии предложено модернизировать существующие культиваторы типа КПС-4 путем установки на них дефлекторных лап. Они включают стандартную стрельчатую лапу 2 и дополнительный дефлектор 3 (рис. 2).

Перед работой дефлектор 3 надевают на стойку 1 и опускают вниз. Поворачивают в вертикальной плоскости и устанавливают под

углом β к горизонтальной плоскости в направлении движения. Угол β должен равняться или быть больше угла трения ϕ почвы по металлической поверхности, т.е. $\beta \geq \phi$.

Высота расположения задней стороны дефлектора равна:

$$h_o = K_b h_o, \quad (2)$$

где h_o – глубина обработки, мм; K_b – коэффициент вспущенности почвы после воздействия на нее лапы; $K_b = 1,15–1,20$.

В процессе работы почва отбрасывается нижним лемехом 2 вверх со скоростью 9 , равной скорости рабочего движения культиватора. Почве придается энергия, с которой она ударяется о дефлектор 3. Происходит разнонаправленное воздействие: снизу нижний лемех 2 с силой F_b , сверху дефлектор 3 с силой F_p , что обеспечивает крошение почвы. Ввиду того, что $\beta \geq \phi$ почва не «скользит» по поверхности дефлектора 3 и под действием результирующей силы F_p возвращается и заделывает образуемую бороздку. В результате создается выровненная поверхность с мелкокомковатой почвой (рис. 3), исключается необходимость установки после лап зубовых борон и катков, что снижает удельную материалосмкость культиватора. Скорость рабочего движения может достигать 16–18 км/ч, так как не про-

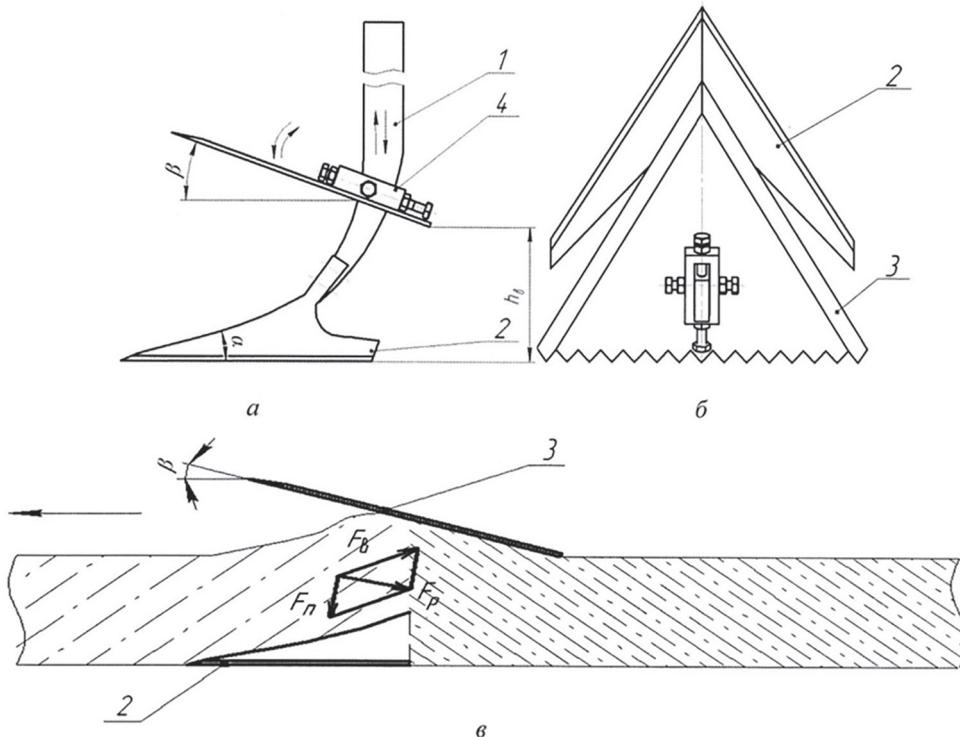


Рис. 2. Дефлекторная лапа: а – вид сбоку; б – вид сверху; в – схема воздействия на почву;
1 – стойка; 2 – стрельчатый лемех; 3 – дефлектор; 4 – держатель

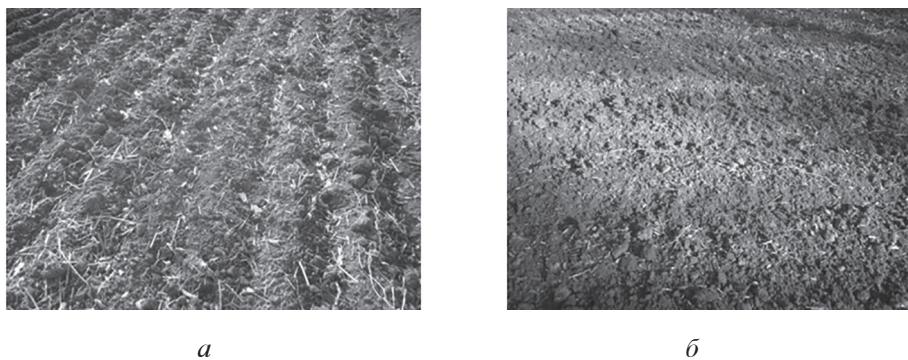


Рис. 3. Вид поверхности почвы после обработки культиватором КПС-4:
а – со стандартными лапами; б – с дефлекторными лапами

исходит отбрасывания почвы. Культиватор с такими рабочими органами эффективен на стерневых фонах. Осуществляется равномерное распределение пожнивных остатков, создается мульчирующая поверхность.

Эта технология реализована культиваторами с двухъярусными лапами. Двухъярусная почвообрабатывающая лапа включает верхний лемех 3 (рис. 4), выполненный в виде равнобедренного треугольника. В верхнем лемехе сделан вырез, отогнутые части которого закреплены на стойке 1. Под верхним лемехом расположен нижний стрельчатый лемех 2, закрепленный к торцевой части стойки 1.

Стесненное воздействие

Расстояние между верхним и нижним лемехами равно глубине обработки почвы h . Эту величину можно менять, поднимая или опуская верхний лемех 3. Оба лемеха заточены.

Ширина захвата двухъярусной лапы 360 мм.

В процессе движения нижний лемех 2 заглубляется в почву на установленную глубину h . Верхний лемех 3 реакцией почвы удерживается на поверхности. Он срезает надземную часть сорняков, выравнивается поверхность. Нижний лемех 2 подрезает корневую систему сорняков. Создается стесненное пространство для прохода почвы, обеспечивающее ее крошение и образование мелкокомковатого слоя. По данным испытаний, степень крошения почвы составляет 94,8–98,1 % с минимальной гребнистостью. Практически исключается вынос влажной почвы на дневную поверхность.

Впервые найдено техническое решение, когда рабочие функции совмещаются в одной вертикальной плоскости с копирующими функциями: нижний лемех – рабочий, верхний – копирующий.

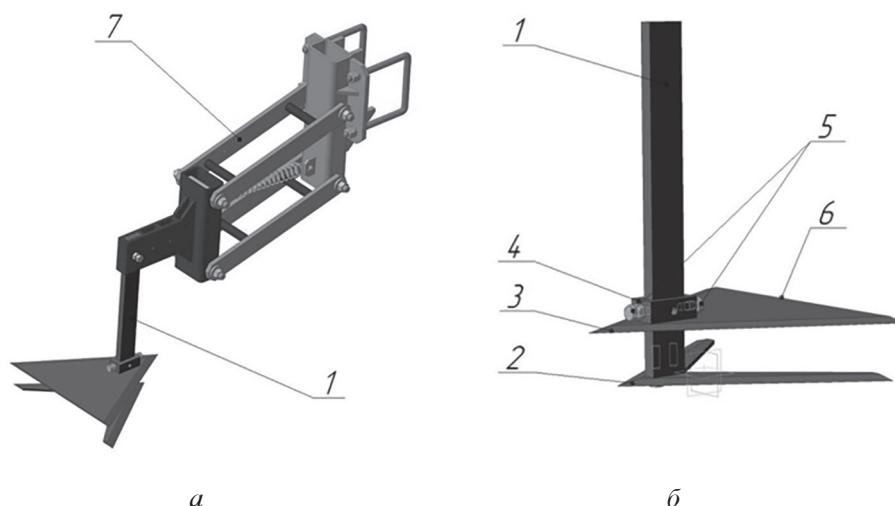


Рис. 4. Секция с двухъярусной лапой: а – секция; б – 3D-модель двухъярусной лапы;
1 – стойка; 2 – нижний стрельчатый лемех; 3 – верхний треугольный лемех; 4 – держатель;
5 – болты; 6 – задняя сторона лемеха; 7 – четырехзвенник

Это особенно важно при проведении предпосевной обработки почвы. При этом нижний лемех образует выровненное ложе для семян, что практически невозможно при использовании существующих культиваторов.

Концентрированное воздействие

Для реализации этой технологии предложен культиватор со спиральными лапами. Каждая секция включает грядиль 1 (рис. 5), на котором установлен рабочий орган, состоящий из стойки 2, треугольного лемеха 3, спирали 4, держателей 5, упорной пластины 7, скобы 8, струны 9.

Стойка 2, жесткая сечением 16Ч45 мм, крепится к грядилю с помощью держателей 5 и установлена к нему под углом 83° в направлении движения. Лемех 3 выполнен в виде пластинчатого треугольника толщиной 4–5 мм из стали 65Г с углом крошения $\alpha = 0^\circ$ [4]. Он крепится к торцевой части стойки 2 с помощью двух болтов. Грядиль 1 представляет собой плоскую пружину.

Проволоку спирали 4 нанизывают на несколько зацепов 6, вдоль заднего обреза лемеха 3. Исходя из того, что обработку почвы надо вести на глубину 40–50 мм, диаметр спирали составляет 50 мм. Концевые части спирали выполнены в виде горизонтально расположенной струны. Шаг спирали равен 40 мм, диаметр проволоки – 3 мм.

В начале работы при опускании культиватора почва воздействует на спираль, обеспечивая ее заглубление, пока реакция почвы не станет равной реакции плоского пружинного грядиля. Лемех при этом устанавливается в горизонтальном положении, а пружинный грядиль обеспечивает постоянное прижатие спирали.

Впереди расположенные витки спирали создают систему расходящихся сил воздействия на почву, обеспечивая деформацию растяжения. А известно, что предел крошения при расщеплении в 6–7 раз меньше, чем при сжатии [5]. Задние витки, имея вогнутую поверхность, создают систему сходящихся усилий, концентрация которых позволяет более эффективно крошить почву.

Сpirальные лапы целесообразно использовать при междурядной обработке. Наличие треугольного лемеха обеспечивает стабильную глубину обработки. Разрыхляется корка, создается мелкокомковатая структура, обеспе-

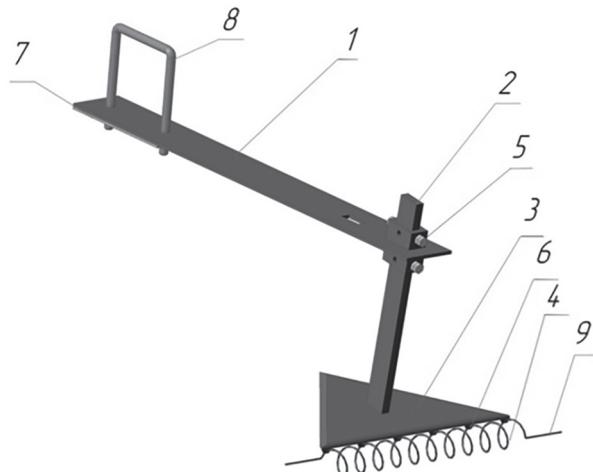


Рис. 5. 3D-модель секции культиватора со спиральными лапами: 1 – пружинный грядиль; 2 – стойка; 3 – треугольный лемех; 4 – спираль; 5 – держатели; 6 – зацеп; 7 – упорная пластина; 8 – скоба; 9 – струна

чивающая воздухообмен, существенно снижающая испарение почвенной влаги, срезаются сорняки.

Предложена комбинированная спираль, когда витки по сторонам заканчиваются горизонтальными струнами. Длина их составляет 80–100 мм. Это плоская пружина, вибрирующая в почве и эффективно вычесывающая всходы сорняков в защитной зоне. С увеличением длины она становится более податливее и без повреждения толстостебельных культурных растений может работать с нулевой защитной зоной.

Пропашной культиватор со спиральными лапами исключает:

- использование копирующих колес (копирование осуществляется лемехом);
- четырехзвенную подвеску (устанавливается более простая пружинная радиальная подвеска);
- операцию регулировки глубины обработки почвы;
- несколько рабочих органов, оставляя лишь один.

Степень крошения почвы составляет 93,0–97,7 %. (рис. 6).

Сохраняется почвенная влага в наиболее ответственный период роста и развития растений. Спиральная лапа эффективно работает при скорости до 16–18 км/ч, существенно повышается производительность культиватора.

Проведенное тензометрическое динамометрирование показало, что предложенные по-

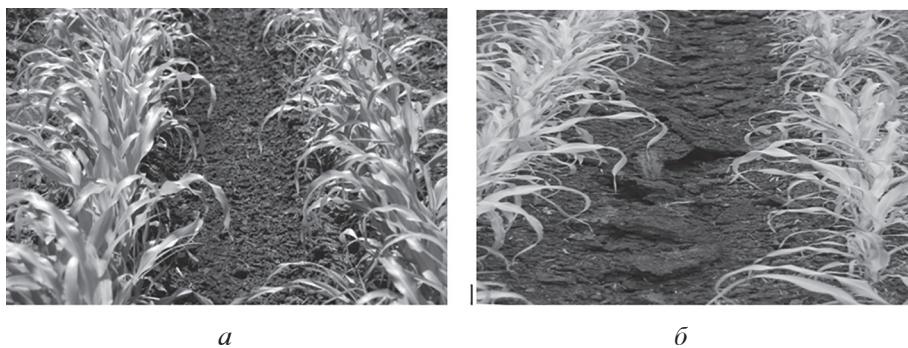


Рис. 6. Вид поверхности почвы после обработки:
а – спиральной лапой; б – стандартной стрельчатой лапой

чвообрабатывающие лапы менее энергоемки. Тяговое сопротивление культиваторов, оснащенными этими лапами, на 27–30 % меньше, чем у стандартных стрельчатых лап.

Полевые испытания проведены совместно с Новокубанским филиалом ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТИМ).

Заключение

Для улучшения качественных показателей при поверхностной обработке почвы необходимо применять разнонаправленное, стесненное или концентрированное воздействие, используя инновационные технические решения почвообрабатывающих рабочих органов. В результате обеспечивается стабилизация глубины обработки, исключается вынос влажной почвы на дневную поверхность, повышается производительность и снижаются энергозатраты.

Литература

1. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Колос, 1994. 751 с.
2. Руденко Н.Е. Технологические и силовые характеристики почвообрабатывающих рабочих органов. Ставрополь: АГРУС, 2014. 92 с.
3. Несмиян А.Ю., Доспехов В.В. Обзор культиваторов для сплошной обработки почвы и тенден-

ций их производства // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 4. С. 6–9.

4. Руденко Н.Е., Кайванов С.Д., Завялик Ф.Н. Скоростной энергосберегающий культиватор // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 7. С. 18–21.
5. Панов И.М. Выбор энергосберегающих способов обработки почвы // Тракторы и сельхозмашины. 1990. № 8. С. 32–35.

References

1. Klenin N.I., Sakun V.A. Sel'skokhozyaystvennye i meliorativnye mashiny [Agricultural and meliorative machines]. Moscow: Kolos Publ., 1994. 751 p.
2. Rudenko N.E. Tekhnologicheskie i silovye kharakteristiki pochvoobrabatyvayushchikh rabochikh organov [Technological and power characteristics of soil-working tools]. Stavropol': AGRUS Publ., 2014. 92 p.
3. Nesmiyan A.Yu., Dospekhov V.V. Overview of cultivators for continuous tillage and production trends. Traktory i sel'khozmashiny. 2013. No 4, pp. 6–9 (in Russ.).
4. Rudenko N.E., Kayvanov S.D., Zavyalik F.N. High-speed energy-saving cultivator. Traktory i sel'khozmashiny. 2016. No 7, pp. 18–21 (in Russ.).
5. Panov I.M. Selection of energy-saving methods of soil cultivation. Traktory i sel'khozmashiny. 1990. No 8, pp. 32–35 (in Russ.).

СУШКА ЗЕРНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОПОК НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

DRYING GRAIN USING SOLID FUEL

А.В. ГОЛУБКОВИЧ¹, д.т.н.

С.А. ПАВЛОВ¹, к.т.н.

Р.А. МАРИН²

А.Н. ДАДЫКО²

¹ ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия, vim@vim.ru

² ООО «ОКБ по теплогенераторам», Брянск, Россия

А.В. GOLUBKOVICH¹, DSc in Engineering

S.A. PAVLOV¹, PhD in Engineering

R.A. MARIN²

A.N. DADYKO²

¹ Federal scientific agro-engineering center VIM, Moscow, Russia, vim@vim.ru

² Experimental Design Bureau for Heat Generators, Bryansk, Russia

Использование альтернативных источников жидкого (газообразного) топлива для получения теплоносителя, в том числе для сушки зерна, исследовано в отличие от сжигания традиционных видов топлива недостаточно, что сдерживает их применение. Характерной особенностью использования топочных блоков для сжигания растительных отходов является достаточно длительный розжиг и прогрев, предшествующие сушке. При этом в обмуровке топки накапливается большое количество теплоты, которое может быть частично использовано при периодической сушке для следующих партий зерна и полностью для последней, что повышает эффективность процесса. Сушка является одной из основных операций в постсборочной обработке зерна, от качественной сушки во многом зависит судьба урожая. В хозяйствах распространены как поточная, так и периодическая сушка. На периодической сушке, как правило, используют те же самые сушилки, что и для поточной, или специализированные. Технология этой сушки в сушилках, оснащенных жидкостными или газовыми топками, хорошо отработана и не вызывает затруднений: разжигают топку, циклически высушивают зерно до кондиционной влажности, отключают подачу топлива, циклически охлаждают и разгружают сушилку. Пауза между сушками соседних партий без розжига и прогрева топки определяется временем охлаждения обмуровки до температуры устойчивого воспламенения и горения летучих плюс 150–200 °C в зависимости от влажности твердых частиц растительных отходов. Длительность розжига есть функция массы обмуровки топки, ее теплоемкости, температуры топочных газов и коэффициента теплоотдачи. При розжиге жидкого топлива ее длительность составляет не менее 20 мин. Для высушивания последней партии зерна масса обмуровки топки должна быть не менее 0,7 массы зерна в сушилке. Длительность прогрева топки завершается стабилизацией температуры топочных газов на выходе дымососа, но составляет не менее 1 часа.

Ключевые слова: сушка, зерно, розжиг, прогрев топки.

The use of alternative sources of liquid (gaseous) fuel to produce a coolant, including for grain drying, has been studied in contrast to burning conventional fuels, which hinders their use. A characteristic feature of the use of combustion units for burning plant waste is a sufficiently long ignition and preheating, preceding the drying. At the same time, a large amount of heat is accumulated in the furnace casing, which can be partially used for batch drying for the next batch of grain and completely for the latter, which will increase the efficiency of the process. Drying is one of the main operations in post-harvest grain processing, the fate of the crop depends largely on the quality of drying. Both flow and periodic drying are common in farms. Periodic drying, as a rule, uses the same dryers as for flow or specialized. The technology of this drying in dryers equipped with liquid or gas furnaces is well developed and does not cause difficulties – kindle the furnace, cyclically dry the grain to the conditioned moisture, cut off the fuel supply, cyclically cool and unload the dryer. The pause between the drying of adjacent lots without ignition and heating of the furnace is determined by the cooling time of the masonry to the temperature of stable ignition and burning of volatiles plus 150–200 °C, depending on the moisture content of solid particles of plant waste. The duration of ignition is a function of the mass of the furnace chamber, its heat capacity, the temperature of the flue gases and the heat transfer coefficient. At ignition of liquid fuel its duration is not less than 20 min. To dry the last batch of grain, the mass of the burnt chamber must be at least 0.7 times the mass of the grain in the dryer. The duration of heating the furnace is completed by stabilizing the temperature of the flue gases at the outlet of the exhaust fan, but not less than 1 hour.

Keywords: drying, grain, ignition, heating of the furnace.

Введение

Рассмотрим особенности использования топки на твердом топливе при периодической сушке: топку последовательно разжигают, прогревают, высушивают партию зерна, разгружают, вновь загружают и высушивают следующую партию зерна, но без разжига и прогрева, а последнюю партию высушивают аккумулированным в топке теплом.

Цель исследования

Целью исследования является расчет длительности разжига и прогрева топки, допустимой паузы между сушками партий зерна, параметров топки, экспериментальная проверка.

Материалы и методы исследования

При решении этих задач принимались следующие упрощающиеся допущения, не накладывающие существенных ограничений на расчет параметров, теплофизические характеристики твердой частицы приняты неизменными и нагреваются конвективно, лучистый теплообмен не учитывают ввиду сравнительно низкой температуры поверхности топки по окончанию разжига, теплота, выделяемая при сгорании частицы, не учитывается. Так как при обосновании математических моделей расчета был сделан ряд допущений, то были проведены экспериментальные исследования на топочном блоке ТБР-2,0 мощностью 2 МВт.

Сушка является одной из основных операций в послесборочной обработке зерна, от качественной сушки во многом зависит судьба урожая. В хозяйствах распространены как поточная, так и периодическая сушка [1, 2]. На периодической сушке, как правило, используют те же самые сушилки, что и для поточной, или специализированные. Технология этой сушки в сушилках, оснащенных жидкостными или газовыми топками, хорошо отработана и не вызывает затруднений: разжигают топку, циклически высушивают зерно до кондиционной влажности, отключают подачу топлива, циклически охлаждают и разгружают сушилку [3, 4].

При прогреве в обмуровке топки аккумулируется большое количество теплоты, которое может быть частично использовано при сушке следующих партий зерна и полностью в последней, что повысит эффективность процесса. Использованию топок на растительных отходах во многом препятствует неизученность процессов разжига и прогрева топки, которые пред-

шествуют запуску сушилки [5–7]. Исключение периодичности разжига и прогрева позволит повысить безопасность и экономичность процесса. Это обусловлено снижением расхода высокореакционного топлива (ВТ) и исключением необходимости охлаждения обмуровки до безопасной температуры перед разжигом.

Проиллюстрируем работу топочного блока мобильной зерносушилки, широко распространенной на примере в сельском хозяйстве России (рис. 1).

Работа устройства осуществляется в следующем порядке.

Загрузочным средством 12 влажное зерно 18 загружают в сушильную камеру 8, разжигают топку 16 горелкой 4, прогревают, затем включают дозатор 2, дымовые газы при этом отводят в отводную трубу 15. Запускают шnek 10 и осуществляют циркуляцию зерна. После того как зерно достигает кондиционной влажности, подачу топлива прекращают, а высушенное зерно 19 разгружают при помощи средства 13 и охлаждают стационарно в плотном слое (на схеме охладитель не указан). После разгрузки сушилка готова для загрузки новой партии зерна, причем если длительность паузы не затягивается, то повторный разжиг не требуется. Длительность паузы зависит от массы обмуровки (масса огнеупорного кирпича): чем больше масса, тем более длительной допускается пауза. Последняя партия зерна может быть досушена без подачи топлива за счет аккумулированного в обмуровке тепла.

Циклическое охлаждение зерна в сушильной камере при периодической работе нецелесообразно, так как топка охлаждается длительное время, а разжиг топки с температурой более 40 °C на жидким топливе не допускается.

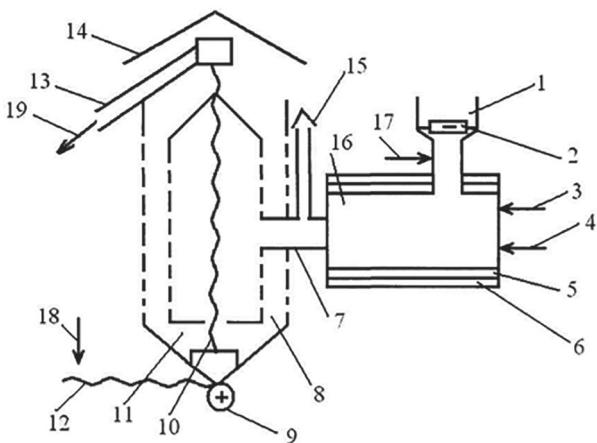


Рис. 1. Технологическая схема сушилки с топочным блоком

Физические основы расчета длительности допустимой паузы $\tau_{\text{паузы}}$:

- потерями тепла в окружающую среду пренебрегаем, так как топочный блок снаружи теплоизолирован;
- на момент прекращения подачи топлива обмуровка прогрета, ее температура как по высоте, так и по толщине выровнена;
- теплообмен в обмуровке рассматривается как в «термически тонком теле».

Длительность охлаждения топки при паузе можно рассчитать из баланса теплоты и изменения энталпии топочной камеры по формуле [8]:

$$\alpha (T - T_0) F d\tau = G c dT, \quad (1)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; G, F – масса обмуровки топки, кг, и ее поверхность, м^2 ; τ – длительность, ч; c – теплоемкость обмуровки, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; T, T_0 – текущая температура топки и температура воздуха, $^\circ\text{C}$.

Из выражения (1) получим длительность паузы:

$$\tau_{\text{паузы}} = \frac{G c}{\alpha F} \ln \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0}, \quad (2)$$

где T_1, T_2 – температура топки на моменты прекращения подачи топлива и воспламенения с устойчивым горением растительных отходов, $^\circ\text{C}$.

Выражение (2) можно переписать в виде:

$$\tau_{\text{паузы}} = \frac{b^* \rho c}{\alpha} \ln \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0}, \quad (3)$$

где b^* – глубина охлаждения обмуровки топки; ρ – плотность обмуровки топки, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Величину b^* можно определить совместным решением выражения (3) с выражением прогрева шамотной стенки $b^* = \sqrt{\frac{\tau \alpha}{0,35}}$, где α – коэффициент температуропроводности ($\alpha \approx 0,002 \text{ м}^2/\text{ч}$) [9].

Температуру T_2 можно записать в виде: $T_2 = k T_b$, где T_b – температура начала воспламенения летучих, $^\circ\text{C}$; k – коэффициент; $k = 1,1 \dots 1,5$ зависит от влажности растительных отходов (РО).

Например, для типичных условий сжигания РО при $\alpha = 40 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $c = 1,0 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; $\rho = 2000 \text{ кг}/\text{м}^3$; $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_1 = 800 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_b = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ [10]; $k = 1,2$; $T_2 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$; $b^* = 0,125 \text{ м}$, длительность паузы τ , при котором не требуется растопка и прогрев, составит 1,8 ч. Длительность $\tau_{\text{паузы}}$ можно изменять величиной T_1 . Кроме того, длительность охлаждения можно регулировать изменением скорости воздуха и, соответственно, изменением α , входящим в выражение (3). Графики зависимости $\tau_{\text{паузы}}$ от температуры T_1 и условий охлаждения топки при паузе приведены на рис. 2.

Сушку последней партии зерна от исходной до кондиционной влажности осуществляют без подачи топлива за счет аккумулированной теплоты в обмуровке топки. Определим массу обмуровки. Для этого запишем тепловой баланс топки при ее охлаждении:

$$Q_t = G c (T_2 - T'_0), \text{ кДж}, \quad (4)$$

где T'_0 – температура топочного блока по достижении зерном кондиционной влажности, $^\circ\text{C}$.

Это количество теплоты будет потрачено на сушку зерна:

$$Q_t = k G_3 \left(\frac{W_n - W_k}{100 - W_k} \right) \frac{q}{\eta}, \text{ кДж}, \quad (5)$$

где $k = 1,1 \dots 1,2$; G_3 – масса зерна, кг; W_n, W_k – начальная и конечная влажность зерна, %; q – удельная теплота испарения влаги, $\text{кДж}/\text{кг}$; η – доля теплоты, пошедшей на испарение влаги.

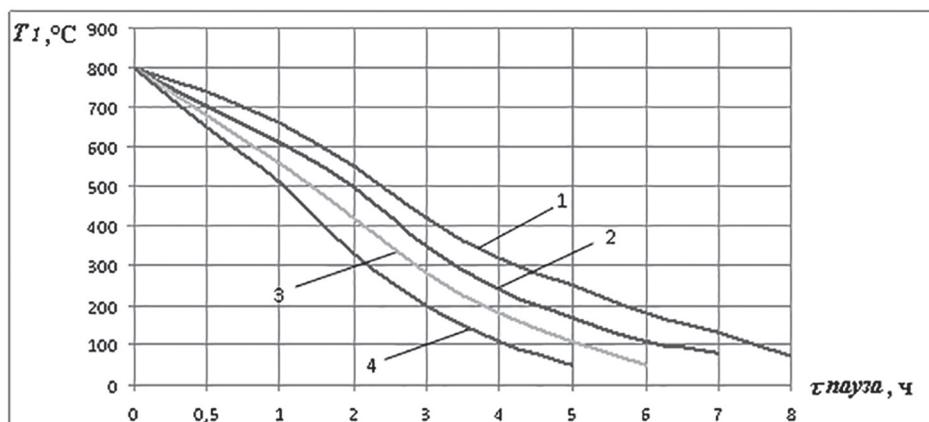


Рис. 2. Зависимость температуры T_1 от $\tau_{\text{паузы}}$:
1 – охлаждение без продувки; 2, 3 и 4 – с продувкой при $\alpha = 10, 20$ и $40 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Приравняв правые части выражений (4) и (5), получим:

$$G = \frac{k_0 G_3 \left(\frac{W_h - W_k}{100 - W_k} \right) q}{c (T_h - T_k) \eta}, \text{ т} \quad (6)$$

где k_0 – коэффициент усушки зерна.

Из выражения (6) вместимость сушилки по зерну составит:

$$G_3 = \frac{G c (T_2 - T_0) \eta}{k \left(\frac{W_h - W_k}{100 - W_k} \right) q}. \quad (7)$$

Исследуем полученные выражения (6) и (7). Для этого построим графики зависимости G_3/G от ΔT , где $\Delta T = T_2 - T'_0$ (рис. 3). С повышением ΔT величина G_3/G возрастает, а также масса обмуровки снижается с понижением q .

Для стандартного влагосъема в $\Delta W = 6\%$ (при сушке зерна пшеницы от 20 до 14 %) для современных зерносушилок с $q = 4,4 \text{ МДж/кг исп. вл.}$ $\eta = 0,8...0,9$ и температурой устойчивого воспламенения летучих не ниже $300\text{--}320^\circ\text{C}$, масса обмуровки топочного блока – не менее $0,7$ его зерновой вместимости.

Перед запуском сушилки разжигают и прогревают топку подачей ВТ, частицы низкореакционного топлива (НР) подают в прогретую топочную камеру, после зажигания отключают подачу ВТ. Нагрев частиц инициирует процесс испарения влаги, начинается интенсивный рост температуры, воспламеняются летучие, затем происходит зажигание и горение коксового остатка [11].

Ставится задача определить длительность разжига и температуру топки, при которой происходит устойчивое воспламенение и горение твердых частиц.

Потери теплоты на сжигание твердого топлива при разжиге можно записать в виде:

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 + Q_3, \text{ кДж}, \quad (8)$$

где Q_1 – потери на прогрев сухих частиц до воспламенения, кДж ($Q_1 = G_0 c_q \Delta T'$, где G_0 – масса взвешенных частиц, кг; c_q – теплоемкость частиц, кДж/(кг·°C); $\Delta T'$ – степень нагрева частиц до уверенного выхода летучих, °C; $\Delta T' = T''_0 - T'_0$; T''_0 – температура воспламенения летучих; T'_0 – начальная температура частиц (топки), °C; для сланцев $T''_0 \approx 250^\circ\text{C}$ [10]); Q_2 – потери на нагрев влаги и паров, кДж ($Q_2 = G_0 c_v \Delta T' \frac{W_h - W_k}{100 - W_k}$, где c_v – теплоемкость влаги и паров, кДж/(кг·°C); W_h , W_k – начальная и конечная влажность частиц, %); Q_3 – потери на испарение влаги, кДж ($Q_3 = 0,01 \cdot G_0 W_h r$, где r – удельная теплота испарения влаги, кДж/кг).

Потери теплоты по выражению (8) запишем в виде:

$$Q_{\Sigma} = G_0 f \alpha \Delta T' \tau_0, \quad (9)$$

где f – удельная поверхность частиц, $\text{м}^2/\text{кг}$; F – поверхность частиц, м^2 ; α – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$; τ_0 – время нахождения частиц в топке, ч; $\Delta T' = T_k - T''_0$ (T_k – конечная температура топки при разжиге, °C).

Приравнивая правые части выражений (8) и (9), получим:

$$\begin{aligned} G_0 \left(c_q \Delta T'_0 + c_v \Delta T' \left(\frac{W_h - W_k}{100 - W_k} \right) + 0,01 W_h r \right) &= \\ &= G_0 f \alpha \Delta T' \tau_0. \end{aligned} \quad (10)$$

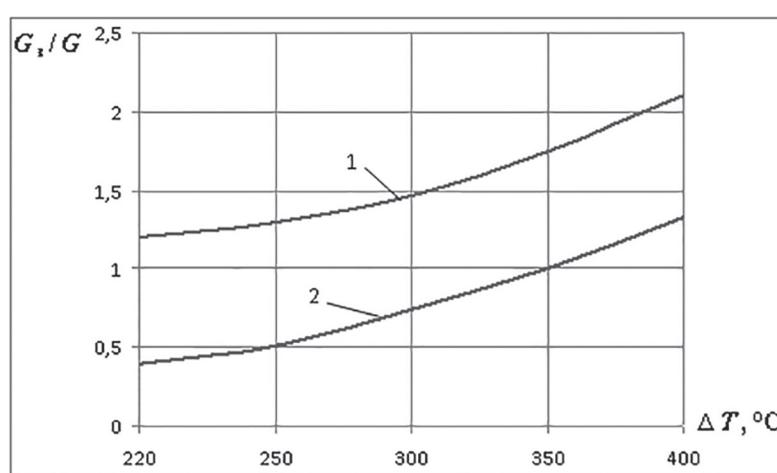


Рис. 3. Зависимость G_3/G от ΔT :
1 – $\Delta W = 6\%$; 2 – $\Delta W = 12\%$; $q = 4,2 \text{ МДж/кг исп. вл.}$

Выражение (10) перепишем в виде:

$$T_k = \frac{(c_q \Delta T' + c_b \Delta T') \left(\frac{W_h - W_k}{100 - W_k} \right) + 0,01 W_h r}{\tau_0 f \alpha} + T_0.$$

Определив величину $\tau_0 f \alpha$, например из [5], подставив известные значения W_h (при $W_k \approx 0$), можно рассчитать T_k из выражения (4).

Так как при розжиге глубина топки b^* сравнительно не велика, то топку можно рассматривать как термически тонкое тело и записать тепловой баланс нагрева аналогично выражению (3):

$$\tau_p = \frac{G c}{F \alpha} \ln \frac{T_1 - T_h}{T_1 - T_k}, \quad (11)$$

где τ_p – длительность розжига, ч; T_1 , T_h , T_k – топочных газов, начальная и конечная температура топки, °C.

Выражение (11) перепишем в виде:

$$\tau_p = \frac{b^* \rho c}{\alpha} \ln \frac{T - T_h}{T - T_k}. \quad (12)$$

Решение (12) можно выполнить, если использовать выражение определяющее глубину прогрева b^* из выражения (3).

После розжига необходимо для устойчивой работы прогреть обмуровку топки. В общем случае время прогрева определяется условием достижения фронта температуры противоположной стенки:

$$\tau_{np} = \frac{b \rho c}{\alpha} \ln \frac{T_1 - T_h}{T_1 - T_k}.$$

На практике прогрев топки занимает достаточно длительное время: так, например, на глубину 0,25 м оно займет примерно 2,4 ч, что необходимо иметь ввиду при организации сушки зерна. Длительность прогрева завершается стабилизацией температуры топочных газов на выходе дымососа.

Программа и методика исследований

Экспериментальные исследования по розжигу и прогреву проведены в топочном блоке ТБР-2,0, установленном на Борисоглебском маслозаводе. Для розжига использовали горелку жидкого топлива мощностью 1,5 МВт. Опыты проводили на лузге подсолнечника с $Q_p = 15$ МДж/кг; $W = 7\%$; $f = 3,0$ м²/кг. При розжиге (подача жидкого топлива) избыток воздуха $\alpha_k = 1,05$, после розжига подачи РО повышали до $\alpha_t = 1,2...1,6$. Температуру топочных газов на выходе топки ограничивали

$T = 900 \pm 20$ °C и 1300 ± 20 °C. Производительность топочного устройства по лузге П меняли от 100 до 320 кг.

Замеряли температуру топки (при включенной и отключенной запальной горелке) выше факела и температуру топочных газов на выходе дымососа. Температуру замеряли каждые 2–3 мин. По истечении 5, 7, 10, 12 и 15 мин отключали подачу ВТ, включали подачу НР и наблюдали горение РО и снижение температуры топочных газов в топке и на выходе дымососа. При затухании горения отключали подачу РО и снова включали подачу жидкого топлива. Момент, когда температура топочных газов в топке и на выходе дымососа после некоторого падения поднималась и стабильно возрастила, принимали за конец розжига.

Температуру поверхности топки при розжиге замеряли пиromетром. Отмечали, при какой температуре продолжается или прекращается горение РО при различном расходе. Время завершения прогрева топки определяли по стабилизации температуры топочных газов на выходе из дымососа.

Обсуждение результатов

На рис. 4 приведены зависимости температуры газов в топке T_t и на выходе дымососа T_d от времени τ_p .

Испарение влаги, фильтрация паров к поверхности частицы и охлаждение твердого остатка, остающегося после завершения процесса удаления летучих, приводит к более высокой температуре розжига топки по сравнению с температурой зажигания летучих. На основании вышеизложенного можно сделать вывод о необходимости использования при анализе условий и характеристик зажигания РО математических моделей, учитывающих процессы при сжигании РО в топочной камере.

Розжигают и прогревают топку подачей высокореакционного (ВТ) топлива, частицы низкореакционного (НР) топлива подают в прогретую топочную камеру, после зажигания отключают подачу ВТ. Нагрев частиц инициирует процесс испарения влаги, начинается интенсивный рост температуры, воспламеняются летучие, затем происходит зажигание и горение коксового остатка.

При температуре топки, меньшей T_k , розжиг либо не происходит, либо горение неустойчивое и затухает. При $T \geq T_k$, несмотря на первоначальное падение температуры топки на

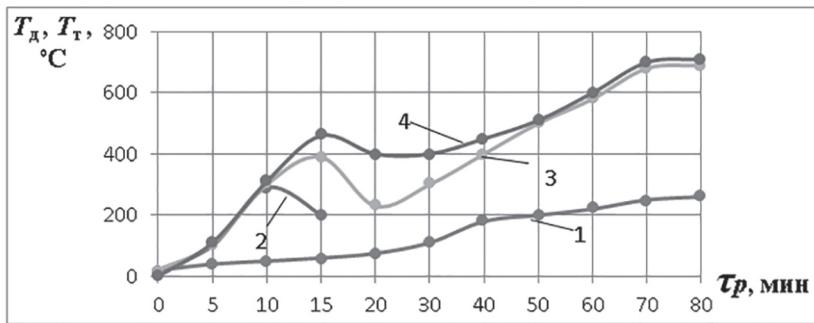


Рис. 4. Зависимость T_d и T_t от τ_p при розжиге:
 $\Pi = 230 \text{ кг}/\text{ч}; 1 - \text{температура отходящих газов после дымососа};$
 $2, 3, 4 - \text{температура топочных газов при } \tau = 8, 10, 16 \text{ мин}$

100–200 $^{\circ}\text{C}$ процесс аутермичен, происходит розжиг и прогрев топки. Прогрев топки можно считать законченным, когда температура T_d стабилизируется во времени. Малосущественную роль в ее нагреве играет излучение и горение летучих частиц, так как температура в топочной камере при розжиге сравнительно не высока.

Установлено достаточно близкое, с погрешностью не более $\pm 15 \%$, совпадение длительности розжига τ_p с результатами расчета по выражению (12) при величине $\Pi \geq 150 \text{ кг}/\text{ч}$. При этом циркуляционные вихри в топке насыщаются твердой фазой, что обуславливает устойчивое зажигание. Время розжига τ_p имеет куполообразную зависимость от производительности, максимум приходится на диапазон $150 \leq \Pi \leq 250 \text{ кг}/\text{ч}$.

После отключения подачи топлива длительность паузы не должна превышать длительности охлаждения обмуровки до температуры устойчивого воспламенения РО.

Заключение

Пауза между сушками соседних партий зерна без розжига и прогрева топки определяется временем охлаждения обмуровки до температуры устойчивого воспламенения и горения летучих плюс 150–200 $^{\circ}\text{C}$ в зависимости от влажности твердых частиц РО. Длительность розжига есть функция массы обмуровки топки, ее теплоемкости, температуры топочных газов и коэффициента теплоотдачи. При розжиге жидкого топлива ее длительность – не менее 20 мин. Для высушивания последней партии зерна масса обмуровки топки должна быть не менее 0,7 массы зерна в сушилке. Длительность прогрева завершается стабилизацией температуры топочных газов на выходе дымососа, но составляет не менее 1 часа.

Литература

- Измайлова А.Ю., Лобачевский Я.П. Система технологий и машин для инновационного развития АПК России // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сб. докл. междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1. М.: ВИМ, 2013. С. 9–12.
- Елизаров В.П., Антышев Н.М., Бейлис В.М., Шевцов В.Г. Исходные требования на технологические операции в растениеводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. № 1. С. 11–14.
- Аникин В.И., Окунь Г.С. Технологические основы сушки работы зерносушильных установок: М.: ГНУ ВИМ, 2003. 167 с.
- Витоженц Э.Н., Окунь Г.С., Чижиков А.Г., Добычин Н.А. Рекомендации по использованию материально-технической базы для сушки семян зерновых и других культур в семеноводческих хозяйствах. М.: Колос, 1983. С. 16–17.
- Голубкович А.В. Топки на растительных отходах: процессы, конструкции, режимы, расчеты. М.: ГНУ ВИМ, 2011. 172 с.
- Дадыко А.Н. Моделирование аэродинамики факельно-вихревого режима в топке для растительных отходов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 2. С. 32–35.
- Беляев А.А. Сжигание высокозольных топлив в топках с кипящим слоем промышленных котлов. М.: МЭИ, 2004. 69 с.
- Тинькова С.М., Прошкин А.В., Сторожев Ю.И. Задачи по теплотехнике. Красноярск: ГАЦМиЗ, 1996. 128 с.
- Мамыкин П.С., Стрелов К.К. Топки, печи и сушилки огнеупорных заводов. М.: Гос. науч.-техн. изд-во лит. по черной и цветной металлургии, 1950. 140 с.
- Баскаков А.П., Мацнев В.В., Распопов И.В. Котлы и топки с кипящим слоем. М.: Энергоатомиздат, 1995. 298 с.

11. Хидиятов А.М., Осинцев В.В., Гордеев С.В. Результаты перевода пылеугольного котла паропроизводительностью 89 кг/с на сжигание водоугольной суспензии // Теплоэнергетика. 1987. № 1. С. 5–11.

References

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. System of technologies and machines for innovative development of the agro-industrial complex of Russia. Sistema tekhnologiy i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK Rossii: Sb. dokl. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf [System of technologies and machines for innovative development of the agroindustrial complex of Russia: Collection of abstracts of international scientific and technical conference]. Ch. 1. Moscow: VIM Publ., 2013, pp. 9–12 (in Russ.).
2. Elizarov V.P., Antyshev N.M., Beylis V.M., Shevtsov V.G. Initial requirements for technological operations in crop production. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2011. No 1, pp. 11–14 (in Russ.).
3. Aniskin V.I., Okun' G.S. Tekhnologicheskie osnovy sushki raboty zernosushil'nykh ustavovok [Technological bases of drying of grain dryers]. Moscow: GNU VIM Publ., 2003. 167 p.
4. Vitozhents E.N., Okun' G.S., Chizhikov A.G., Dobychin N.A. Rekomendatsii po ispol'zovaniyu material'no-tehnicheskoy bazy dlya sushki semyan zernovykh i drugikh kul'tur v semenovodcheskikh khozyaystvakh [Recommendations on the use of the material and technical base for drying seeds of cereals and other crops in seed farms]. Moscow: Kolos Publ., 1983, pp. 16–17.
5. Golubkovich A.V. Topki na rastitel'nykh otkhodakh: protsessy, konstruktsii, rezhimy, raschety [Furnace on plant waste: processes, structures, regimes, settlements]. Moscow: GNU VIM Publ., 2011. 172 p.
6. Dadyko A.N. Modeling of the aerodynamics of the flare-vortex regime in the furnace for vegetable wastes. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2016. No 2, pp. 32–35 (in Russ.).
7. Belyaev A.A. Szhiganie vysokozol'nykh topliv v topkakh s kipyashchim sloem promyshlennyykh kotlov [Burning of high-ash fuels in furnaces with boiling layer of industrial boilers]. Moscow: MEI Publ., 2004. 69 p.
8. Tin'kova S.M., Proshkin A.V., Storozhev Yu.I. Zadachi po teplotekhnike [Tasks for heat engineering]. Krasnoyarsk: GATsMiZ Publ., 1996. 128 p.
9. Mamykin P.S., Strelov K.K. Topki, pechi i sushilki ogneupornyykh zavodov [Furnaces, ovens and driers of refractory plants]. Moscow: Gos. nauch.-tekhn. izd-vo lit. po chernoy i tsvetnoy metallurgii Publ., 1950. 140 p.
10. Baskakov A.P., Matsnev V.V., Raspopov I.V. Kotly i topki s kipyashchim sloem [Boilers and furnaces with fluidized bed]. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1995. 298 p.
11. Khidiyatov A.M., Osintsev V.V., Gordeev S.V. The results of transfer of a pulverized coal boiler with a steam production capacity of 89 kg / s for burning a coal-water suspension. Teploenergetika. 1987. No 1, pp. 5–11 (in Russ.).

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПЫТНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ В ПОЧВУ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ УДОБРЕНИЙ

FUNCTIONAL CAPABILITIES OF THE EXPERIMENTAL UNIT FOR INTRODUCING INTO THE SOIL AQUEOUS SOLUTIONS OF FERTILIZERS

С.М. ДЖИБИЛОВ, к.т.н.

Л.Р. ГУЛУЕВА

СКНИИГПСХ ВНЦ РАН, Владикавказ, Россия,
luda_gulueva@mail.ru

S.M. DZHIBILOV, PhD in Engineering

L.R. GULUEVA

North-Caucasian Research Institute of Mining
and Piedmont Agriculture of RAS (SKNIIGPSKh),
Vladikavkaz, Russia, luda_gulueva@mail.ru

Одним из способов возрождения и сохранения лугов и пастбищ в горной зоне является внесение жидких удобрений на разреженный фитоценоз и оголенные участки, потерявшие ценные кормовые виды растений. Для решения этой проблемы сотрудниками СКНИИГПСХ впервые предложен новый способ улучшения горных лугов и пастбищ, для реализации которого впервые на базе горного культиватора КЧГ-2,4 создан опытный образец агрегата, выполняющий внесение жидких удобрений в почву подсеваемого участка. Согласно расчетам, на опытном образце агрегата установлена цистерна емкостью 240 литров, которая обеспечивает непрерывную работу агрегата в течение одного часа. Опытный образец агрегата, благодаря маневренности, мобильности и небольшому весу, вполне подходит для работы на склоновых землях в фермерских хозяйствах для поверхностного улучшения горных лугов и пастбищ с уклоном до 16°. Данний способ открывает возможность выполнения посевных работ даже в засушливый период, делает травостой гуще, что препятствует водной и ветровой эрозии. Исследования агрегата проведены на базе экспериментальной мастерской группы механизации СКНИИГПСХ и на экспериментальном участке в селе Даргавс Пригородного района РСО-Алания на общей площади 300 м² в трехкратной повторности. Новизна агрегата заключается в том, что впервые создан опытный образец блок-модуля многофункционального агрегата на базе горного чизельного культиватора КЧГ-2,4 (конструкции СКНИИГПСХ), оснащенный рабочими органами для внесения жидких минеральных удобрений и растворов других препаратов в почву горных лугов и пастбищ с каменистыми выступами на поверхности, который обеспечивает повышение продуктивности с/х угодий и рентабельности сельскохозяйственного производства на 15–20 %, снижение эрозионных процессов и повышение устойчивости агроландшафтов.

Ключевые слова: агрегат, поверхностное улучшение, жидкое удобрение, склоны, пастбища, горы.

One of the ways to revive and preserve meadows and pastures in the mountainous zone is the introduction of liquid fertilizers to the sparse phytocenosis and exposed areas that have lost valuable forage species. To solve this problem, for the first time a new method for improving mountain meadows and pastures was proposed by the staff of SKNIIGPSKh, for the implementation of which, for the first time, a prototype of an aggregate that performs the application of liquid fertilizers to the soil of the planted area was created on the basis of the KGG-2,4 mining cultivator. According to calculations on the experimental sample of the unit, a tank of 240 liters is installed, which ensures continuous operation of the unit within one hour. The prototype of the unit, due to maneuverability, mobility and light weight, is quite suitable for working on sloping lands in farms for superficial improvement of mountain meadows and pastures with a slope up to 16°. This method opens the possibility of performing sowing operations even in the dry period, making the grass stand thicker, which prevents water and wind erosion. The unit was tested on the basis of the experimental workshop of the mechanization group of SKNIIGPSKh and on the experimental plot in the village of Dargavs of the Prigorodny district of the Republic of North Ossetia-Alania on a total area of 300 m² in triplicate. The aim of the research was to develop a prototype block module of a multifunctional aggregate for applying liquid fertilizers to the soil on mountain meadows and pastures, which provides an increase in the productivity of agricultural landscapes and the profitability of agricultural production by 15–20 %. The novelty of the unit is that for the first time a prototype of a block-module of a multifunctional unit based on a mountain chisel cultivator KChG-2,4 (designed by SKNIIGPSKh) equipped with working elements for introducing liquid mineral fertilizers and solutions of other preparations onto the slopes of meadows and pastures with Rocky protrusions on the surface, providing an increase in the productivity of agricultural land, reducing erosion processes and increasing the stability of agrolandscapes.

Keywords: aggregate, surface improvement, liquid fertilizer, slopes, pastures, mountains.

Введение

Горная и предгорная зоны РСО-Алании являются одним из регионов России где производится мясо и молоко диетического направления. Однако отсутствие достаточного уровня механизации отрасли, а вследствие этого ее непривлекательность для товаропроизводителей, влечет за собой проблему оттока населения и товаропроизводителя из горной зоны на равнину, где почти все процессы сельскохозяйственного производства механизированы, а вопросы соцкультбыта решены на европейском уровне. Необходимость решения этой проблемы обусловлена тем, что горные территории занимают одну треть территории России.

Большинство таких территорий имеют благоприятные почвенно-климатические условия для развития с/х производства. Однако специфические организационно-хозяйственные условия горных территорий в большинстве случаев не позволяют использовать серийную технику, созданную для равнины [1]. Множество принципиальных отличий условий горного и предгорного с/х производства определяют специфику агротехнических требований, предъявляемых к сельскохозяйственным машинам, работающим в горах. Эти требования определяются сложным и пересеченным рельефом, обуславливающим наличие склонов различной крутизны.

Особые условия при конструировании рабочих органов, работающих в почве, создают скалистые выступы и наличие камней в почве. Необходимо предусматривать при проектировании предохранительные устройства для рабочих органов горного агрегата, которые будут защищать детали такого агрегата от поломок при столкновении рабочих органов с камнями и восстанавливать их рабочее положение после прохода камня.

Цель исследования

Целью исследования является изучение функциональных возможностей созданного опытного агрегата для внесения водных растворов удобрений в почву горных лугов и пастбищ на базе горного чизельного культиватора КЧГ-2,4.

С учетом специфических условий горных лугов, пастбищ и других сельхозугодий лабораторией механизации СКНИИГПСХ впервые разработан, изготовлен и испытан опытный образец блок-модуля многофункционального

агрегата для внесения жидких удобрений и других рабочих растворов в почву горных лугов и пастбищ на базе горного чизельного культиватора КЧГ-2,4 [2].

Материалы, методы исследования и их обсуждение

С учетом специфических условий горных лугов, пастбищ и других сельхозугодий лабораторией механизации СКНИИГПСХ впервые разработан, изготовлен и испытан опытный образец блок модуля многофункционального агрегата для внесения жидких удобрений и других рабочих растворов в почву горных лугов и пастбищ на базе горного чизельного культиватора КЧГ-2,4 [2].

Научно-техническое обеспечение работ лугопастбищного хозяйства горных областей имеет огромную научно-практическую значимость и актуальность, а разработанный агрегат является достойным вкладом в решении аграрной проблемы в горных зонах в части создания привлекательных условий для организации там товарного производства экологически чистой продукции в горах.

Известно, что одним из наиболее эффективных способов использования как твердых, так и жидких удобрений является внесение их в почву – в прикорневую зону растений на глубину от 20 до 160 мм, при котором они более доступны и легко усваиваются растениями. Кроме этого необходимо отметить, что все операции по доставке и внесению жидких удобрений в почву достаточно механизированы для равнинных сельхозугодий с некаменистыми почвами и для плодопитомников горной зоны [3]. Одной из наиболее близких по технологии сельскохозяйственной машиной к созданному опытному образцу блок-модуля многофункционального агрегата является «Приспособление ПРЖ-1,7».

Авторами разработана технологическая схема опытного образца блок-модуля многофункционального агрегата для внесения жидких удобрений и других рабочих растворов в почву на горные луга и пастбища при склоне α до 20° (рис. 1). Опытный образец блок-модуля многофункционального агрегата может использоваться также в плодопитомниках горной зоны [4] с рыхлителем междуурядий [5], что будет способствовать совершенствованию механизации работ в горной и предгорной зонах Северного Кавказа [6].

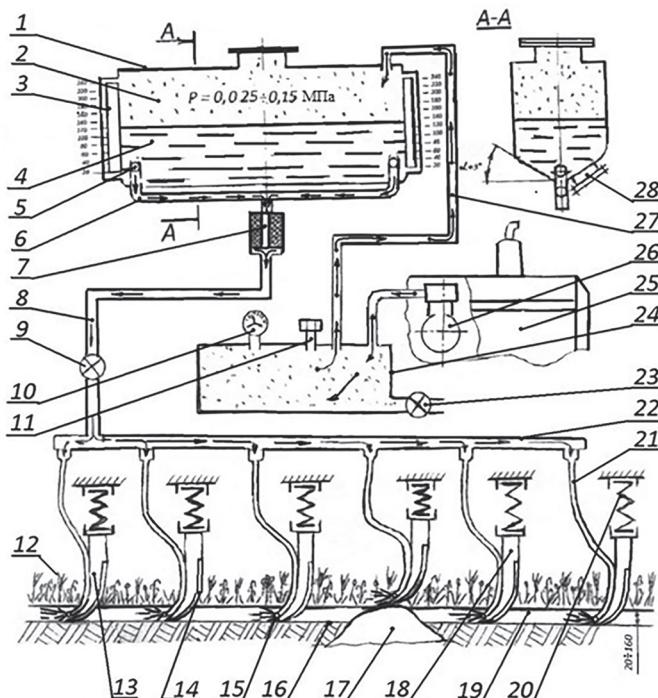


Рис. 1. Технологическая схема опытного образца блок-модуля многофункционального агрегата для внесения жидких удобрений в почву на горные луга и пастбища при склоне α° :

- 1 – цистерна; 2 – сжатый воздух; 3 – указатель уровня; 4 – рабочий раствор; 5 – поплавковый клапан;
- 6 – заборное устройство; 7 – фильтр; 8 – растворопровод; 9 – кран управления; 10 – манометр;
- 11 – редукционный клапан; 12 – травостой; 13 – подкормочный нож; 14 – лезвие ножа; 15 – распылитель;
- 16 – дно щели; 17 – каменистый выступ; 18 – положение ножа при встрече с выступом камня;
- 19 – поверхность почвы; 20 – пружинистая подвеска; 21 – шланг; 22 – коллектор; 23 – спускной клапан;
- 24 – ресивер; 25 – трактор; 26 – компрессор; 27 – воздухопровод; 28 – горловина промывочная;
- — направление движения рабочего раствора; ← — направление движения сжатого воздуха

Технологический процесс протекает с учетом многофакторности следующим образом. В цистерну 1 через горловину заправляется рабочий раствор. При этом, учитывая фактор склоновости, конструкция цистерны [7] позволяет производить ее полное опорожнение при работе агрегата на склонах $\alpha = 20^\circ$. После заправки цистерны по воздуховоду 27 через ресивер 24 от компрессора 26 трактора 25 подается в нее сжатый воздух 2. Для регулировки давления сжатого воздуха в ресивере 24 установлен редукционный клапан 11, а контроль величины давления воздуха визуально осуществляется по манометру 10. Контроль уровня рабочего раствора в цистерне осуществляется визуально трактористом по указателю уровня рабочего раствора при движении агрегата по склону с уклоном вправо или влево. В кабине тракториста установлен кран управления потоком рабочего раствора 9, при открытии которого поток рабочего раствора под давлением сжатого воздуха из цистерны через заборное устройство 6 и фильтр 7 поступает в растворопровод 8, оттуда в коллек-

тор 21 и от него по шлангам 21 к подкормочным ножам с распылителями 15. Одним из основных параметров, определяющих качество работы цистерны горного агрегата, является способность ее конструкции обеспечивать полное опорожнение при движении как по продольным, так и поперечным склонам к направлению движения агрегата. Графические построения и анализ сил, действующих при эксплуатации цистерны на склонах (α до 20°), позволили обосновать ее конструкцию.

Подкормочные ножи 13 на заданную глубину в почве 19 нарезают щели, в которые впрыскивается рабочий раствор. Каждый подкормочный нож имеет пружинную подвеску 20, которая позволяет обходить каменистые выступы, встречающиеся на пути движения подкормочного ножа, и без его повреждения возвращаться в рабочее состояние. Лезвие ножа 14 позволяет нарезать в почве щели без подрыва кромок щелей. После окончания работы агрегата краном 23 спускается конденсат из ресивера 24, и система освобождается от из-

быточного давления. Горловина 28 служит для промывки цистерны от случайно попавших в нее механических примесей, тем самым обеспечивается более длительный срок службы фильтра рабочего раствора 7 и надежность стабильной работы агрегата.

После постановки агрегата на площадку для хранения шланг от компрессора 26 отсоединяется.

В результате проведенных НИОКР авторами предлагается создавать опытным образцом на склоновых травостоях противоэрозионную регулируемую мозаичность бурного прорастания трав в шахматном порядке, которое будет препятствовать водной эрозии вдоль склонов (рис. 2).

Конструкция и функциональные возможности опытного образца позволяют также применять его в горной зоне на пропашных культурах для культивации междуурядий с одновременным внесением жидких удобрений в прикорневую зону на регулируемом расстоянии от оси ряда растений.

Сотрудниками лаборатории механизации СКНИИГПСХ также разработана и предлагается схема расстановки рабочих органов на опытном образце агрегата для обработки почвы в междуурядьях пропашных культур (рис. 3). При этом на ровной площадке с твердым покрытием проводим мелом продольную осевую линию культиватора $N-N$, затем наме-

чаем продольные осевые линии рядков растений $m-m$ и границы защитных зон (заштрихованные) на расстоянии a от оси рядков. За один проход агрегат отрабатывает четное количество междуурядий, равное четырем, поэтому от оси агрегата $N-N$ справа и слева проводим разметочные линии $m-m$ на расстояниях, равных ширине междуурядий $b = 700$ мм.

Агрегат на размеченную площадку устанавливают так, чтобы середины передней и задней балки рамы культиватора КЧГ-2,4 располагались над осевой линией $N-N$.

На задней балке мелом намечают места крепления стоек 5, по линиям $c-c$ закрепляют их по разметкам, а к стойкам, согласно схеме расстановки (см. рис. 3), крепят односторонние полольные лапы 1, стрельчатые лапы 2 и подкормочные ножи 3.

Опорные колеса культиватора и колеса трактора устанавливают так, чтобы они двигались по серединам междуурядий растений – линиям $c-c$.

Для установки рабочих органов на заданную глубину обработки почвы под опорные колеса культиватора подкладывают деревянные бруски, толщина которых должна быть на 2–3 см меньше глубины обработки, что компенсирует проседание колес в почву, и закрепляют колеса, уперев их в площадку. Подкормочные ножи и односторонние лапы расставляют по намеченным рядам растений 4 так, чтобы ближайшие к ряду части рабочих органов располагались от оси ряда

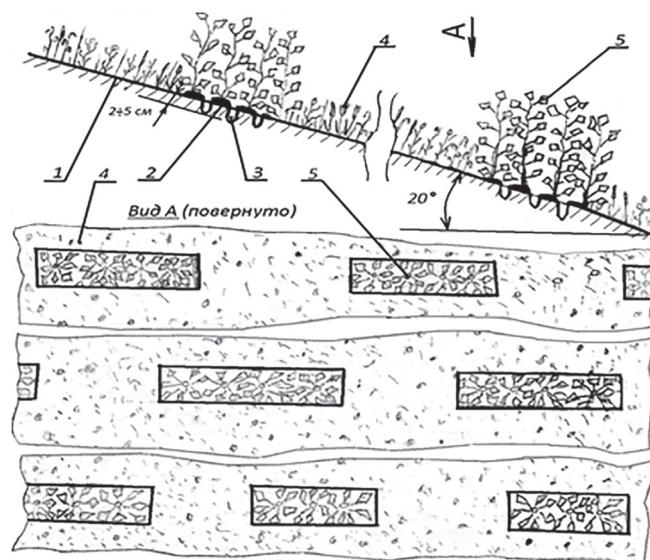


Рис. 2. Противоэрзионная регулируемая мозаичность травостоя горных лугов и пастбищ на склонах до 20° при внесении жидких удобрений в почву опытным образцом агрегата на базе горного культиватора КЧГ-2,4:

1 – поверхность почвы лугопастбищного участка; 2 – почвенный валик от вытесненной почвы; 3 – водозадерживающая щель для внесения жидких удобрений и стимуляторов роста в прикорневую зону травостоя; 4 – естественный травостоя; 5 – травостоя после внесения жидких удобрений в почву

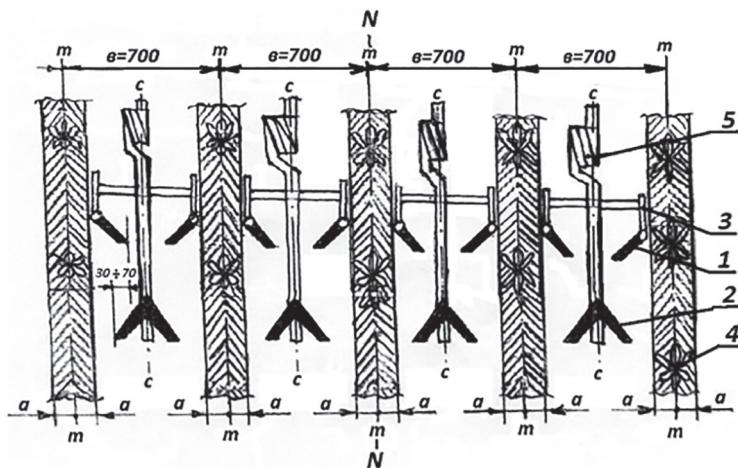


Рис. 3. Схема расстановки рабочих органов на опытном образце блок-модуля многофункционального агрегата на базе горного культиватора КЧГ-2,4 для обработки пропашных культур на горных участках с внесением жидким удобрений в прикорневую зону:
 a – защитная зона растений; $m-m$ – оси рядов растений; $N-N$ – продольная ось опытного образца агрегата;
 $c-c$ – ось междуурядья; 1 – односторонние полольные лапы; 2 – стрельчатые лапы;
3 – подкормочные ножи; 4 – растения; 5 – стойка Viderstadt

$m-m$ на расстоянии, равном ширине защитной зоны $a = 200$ мм, и также закрепляют их.

Подвеска рабочих органов к пружинистой стойке Viderstadt позволяет стойке обойти скальный выступ или камень и вернуться в исходное рабочее положение.

Согласно расчетам, на опытном образце агрегата установлена цистерна емкостью 240 литров, которая обеспечивает его непрерывную работу в течение одного часа. Опытный образец агрегата, благодаря маневренности, мобильности и небольшому весу, вполне подходит для работы на склоновых землях в фермерских хозяйствах для поверхностного улучшения горных лугов и пастбищ с уклоном до 16°. Данный способ открывает возможность выполнения посевых работ даже в засушливый период, делает травостой гуще, что препятствует водной и ветровой эрозии. Исследования и испытания агрегата

проводены на базе экспериментальной мастерской группы механизации СКНИИГПСХ и на экспериментальном участке в селе Даргавс Пригородного района РСО-Алания на общей площади 300 м² в трехкратной повторности.

Блок-модуль многофункционального агрегата (рис. 4) для внесения жидким удобрений в почву на горные луга и пастбища [10] удовлетворяет «Техническому заданию» и «Агротехническим требованиям» к опытному образцу агрегата и рекомендуется для внедрения в производство горного и предгорного лугопастбищного хозяйства. Агрегат также позволяет создавать регулируемую мозаичность травостоя в шахматном порядке и предотвращать деградационные процессы склоновых травостоя как в лугопастбищном хозяйстве, так и в лесоводстве.

Заключение

Блок-модуль многофункционального агрегата для внесения жидким удобрений в почву на горные луга и пастбища рекомендуется для внедрения в производство горного и предгорного лугопастбищного хозяйства.

Литература

- Джиболов С.М., Гулуева Л.Р., Бестаев С.Г. Пути и методы создания и совершенствования сельскохозяйственных машин и агрегатов для механизации работ в горном земледелии // В сб.: Перспективы и особенности интеграционных процессов Северной и Южной Осетии: материалы V Международной научно-практической конференции, 2015. С. 190–195.

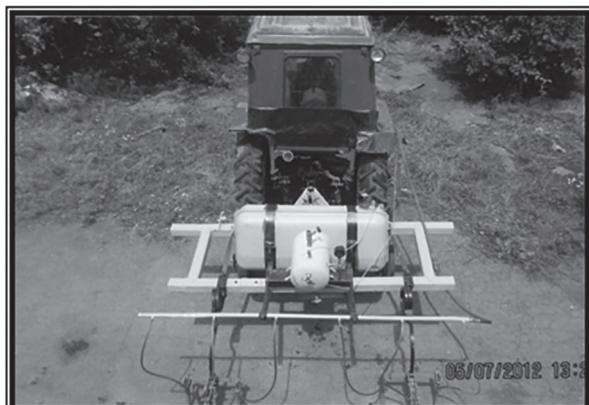


Рис. 4. Опытный образец блок-модуля многофункционального агрегата для внесения жидким удобрений в почву на горные луга и пастбища

2. Гулусева Л.Р., Джиболов С.М., Бидеева И.Х., Бидеев С.И., Абиева Т.С. Малогабаритный агрегат-окучник (КЧГ-О-2,4): патент на изобретение № 2320107, Российская Федерация. Опубликовано 27.03.2008. Бюл. № 9.
 3. Джиболов С.М., Гулусева Л.Р., Бестаев С.Г., Пореева З.Х. Новые средства механизации для плодопитомников горной и предгорной зон Северного Кавказа // Тракторы и сельхозмашини. 2016. № 8. С. 6–9.
 4. Джиболов С.М., Гулусева Л.Р., Бестаев С.Г., Бадтиева З.С. Технология и средства механизации для плодопитомников горной и предгорной зон Северного Кавказа // Известия Горского государственного аграрного университета. 2014. Т. 51. № 2. С. 146–152.
 5. Джиболов С.М., Гулусева Л.Р., Бестаев С.Г. Рыхлитель междуурядий – окучник маточных кустов в плодопитомнике // Известия Горского государственного аграрного университета. 2014. Т. 51. № 4. С. 201–207.
 6. Бидеева И.Х., Бидеев, Гулусева Л.Р., Пореева З.Х. Совершенствование механизации работ в плодовых питомниках горной и предгорной зонах юга России // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия Технические науки. 2008. № 4. С. 146–147.
 7. Джиболов С.М., Гулусева Л.Р., Бестаев С.Г., Солдатова И.Э. Приспособление для внесения жидких удобрений на горные луга и пастбища // Известия Горского государственного аграрного университета. 2013. Т. 50. № 1. С. 168–171.
 8. Бидеева И.Х., Бидеев С.И., Кудзаев А.Б., Джиболов С.М., Гулусева Л.Р., Текхова В.А. Комплекс машин для ухода за посадочным материалом в горном садоводстве // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2006. № 10. С. 10–11.
 9. Джиболов С.М., Гулусева Л.Р., Бестаев С.Г., Бидеева И.Х. Цистерна для внесения жидких минеральных удобрений на горных участках // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2015. № 3. С. 8–10.
 10. Джиболов С.М., Гулусева Л.Р. Многофункциональный агрегат для улучшения горных лугов и пастбищ // Известия Горского государственного аграрного университета. 2016. Т. 53. № 3. С. 103–111.
- References**
1. Dzhibilov S.M. Gulueva L.R., Bestaev S.G. Ways and methods of creating and improving agricultural machines and units for mechanization of mining operations. V sbornike: Perspektivy i osobennosti integratsionnykh protsessov Severnoy i Yuzhnoy Osetii, materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [In the collection: Prospects and features of the integration processes of North and South Ossetia, materials of the V International Scientific and Practical Conference], 2015, pp. 190–195 (in Russ.).
 2. Gulueva L.R., Dzhibilov S.M., Bideeva I.Kh., Bideev S.I. Abieva T.S. Malogabaritnyy agregatokuchnik (KChG-O-2,4) [Small-size aggregate-hiller (KChG-O-2,4)]: patent RF na izobretenie No 2320107. Opublikовано 27.03.2008. Byul. № 9.
 3. Dzhibilov S.M., Gulueva L.R., Bestaev S.G., Poraeva Z.Kh. New means of mechanization for the fruit-nurseries of the mountain and foothill zones of the North Caucasus. Traktory i sel'khozmashiny. 2016. No 8, pp. 6–9 (in Russ.).
 4. Dzhibilov S.M., Gulueva L.R., Bestaev S.G., Badtjeva Z.S. Technology and Means of Mechanization for Fertilizers of the Mountain and Foothill Zones of the North Caucasus. Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2014. Vol. 51. No 2, pp. 146–152 (in Russ.).
 5. Dzhibilov S.M., Gulueva L.R., Bestaev S.G. Cultivator between rows – ridger tubal bushes in the nursery gardens. Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2014. Vol. 51. No 4, pp. 201–207 (in Russ.).
 6. Bideeva I.Kh., Bideev, Gulueva L.R., Poraeva Z.Kh. Improvement of mechanization of work in the fruit nurseries of the mountain and foothill zones of southern Russia. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya Tekhnicheskie nauki. 2008. No 4, pp. 146–147 (in Russ.).
 7. Dzhibilov S.M., Gulueva L.R., Bestaev, Soldatova I.E. A device for applying liquid fertilizers to mountain meadows and pastures. Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. Vol. 50. No 1, pp. 168–171 (in Russ.).
 8. Bideeva I.Kh., Bideev S.I., Kudzaev A.B., Dzhibilov, S.M., Gulueva, L.R. Tekhova V.A. Complex of machines for care of planting material in mountain gardening. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. 2006. No 10, pp. 10–11 (in Russ.).
 9. Dzhibilov S.M., Gulueva L.R., Bestaev S.G., Bideeva I.Kh. Tank for application of liquid mineral fertilizers in mountain areas. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. 2015. No 3, pp. 8–10 (in Russ.).
 10. Dzhibilov S.M., Gulueva L.R. Multifunctional aggregate for improving mountain meadows and pastures. Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. Vol. 53. No 3, pp. 103–111 (in Russ.).

НОВАЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ КОНСТРУКЦИЯ ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА ДЛЯ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР

NEW RESOURCE-SAVING DESIGN OF THE SOWING DEVICE FOR FODDER CROPS

Я.П. ЛОБАЧЕВСКИЙ¹, член-корр. РАН
Б.Х. АХАЛАЯ¹, к.т.н.
Ю.Х. ШОГЕНОВ², д.т.н.

¹ ФГБНУ «ФНАЦ ВИМ», Москва, Россия, vim@vim.ru

² Российская академия наук (РАН), Москва, Россия,
yh1961s@yandex.ru

Я.П. LOBACHEVSKIY¹, Corresponding member RAS
Б.Х. AKHALAYA¹, PhD in Engineering
YU.KH. SHOGENOV², DSc in Engineering

¹ Federal scientific agro-engineering center VIM,
Moscow, Russia, vim@vim.ru

² Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
yh1961s@yandex.ru

Создание прочной кормовой базы основано на рациональном использовании пахотных земель лугов и пастбищ. В системе мероприятий по укреплению кормопроизводства значительная роль отводится подбору надежных, высокоурожайных кормовых культур, способных стать источником недорогих и полноценных кормов, а также разработке и внедрению в производство высокоеффективной сельскохозяйственной техники, обеспечивающей реализацию новых технологий посева, выращивания, уборки культуры, процесса заготовки качественных кормов, сбалансированных по всем элементам питательных веществ. Разработан высевающий аппарат, позволяющий без дополнительных материальных и временных затрат переходить с пунктирного посева на совмещенный способ, не используя дополнительные высевающие диски. Конструктивные особенности устройства предотвращают посевной материал от дробления и крошения. Разработанный способ и конструкция пневматического высевающего аппарата для совмещенного посева двух культур в один ряд с одинаковыми интервалами между семенами и размещением их на разную глубину заделки позволяют получить экономию посевных площадей, улучшить экологическую обстановку окружающей среды за счет сокращения числа проходов агрегата, а также получить сбалансированный корм для животноводства по белку и протеину и упростить конструкцию аппарата, сделав его удобным в эксплуатации и материально выгодным. Используя такой высевающий аппарат, возможно без дополнительных затрат (в том числе и временных) относительно легко переходить от совмещенного посева на пунктирный и наоборот, что дает существенную экономию по материальным и времененным показателям. Сеялка, оборудованная пневматическими высевающими аппаратами новой конструкции, позволяет получить кормовую массу с содержанием переваренного протеина до 105–110 г, что увеличивает убой молока на корову до 3000 кг в год.

Ключевые слова: корма, бункер, семена, диск, аппарат.

The creation of a solid fodder base is based on the rational use of arable lands for meadows and pastures. In the system of measures to strengthen feed production, a selection of reliable, high-yielding fodder crops that can become a source of inexpensive and high-grade fodder, as well as the development and introduction into production of highly efficient agricultural machinery that provides the implementation of new technologies for sowing, growing, harvesting the process of harvesting quality forage, balanced on all elements of nutrients. A sowing device has been developed that allows without additional material and time costs to pass from the dotted sowing to the combined method without using additional sowing discs. The structural features of the device prevent seed from crushing and crumbling. The developed method and design of the pneumatic sowing device for the combined sowing of two crops in the same row with the same intervals between the seeds and their placement at different depths of the embankment allows to obtain savings in sowing areas, improve the environmental situation of the environment, by reducing the number of passes of the unit and obtaining a balanced feed for animal protein to simplify the design, making it easy to use and financially profitable. With such a sowing device it is possible to transfer relatively easily from the combined sowing to the dotted and, conversely, without additional costs (including temporary ones), which gives significant savings in terms of material and time indices. The seeder, equipped with pneumatic sowing devices of a new design, makes it possible to obtain fodder with the content of digested protein to 105–110 g, which increases milk yield per cow to 3000 kg per year.

Keywords: feed, bunker, seeds, disc, apparatus.

Введение

Важнейшими и основными источниками растительного сырья являются традиционные виды трав. Однако для дальнейшего развития производства кормовых культур необходимо использовать научные подходы и новые принципы при разработке сельскохозяйственной техники [1, 2], а также принять меры по улучшению структуры зернофуражных культур. Производство зернофуража при этом желательно обеспечить за счет расширения посевов ячменя, овса, суданской травы. Из бобовых культур в смешанные посевы важно включить горох, вику и сою, которые являются традиционными урожайными культурами и менее требовательными к условиям возделывания. Смешанные посевы дают наибольший урожай лучшего качества, если компоненты смесей подобраны по видовому и сортовому составу с учетом критериев их совместимости.

Цель исследования

Целью исследования явилось создание посевной техники, оборудованной пневматическими высевающими аппаратами нового образца, которые способны высевать пунктирным и совмещенным способами семена культур, отличающихся аэродинамическими, агротехническими и физико-механическими характеристиками [3–5].

Материалы, методы исследования и обсуждение результатов

Как известно, выращивание нескольких культур на одном поле происходит двумя способами – совместным и совмещенным. Совместные посевы – это посевы двух или более видов растений на одном поле с чередующимися рядками, или полосами, культур. Перед высевом семена культур не смешивают, а высевают раздельно. Например, при совместном посеве кукурузы с соей одной сеялкой высевают кукурузу, а другой – сою. При совмещенном выращивании двух культур посев производят одной сеялкой и преимущественно в один рядок, что не всегда происходит из-за отсутствия специальной техники [6].

Преимущество совмещенных посевов перед чистыми посевами заключается в повышении качества корма, а также в том, что первые дают возможность дифференцировать приемы удобрения и ухода за посевами.

Для посева различных сельскохозяйственных культур известно множество сеялок, часть из которых оборудованы пневматическими высевающими аппаратами. Они включают бункер для семян, высевающий диск и сопло для подвода воздуха к ячейкам. Высевающий диск снабжен кольцом, сопряженным с его внутренней поверхностью. Это кольцо установлено с возможностью продольного перемещения относительно оси вращения диска и выполнено в виде цилиндра, по длине образующей которого расположено несколько рядов сквозных ячеек.

Также известны пневматические высевающие аппараты, включающие семенной бункер, разделенный надвое, вертикально установленный высевающий диск со сквозными коническими ячейками, воздушный патрубок, выталкиватель семян и боковые стенки. Высевающий диск разделен на две части вдоль оси конических ячеек, части диска соединены внешними сторонами между собой. Данные устройства имеют также ряд недостатков. В первом случае высевающий аппарат используется только для гнездового посева и не позволяет высевать одновременно две различные культуры совмещенным способом; во втором – во время высева семян совмещенным способом происходит их повреждение (что неприемлемо), а для перехода от пунктирного посева на совмещенный способ возникает необходимость использовать дополнительные высевающие диски.

Для решения поставленной цели необходимо совершенствовать существующие пропашные сеялки путем конструкционных изменений в дозирующей системе пневматических высевающих аппаратов и создания нового, разборного высевающего диска, позволяющего высевать двумя способами. При этом дополнительно достигается повышение эксплуатационной надежности пневматического высевающего аппарата.

Поставленная цель достигается тем, что универсальный высевающий аппарат (рис. 1) включающий семенной бункер 1, разделенный перегородкой 2, на оси 3 установленный высевающий диск 4 разделенный на две части вдоль оси конических ячеек 5, воздушное сопло 6, части диска 4 соединены внешними сторонами между собой, сбоку открытые ячейки 5, снабжены жестко закрепленными на нем с возможностью демонтажа крышками 7, а высевающие диски – выталкивателями 8 семян из полимерного материала.

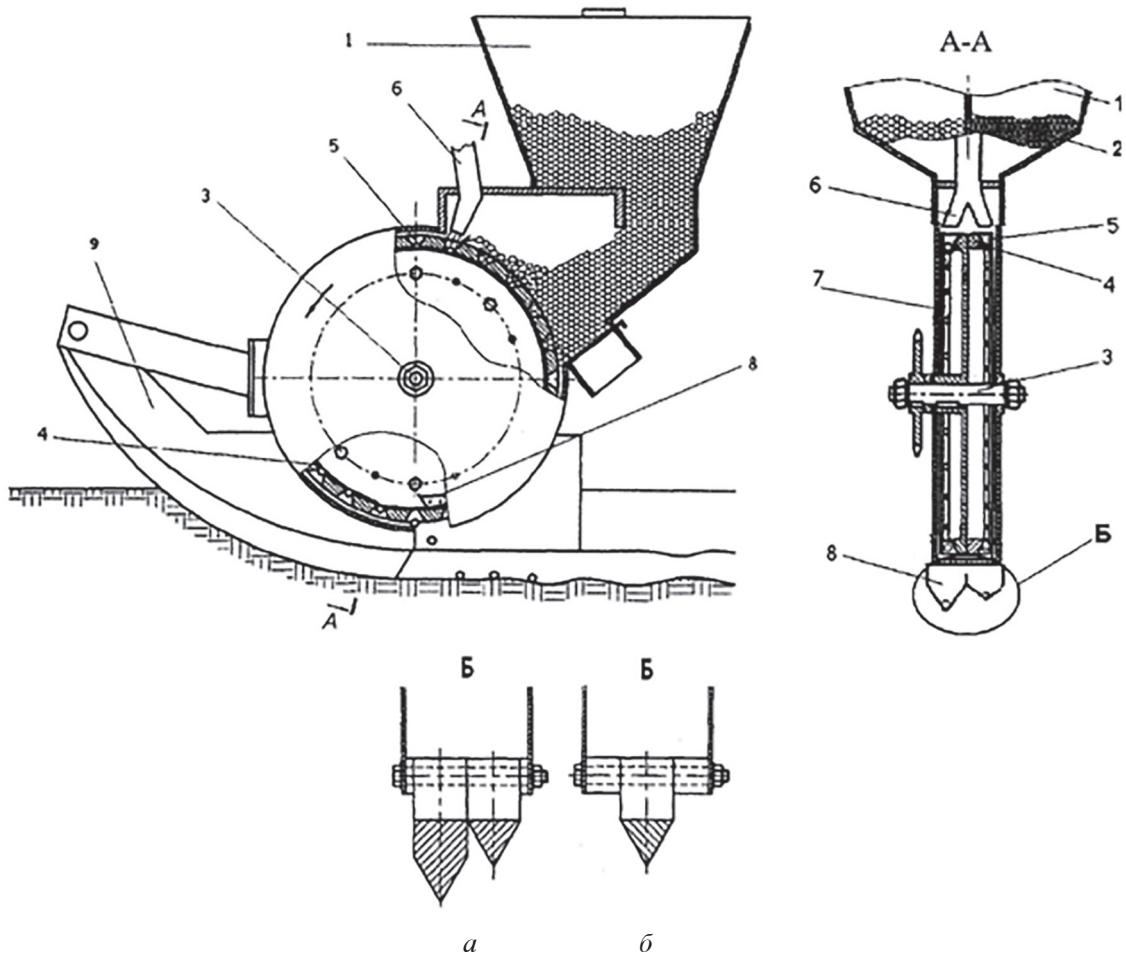


Рис. 1. Высевающий аппарат для совмещенного (а) и пунктирного (б) посевов с соответствующими сошниками

Одна часть диска 4 установлена жестко на шпонке, а вторая, в виде обода, крепится к ее верхней половине с возможностью смещения вокруг горизонтальной оси 2. К высевающему аппарату крепится сошник 9.

Во время работы высевающего аппарата семена двух культур из двух частей семенного бункера, разделенного перегородкой, под действием силы тяжести (самотеком) попадают в сквозные конические ячейки высевающего диска, разделенного на две части вдоль оси конических ячеек. Вращающийся высевающий диск подводит конические ячейки, заполненные семенами, к воздушному соплу, которое на выходе разделено на два патрубка, чьи воздушные потоки направлены на семена, попадающие в конические ячейки соответствующих частей высевающего диска (рис 2). Воздушный поток прижимает одно семя ко дну сквозной конической ячейки, а остальные выдувает [7–9].

Высевающий диск, вращаясь на оси, с одним семенем в ячейке, подводит семя к сошнику, откуда с помощью выталкивателя семян оно

падает на дно борозды, открытое сошником. При этом, аппарат снабжен разборным сошником, две части которого крепятся между собой жестко.

Для перехода на пунктирный посев достаточно, сняв крышки, соединить две разделенные части, превращая их в одно целое высевающего диска, а два сошника при этом перевести на один, отсоединив ось, закрепленную болтами, и оставив тот сошник, который соответствует семенам высеваемой культуры.

Разработанный высевающий аппарат позволяет переходить с пунктирного посева на совмещенный способ и наоборот просто, без использования дополнительных дисков.

Открытые части ячейки высевающего диска сбоку жестко крепятся крышкой с возможностью демонтажа, чтобы семена, находящиеся в ячейках во время вращения высевающего диска, не притирались к крышке высевающего аппарата. Это предотвращает их дробление и крошение, что невозможно было достичь в типовой конструкции высевающего аппарата.

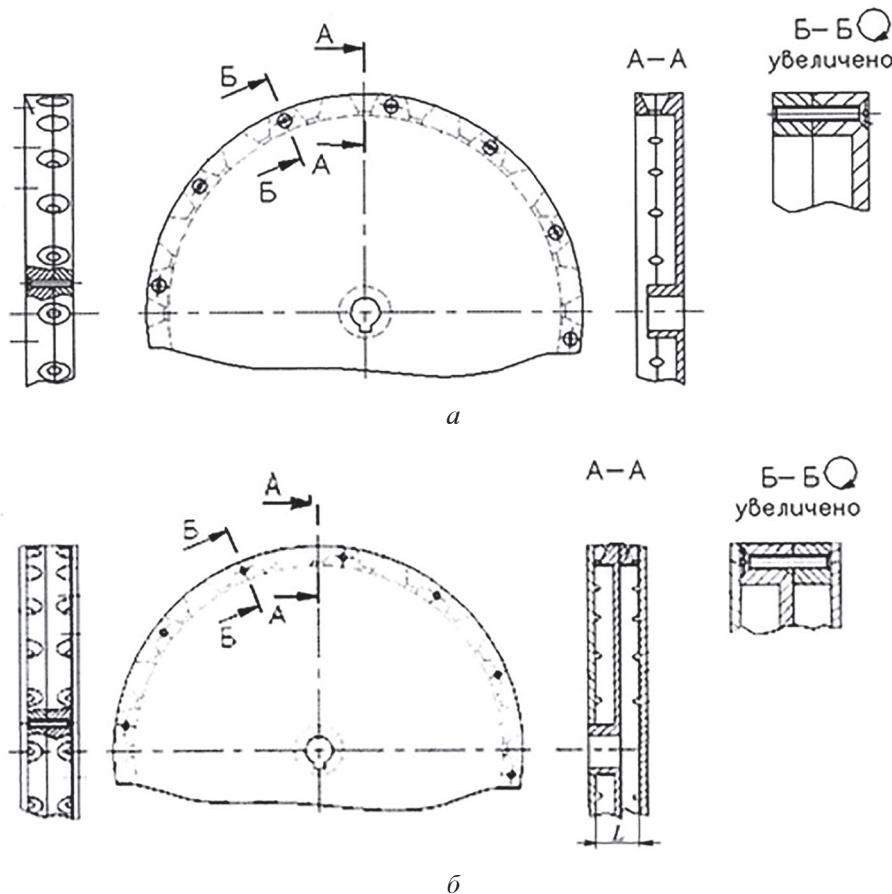


Рис. 2. Высевающие диски для пунктирного (а) и совмещенного (б) посевов

Эффективность работы аппарата оценивали по результатам лабораторной проверки, во время которой особое внимание было уделено оценке продольной равномерности распределения семян в рядке двух культур. В качестве посевного материала использовали кукурузу и сою. Проверку проводили на скоростных режимах, соответствующих поступательной скорости сеялки в пределах 10 км/ч.

Семена двух культур, согласно новому способу посева (получен патент на изобретение), высеваются со смешением, равным $L = a + 2b$, мм, где a – расстояние между высевающими дисками, равное ширине камеры разряжения, b – толщина высевающего диска; семена чередуются по схеме: 1:1; 1:2; 1:3; 1:4. Однако смешение семян L зависит от конструкции высевающего аппарата. Если аппарат снабжен камерой разряжения шириной 30 мм и толщиной высевающих дисков 2 мм, то величина L составит 34 мм. Поскольку разрабатываемая конструкция пневматического высевающего аппарата работает на избыточном давлении воздушного потока, в нем отсутствует камера разряжения, поэтому смешение семян в ряду

L равно расстоянию между осями конических ячеек высевающего диска.

Чередование семян в ряду по заранее установленной схеме проводили следующим образом. Высевали семена по схеме 1:1. Это значит, что при расстоянии между семенами одной культуры 70 см, расстояние между семенами второй культуры составляет также 70 см, однако расстояние между двумя культурами в ряду – 35 см. При посеве по схеме 1:3 между двумя семенами одной культуры размещаются семена другой культуры в количестве трех штук, с расстоянием между собой в 17 см (рис. 3).

Исследование показало, что распределение семян двух культур в один рядок со смешением отвечает агротехническим требованиям и не превышает пределов допустимого отклонения.

Для создания наилучших условий прорастания и развития растений следует их обеспечить достаточным количеством влаги, питательных веществ и пространством для роста. При посеве зерновых культур наилучший результат показывает (по качественным и количественным показателям) равномерно созревающий, равномерно густой и сплошной растительный покров,

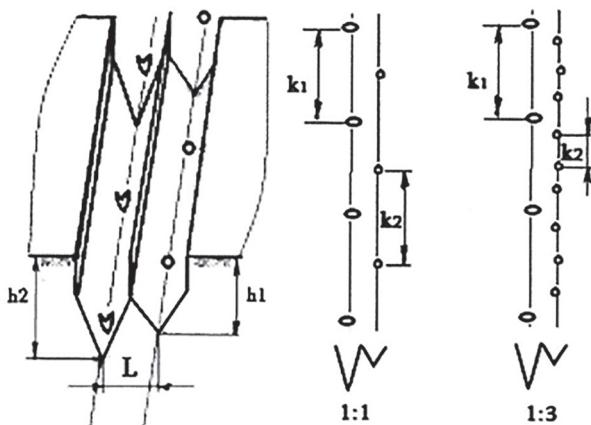


Рис. 3. Высев семян совмещенным способом по различной схеме на глубины h_1 и h_2 с интервалом между семенами в ряду k_1 и k_2

который реализуется совмещенным способом только в том случае, если все семена распределяются с одинаковым интервалом с разной по глубине заделкой семян двух культур.

Выводы

1. Разработанные способ и конструкция пневматического высевающего аппарата для совмещенного посева двух культур в один ряд с одинаковыми интервалами между семенами и размещением их на разную глубину заделки, позволяют получить экономию посевных площадей, улучшить экологическую обстановку окружающей среды за счет сокращения числа проходов агрегата, а также и получить сбалансированный корм для животноводства по белку и протеину и упростить конструкцию аппарата, сделав его удобным в эксплуатации и материально выгодным. Используя такой высевающий аппарат, возможно без дополнительных затрат (в том числе и временных) относительно легко переходить от совмещенного посева на пунктирный и наоборот, что дает существенную экономию по материальным и времененным показателям.

2. Сеялка, оборудованная пневматическими высевающими аппаратами новой конструкции, позволяет получить кормовую массу с содержанием переваренного протеина до 105–110 г, что увеличивает удой молока на корову до 3000 кг в год.

Литература

- Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Разработка интенсивных машинных технологий и новой энергонасыщенной техники для производства основных видов сельскохозяйственной продукции //

Техника и оборудование для села. 2016. № 5. С. 2–5.

- Гарист А.В., Алферов А.А., Завалин А.А., Яковлев Н.Н., Прологова Т.В., Бугрим Л.Н., Шогенов Ю.Х., Серебрякова Т.Г., Забродина И.Ю., Никулина Л.В., Кошиш Т.Ю., Спиридонова М.А., Моргунова О.В. Отчет Отделения сельскохозяйственных наук РАН о выполнении фундаментальных и поисковых научных исследований в 2016 году. М.: ОСХН РАН. 2017. 472 с.
- Лобачевский Я.П., Ахалая Б.Х., Сизов О.А., Ловкис В.Б. Экономически эффективный экологически обоснованный способ уплотненных посевов сельхозкультур // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 6. С. 4–8.
- Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х. Механизация и автоматизация рабочих процессов обработки почвы и посева // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. № 2. С. 59–62.
- Ахалая Б.Х. Совершенствование технологии заготовки качественных кормов// Научно-технический прогресс в животноводстве: сб. научн. труд. 12-ой Междунар. науч.-практ. конф. Подольск, 2009. С. 118–122.
- Мерзляков А.А., Сизов О.А., Пугачев П.М. Оценки рационального количества термоподвесок при силосном хранении зернопродуктов // Экология и сельхоз техника: сб. научн. труд VI Междунар. науч.-практ. конф. Т. II. Санкт-Петербург, 2009. С. 260–265.
- Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Ахалая Б.Х., Сизов О.А. Пневматический высевающий аппарат для совмещенного и пунктирного посевов: патент на изобретение № 2606084, Российская Федерация. Опубликовано 2017. Бюл. № 2.
- Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х., Уянаев Ю.Х., Солдаткин А. К., Грызунов С.В. Устройство для высева семян: патент на полезную модель № 167694, Российская Федерация. Опубликовано 2017. Бюл. № 1.
- Ахалая Б.Х., Личман Г.И., Марченко А.Н. Способ совмещенного посева: патент на изобретение № 2582367, Российская Федерация. Опубликовано 2016. Бюл. № 12.

References

- Izmaylov A.Yu., Shogenov Yu.Kh. Development of intensive machine technologies and new energy-saturated machinery for the production of basic agricultural products. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2016. No 5, pp. 2–5 (in Russ.).
- Garist A.V., Alferov A.A., Zavalin A.A., Yakovleva N.N., Prologova T.V., Bugrim L.N., Shogenov

- Yu.Kh., Serebryakova T.G., Zabrodina I.Yu., Nikulina L.V., Kochish T.Yu., Spiridonova M.A., Morgunova O.V. Otchet Otdeleniya sel'skokhozyaystvennykh nauk RAN o vypolnenii fundamental'nykh i poiskovykh nauchnykh issledovaniy v 2016 godu [Report of the Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences on the implementation of fundamental and exploratory scientific research in 2016]. Moscow: OSKhN RAN. 2017. 472 p.
3. Lobachevskiy Ya.P., Akhalaya B.Kh., Sizov O.A., Lovkis V.B. Economically efficient environmentally sound method of compacted crops. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2015. No 6, pp. 4–8 (in Russ.).
 4. Akhalaya B.Kh., Shogenov Yu.Kh. Mechanization and automation of working processes of tillage and sowing. Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka. 2017. No 2, pp. 59–62 (in Russ.).
 5. Akhalaya B.Kh. Improvement of harvesting technology for high-quality feeds. Nauchno-tehnicheskiy progress v zhivotnovodstve: Sb. nauchn. trud. 12-oy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf [Scientific and technological progress in animal husbandry: Collection of scientific works of 12th international scientific and practical conference]. Podol'sk, 2009, pp. 118–122 (in Russ.).
 6. Merzlyakov A.A., Sizov O.A., Pugachev P.M. Estimates of the rational number of thermo-suspensions in the silage storage of grain products. Ekologiya i sel'skokhoztekhnika: Sb. nauchn. trud VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf [Ecology and agricultural machinery: Collection of scientific works of VI international scientific and practical conference]. Vol. II. Sankt-Peterburg, 2009, pp. 260–265 (in Russ.).
 7. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Akhalaya B.Kh., Sizov O.A. Pnevmaticheskiy vysevayushchiy apparat dlya sovmeshchennogo i punktirnogo posevov [Pneumatic seeding machine for combined and dotted crops]: patent RF na izobretenie No 2606084. Opublikовано 2017. Byul. No 2.
 8. Akhalaya B.Kh., Shogenov Yu.Kh., Uyanayev Yu.Kh., Soldatkin A. K., Gryzunov S.V. Ustroystvo dlya vyseva semyan [Device for sowing seeds]: patent RF na poleznuyu model' No 167694. Opublikовано 2017. Byul. No 1.
 9. Akhalaya B.Kh., Lichman G.I., Marchenko A.N. Sposob sovmeshchennogo poseva [Combined sowing method]: patent RF na izobretenie No 2582367. Opublikовано 2016. Byul. No 12.

АВТОМАТИЗАЦИЯ СТЕНДА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОКАЛЬНОГО ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ ДЛЯ ВОДИТЕЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

AUTOMATION OF THE TEST BENCH FOR EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE LOCAL AIR COOLER OF THE VEHICLE DRIVER

В.А. МИХАЙЛОВ, д.т.н.
Е.В. КЛИМОВА

Московский политехнический университет, Москва,
Россия, avt@mami.ru

V.A. MIKHAYLOV, DSc in Engineering
E.V. KLIMOVA

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia, avt@mami.ru

Рассмотрен вопрос автоматизации стенда для исследования и выбора на основе опытных данных рациональной подачи L воздуха локальным водоиспарительным охладителем для водителя транспортного средства (трактора, автомобиля, строительно-дорожной машины). В конструкции автоматизированного стенда, выполненного в виде открытой аэродинамической трубы, наряду со вспомогательным электровентилятором, электронагревателем обрабатываемого воздуха, локальным воздухоохладителем и имитатором тепловыделений человека Q_h имеются элементы для измерения и регулирования величин L , Q_h , температуры t обрабатываемого воздуха и t_h – имитатора поверхности тела. К реализации принятая система управления с активными вычислительными устройствами, где ведущую роль играет термостат STH0024UY-v3 с выносным датчиком температуры DS18B20, содержащий микропроцессор и управляющее электрическое реле. На такие модули для t и t_h возлагается основная функция автоматизированного управления стенда, а персональный компьютер обеспечивает выполнение программы автоматизированного управления в режиме «импульс – пауза – импульс», а также выполняет вспомогательную задачу по сбору и хранению информации о данных результатов исследования. В результате автоматизации стенда сокращается время и снижается трудоемкость исследования. При контрольной экспериментальной проверке функциональных качеств стенда установлено, что в ручном режиме управления стабилизация показаний t_h , t и L на заданном уровне связана с большой эмоциональной и физической нагрузкой оператора, поскольку он должен почти непрерывно следить за ними и в какой-то мере интуитивно воздействовать на изменяющиеся механизмы. При этом нерационально тратится значительное время на достижение необходимого результата. Автоматизированное управление может практически полностью освободить оператора от излишних манипуляций, и он лишь через определенные промежутки времени (не чаще 120 секунд) контролирует показания приборов, не вмешиваясь в работу стенда. Это снижает его эмоциональную и физическую нагрузку, причем вследствие исключения излишних манипуляций органами управления время эксперимента сократится.

Ключевые слова: нормализация теплового состояния водителя, локальный воздухоохладитель, автоматизированное управление, возмущающие воздействия, подача воздуха, тепловыделения водителя, температура воздуха, температура открытой поверхности тела, активные вычислительные устройства, исполнительные механизмы.

The question of automation of the test bench for research and selection on the basis of experimental data of rational supply of L air by a local water evaporator cooler of a vehicle driver (tractor, car, road-building machine) is considered. In the design of an automated test bench made in the form of an open wind tunnel, along with an auxiliary electric fan, an electric heater of the treated air, a local air cooler and a human heat simulator Q_h , there are elements for measuring and controlling the quantities L , Q_h , the temperature t of the treated air and t_h – the body surface simulator. The implementation of the control system with active computing devices, where the leading role is played by the STH0024UY-v3 thermostat with a remote temperature sensor DS18B20, containing a microprocessor and a control electrical relay. Such modules for t and t_h are assigned the main function of automated control of the stand, and the personal computer provides execution of the program of automated control in the «pulse – pause – pulse» mode, and also performs the auxiliary task of collecting and storing information about the data of the research results. As a result of the automation of the test bench, the time is shortened and the laboriousness of the study is eliminated. At control experimental check of functional qualities of the stand it is established that in the manual control mode the stabilization of indications t_h , t and L at a given level is associated with a great emotional and physical load of the operator, as he must almost continuously monitor them and to some extent intuitively influence changing their mechanisms. At the same time, a considerable time is wasted to achieve the necessary result. Automated control can almost completely free the operator from unnecessary manipulation, and only at certain intervals (not more than 120 seconds) he controls the readings of the instruments without interfering with the work of the stand. This removes his emotional and physical load, and due to the exclusion of unnecessary manipulation of controls, the experiment time will be shortened.

Keywords: normalization of the driver's thermal state, local air cooler, automated control, disturbing influences, driver's heat, emission air, air temperature, open body surface temperature, active computing devices, executive mechanisms.

Как указывается в публикации [1], для нормализации теплового состояния водителей транспортных средств (тракторов, строительно-дорожных машин, грузовых автомобилей, автобусов и др.) создан локальный водоиспарительный охладитель с орошающей насадкой, рассчитанный на подачу воздуха $125 \text{ м}^3/\text{ч}$ (нормальный режим) и $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ (пониженный режим) с глубиной его охлаждения, характеризующейся температурным коэффициентом эффективности $E_a = 0,66$. Однако в результате экспериментальной оценки функциональных качеств опытной модели такого воздухоохладителя в лабораторных и натурных условиях было установлено [2], что его указанная производительность L не в полной мере отвечает перспективному направлению [3] в части удовлетворения возможно большего числа людей с помощью такого индивидуального аппарата.

В работе [4] проведен анализ выявления причины этого функционального недостатка воздухоохладителя и выявлено, что для выполнения рекомендаций [5] в части эффективного использования единого аппарата на практике его подача L воздуха должна иметь бесступенчатую (плавную) регулировку от 68 до $120 \text{ м}^3/\text{ч}$, исходя из субъективной реакции операторов – мужчин и женщин с расчетной массой тела $m_q = 60\ldots90 \text{ кг}$, от которой зависит его тепловыделение Q_q (табл. 1).

Помимо учета этой особенности функционирования аппарата при выборе его производительности необходимо иметь в виду, что он должен эксплуатироваться в климатических зонах страны при различной наружной температуре воздуха, которая в реальных условиях в течение дневной рабочей смены существенно колеблется. Это обстоятельство будет влиять на функционирование комплекса «оператор – воздухоохладитель», что обусловливает необходимость проведения специального экспериментального исследования для выявления

функциональной связи между t и L при наличии здесь управляющего параметра Q_q . Отметим, что во всех случаях функционирования локального аппарата должно быть выдержано условие: значение температуры открытой поверхности тела человека сохраняется постоянным $t_q = 35 \text{ }^\circ\text{C}$, что свидетельствует о нормализации его теплового состояния [2]. В связи с изложенным для проведения соответствующего экспериментального исследования необходимо создать специальный лабораторный стенд, отражающий специфику функционирования комплекса «оператор – воздухоохладитель».

Известные лабораторные установки [6–8] для исследования водоиспарительных аппаратов решают относительно простую задачу – при заданных базовых значениях подачи L воздуха и изменении его начальной температуры t в определенных пределах оценивается эффективность E_a охлаждения этого воздуха. Сама же лабораторная установка выполняется в виде разомкнутой аэродинамической трубы, снабженной такими основными элементами, как электронагреватель воздуха, подаваемого на обработку в исследуемый аппарат, вентилятор переменной производительности и приборы для оценки расхода воздуха и его температуры по сухому и мокрому термометрам. Как показала практика, при ручном управлении стендом процесс исследования особых трудностей не вызывал. В нашем же случае ситуация существенно усложняется по следующим причинам.

Во-первых, указанный комплекс решает более углубленную задачу: для обеспечения постоянной температуры $t_q = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ имитатора тепловыделений Q_q организма человека при их различных базовых значениях и переменной температуре t обрабатываемого воздуха требуется определить соответствующую необходимую величину его подачи L .

Таблица 1

Тепловыделения операторов в зависимости от их массы и пола
и расчетная минимально необходимая подача воздуха охладителем

Масса оператора, m_q , кг		60	70	80	90
Тепловыделения, Q_q , Вт	мужчины	168	196	224	252
	женщины	143	167	190	214
Подача воздуха, L , $\text{м}^3/\text{ч}$	мужчины	80	93	106	120
	женщины	68	79	90	102

Во-вторых, автоматизированный комплекс более сложен в конструктивном отношении, поскольку должен быть оборудован вычислительным устройством, например персональным компьютером (ПК), и содержать следующие элементы:

- локальный воздухоохладитель (ЛВ) – объект исследования;
- устройство для измерения расхода воздуха (УРВ);
- электровентилятор (ЭВ);
- блок питания электровентилятора с ручным управлением (ПЭР);
- автоматический привод регулятора подачи воздуха (ПРВ);
- электронагреватель обрабатываемого воздуха (ЭОВ);
- блок питания с автоматическим регулятором электронагревателя (АРЭ);
- имитатор тепловыделений организма человека (ИТЧ);
- блок питания имитатора с ручным управлением (БПИ);
- индикатор температуры;
- усилитель сигнала.

Для решения поставленной задачи прежде всего необходимо выбрать вид управления стендом, который зависит от роли исследователя в этом процессе, форм связи и функционирования системы, распределения информационно-управляющих параметров между исследователем и вычислительным устройством, а также средствами контроля и управления [9]. Соответствующий анализ показал, что в нашем случае следует применить систему, которая наряду со сбором информации обеспечивает выдачу необходимых команд исполнительному механизму в процессе протекания опытов. Здесь важная роль отводится вычислительному устройству, а исследователь контролирует и решает наиболее сложные в техническом отношении вопросы, которые по объективным причинам не следует возлагать на вычислительное устройство.

В принятой нами управляющей системе с активным включением ПК исследователь осуществляет контроль и вмешивается в работу стенда только в тех случаях, когда из-за каких-либо обстоятельств нарушается алгоритм управления, и такая система согласно работе [9] носит название «супервизорная» – обладающая широкими возможностями и повышенной надежностью, поскольку ее работоспособность сохраняется при отключении компьютера.

Как указывается в работе [10], в общем виде автоматизированное управление объектом включает в себя комплекс операций, необходимых для формирования соответствующих целенаправленных воздействий на управляемый объект: получение информации (контроль), выработка и принятие решений (анализ), реализация управляющих воздействий (исполнение). Если операции получения информации и реализации управляющих воздействий здесь осуществляются автоматически, то для операций выработки и принятия решений необходимо найти рациональный алгоритм их выполнения.

В нашем случае целью управления является определение L при $t_q = \text{const}$ и переменных Q_q и t . Как следует из данных табл. 1, массив Q_q имеет восемь значений (149; 167; 168; 190; 196; 214; 224 и 252 Вт). В соответствии с рекомендациями Г.В. Веденяпина [11] количество базовых значений Q_q в эксперименте может быть сокращено до пяти (должно быть не менее четырех), и по правилу округления чисел получим базовые $Q_q = 150; 175; 200; 225; 250$ Вт. Что же касается t , то в соответствии с практикой исследований [6, 7] принимаются базовые значения $t = 25; 30; 35; 40$ °C. Таким образом, система управления должна обеспечить функционирование стенда в двадцати вариантах сочетания возмущающих воздействий Q_q и t . Тогда на логическом уровне [10], который, по существу, отражает функционирование системы в ручном режиме управления, должно быть обеспечено следующее.

Каждый опыт в эксперименте характеризуется двумя возмущающими воздействиями. В первую очередь, это задаваемая оператором вручную базовая величина Q_q , а во-вторых (при сохранении Q_q) – дополнительное воздействие на систему – последовательное (поочередное) через определенные промежутки времени – температуры воздуха t с четырьмя указанными выше значениями, также задаваемыми оператором вручную в начальный момент, которое далее поддерживается на постоянном уровне с помощью соответствующего автоматического устройства. Следовательно, система автоматизированного управления должна обеспечивать раздельное функционирование пяти (по числу базовых Q_q) идентичных по содержанию вполне самостоятельных режимов, сочетающих комбинацию своей базовой $Q_q = \text{const}$ и переменной базовой t . Таким образом, при постоянном, поддерживаемом ав-

томатом значения температуры t_q имитатора поверхности тела человека и возмущающем воздействии базовых значений тепловой нагрузки $Q_q = 150; 175; 200; 225; 250$ Вт и температуры обрабатываемого воздуха $t = 25; 30; 35; 40$ °C эксперимент должен включать в себя двадцать режимов сочетаний Q_q и t . По результатам пятикратного повторения опыта на каждом режиме [11] получим массив осредненных значений соответствующего выходного параметра L , что отражено в табл. 2.

Исходя из изложенного и на основе рекомендаций работы [9] можно сформировать структурную схему автоматизированной системы управления стеном, представленную на рис. 1.

В систему управления, как ее составляющая, входит подсистема автоматизированного контроля, программу функционирования которой задает вычислительное устройство. Съем информации здесь осуществляется с датчиков, измеряющих параметры объекта управления. В нашем случае – это датчики измерения температуры Δ_1 и Δ_4 . Кроме этого в подсистеме контроля имеются так называемые «терминальные устройства» [9], предназначенные для выдачи информации о состоянии объекта управления в виде, удобном для восприятия исследователем, каковыми являются устройство для измерения расхода воздуха УРВ (контроль при промежуточном наблюдении и получении конечного результата), устройство для измерения задаваемой электрической (тепловой) мощности имитатора тепловыделения человека, датчики температуры воздуха Δ_2 и Δ_3 .

Особые требования здесь предъявляются к выбору датчика температуры. Он должен обладать такими качествами, как необходимая точность, надежность, совместимость с микропроцессорными устройствами информации,

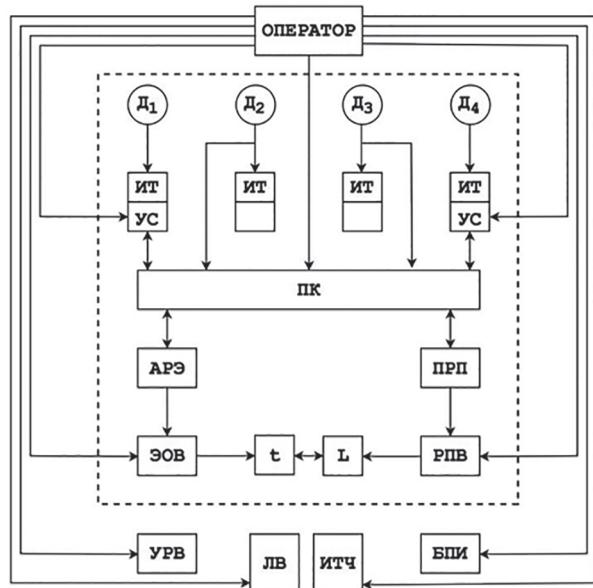


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы управления стеном для исследования локального воздухоохладителя

а также приемлемыми массой, габаритными размерами и стоимостью изделия [10]. В этом плане может быть принят впускаемый в нашей стране цифровой термостат STH0024UY-v3 с встроенными микропроцессором и выносным датчиком температуры, характеристики которого представлены в табл. 3.

Модулем задаются температура и режим тестирования (нагрев или охлаждение), в зависимости от которого замыкаются или размыкаются контакты встроенного в нем реле при понижении или повышении измеряемой температуры с учетом гистерезиса. Настройка модуля и режима тестирования сохраняется в его энергозависимой электронной памяти, что дает возможность осуществить в системе основную часть управления, не прибегая к помощи компьютера. Вместе с тем в модуле

Таблица 2

Режимы и результаты эксперимента

Возмущающее воздействие, t , °C	40	L_{150}^{40}	L_{175}^{40}	L_{200}^{40}	L_{225}^{40}	L_{250}^{40}
	35	L_{150}^{35}	L_{175}^{35}	L_{200}^{35}	L_{225}^{35}	L_{250}^{35}
	30	L_{150}^{30}	L_{175}^{30}	L_{200}^{30}	L_{225}^{30}	L_{250}^{30}
	25	L_{150}^{25}	L_{175}^{25}	L_{200}^{25}	L_{225}^{25}	L_{250}^{25}
	Возмущающее воздействие Q_q , Вт					

Таблица 3

Технические характеристики модуля цифрового термостата с выносным датчиком температуры

Диапазон измеряемых температур	-55 °C...+125 °C
Шаг гистерезиса	0,1 °C
Напряжение питания	7–15 В
Потребляемый ток	0,02–0,13 А
Коммутируемый переменный ток при 240 В	до 10 А
Коммутируемый постоянный ток при 28 А	до 10 А
Погрешность в диапазоне +10°C – +85 °C	±0,5°C
Температура эксплуатации цифрового индикатора	-40 °C...+70 °C
Габаритные размеры	82,5×35×34,5 мм
Термодатчик (выносной)	DS18B20
Длина кабеля с термодатчиком температуры	2 м

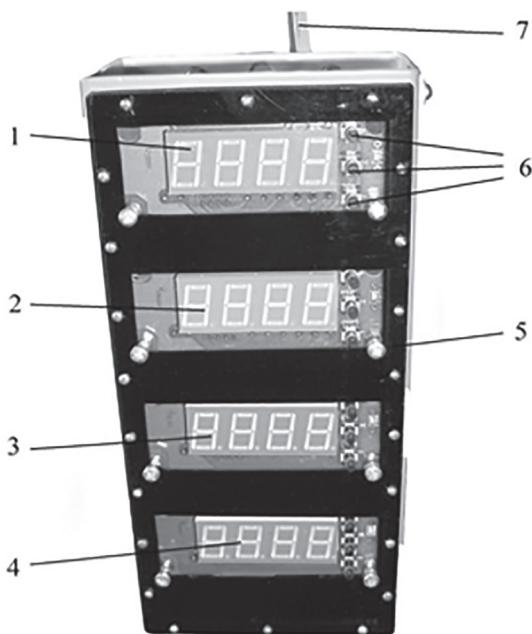


Рис. 2. Монтажный моноблок модулей цифровых термостатов STH0024UY-v3:

- 1 – модуль датчика начальной температуры t обрабатываемого воздуха по сухому термометру;
- 2 – модуль датчика начальной температуры t_m по мокрому термометру;
- 3 – модуль датчика температуры t_q имитатора тепловыделений поверхности тела человека;
- 4 – модуль датчика температуры t_a по сухому термометру охлажденного воздуха;
- 5 – корпус моноблока;
- 6 – кнопки настройки режимов работы модуля;
- 7 – пучок кабелей передачи сигнала от выносных датчиков температуры к модулям

имеются контакты ICP для дополнительной с ним связи.

На рис. 2 показан общий вид изготовленного применительно к нашему стенду моноблока из четырех указанных модулей, в котором размещен необходимый преобразователь с переменного тока напряжением 220 В на постоянное напряжение 12 В.

Для обеспечения функционирования системы в автоматизированном режиме управления она оснащена соответствующими специальными приводными механизмами. Так, исполнительный механизм ЭОВ в виде лабораторного автотрансформатора снабжен АРЭ с приводным редуктором с реверсивным электродвигателем, а исполнительный механизм РПВ в виде поворотной заслонки в воздуховоде оборудован автоматическим регулятором с приводным редуктором с шаговым электродвигателем.

Для имитации тепловыделений человека в установке применен проволочный электронагреватель, размещенный в выходной части воздуховода – диффузора, поперечные размеры которого в месте размещения электронагревателя соответствуют площади « пятна контакта» области голова – грудь тела человека по рекомендации публикации [12]. Рассчитаны значения напряжения V и тока J для обеспечения его электрической (тепловой) мощности W , соответствующей базовым Q_q , что отражено в табл. 4.

Контроль значений V осуществляется по показаниям цифрового индикатора на ручном регуляторе электрической мощности имитатора, а контроль величины тока J – с помощью тестера.

Оценка расхода воздуха L на стенде производится в соответствии с ГОСТ 10921-90 с помощью микроманометра МКВ-250 [13], измеряющего давление во входном, снабженном соплом Вентури воздуховоде вспомогательного вентилятора, по значению которого и рассчитывается L .

Общий вид автоматизированного стенда представлен на рис. 3 (здесь условно не показан персональный компьютер).

Работа стенда происходит следующим образом. Оператор-исследователь приводит в действие воздухоохладитель 21, включив имеющиеся у него тумблеры водяного насоса и нормального режима подачи воздуха. Затем запускается электровентилятор 5 стенда, и с помощью регулятора включенного в сеть 220 В

Таблица 4

Контролируемые параметры электронагревателя имитатора тепловыделений человека

Параметры	Значение				
Мощность W , Вт	150	175	200	225	250
Сопротивление R , Ом	135	135	135	135	135
Ток J , А	1,06	1,14	1,22	1,29	1,36
Напряжение V , В	142	154	164	176	184

блока-выпрямителя питания 10 при наполовину открытом вручную положении поворотной заслонки в воздуховоде 24 устанавливается первоначальный расход воздуха в системе на уровне нормального у воздухоохладителя – $L_{\text{исх}} = 125 \text{ м}^3/\text{ч}$, который контролируется по показаниям микроманометра 9.

Приводятся в действие цифровые терmostаты путем включения в сеть 220 В моноблока 12. Затем запускается в работу имитатор 19

тепловыделений человека, в электронагреватель которого от регулятора 13 подается напряжение и ток, обеспечивающий по табл. 4 максимальную базовую мощность 250 Вт, устанавливаемую ручным управлением.

Включенным в сеть 220 В регулирующим агрегатом 11 вручную достигается максимальная исходная базовая $t = 40^\circ\text{C}$ обрабатываемого воздуха (контролируется по показанию цифрового индикатора модуля 1 на рис. 2).

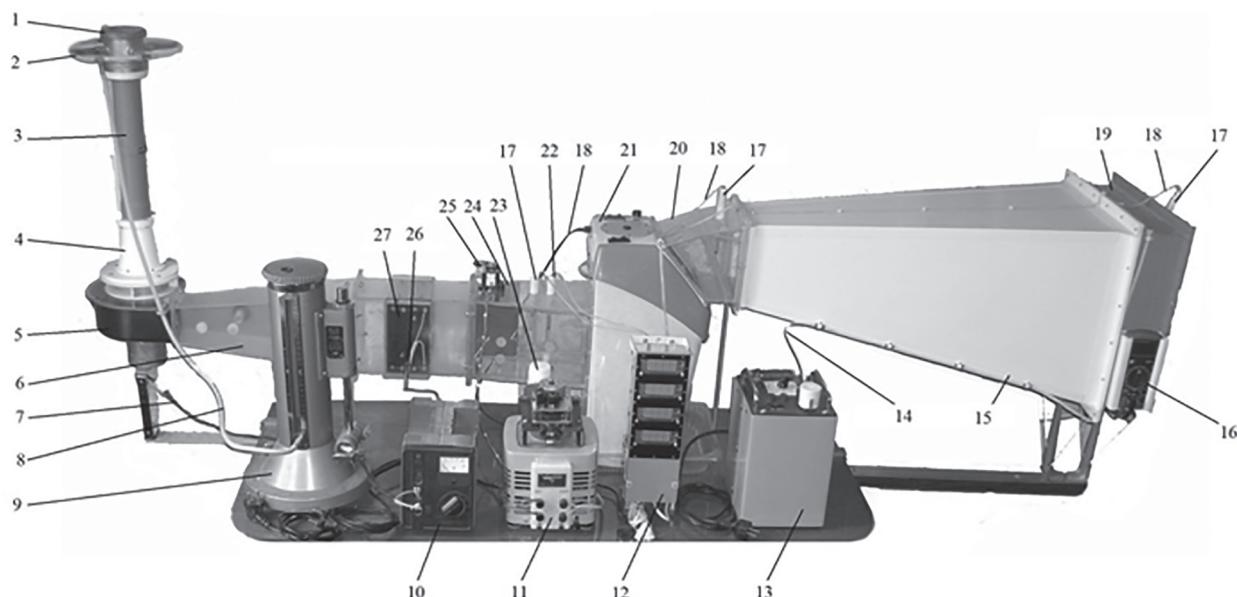


Рис. 3. Общий вид автоматизированного стенда для исследования локального водоиспарительного воздухоохладителя водителей машин:

- 1 – сопло Вентури; 2 – закольцовка штуцера сопла Вентури; 3 – стабилизирующий воздуховод;
- 4 – соединительный воздуховод; 5 – вспомогательный электровентилятор; 6 – направляющий воздуховод;
- 7 – провод питания электровентилятора; 8 – соединительный шланг; 9 – микроманометр МКВ-250;
- 10 – блок-выпрямитель питания электровентилятора; 11 – автоматизированный регулирующий агрегат питания электронагревателя обрабатываемого потока воздуха;
- 12 – моноблок модулей цифровых терmostатов;
- 13 – регулятор электрической мощности имитатора тепловыделений человека с цифровым индикатором напряжения;
- 14 – провод питания имитатора;
- 15 – диффузор;
- 16 – тестер контроля величины регулирования тока имитатора;
- 17 – сухой датчик температуры;
- 18 – кабель датчика температуры;
- 19 – имитатор тепловыделений человека;
- 20 – патрубок охлажденного воздуха;
- 21 – воздухоохладитель;
- 22 – мокрый датчик температуры;
- 23 – баллончик с водой для подпитки мокрого датчика температуры;
- 24 – воздуховод с поворотной заслонкой регулирования подачи воздуха;
- 25 – автоматизированный агрегат привода заслонки;
- 26 – привод питания электронагревателя обрабатываемого потока воздуха;
- 27 – электронагреватель обрабатываемого потока воздуха

Подчеркнем, что при указанной предварительной настройке работы стенда регуляторы в агрегатах 11 и 25 находятся в режиме ручного управления.

По истечении какого-то времени система достигнет установившегося теплового состояния (постоянство величин расхода L , температуры t и t_q). При этом величины L и t должны соответствовать указанным выше принятым значениям $125 \text{ м}^3/\text{ч}$ и 40°C . Однако это не касается t_q . Можно утверждать, что ее величина не будет соответствовать требуемому значению 35°C при погрешности измерения $\pm 0,5^\circ\text{C}$ (см. табл. 3). Следовательно, требуется дополнительное регулирование, чтобы при заданной постоянной $Q_q = 250 \text{ Вт}$ определить величину L , необходимую для обеспечения t_q . Для этого регуляторы в агрегатах 11 и 25 переводятся в режим автоматического управления, поскольку указанная величина $t_q = 35 \pm 0,5^\circ\text{C}$ запрограммирована в терmostате модуля 4 (см. рис. 2), равно как и введена в память соответствующего модуля температура $t_q = 40 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

В результате воздействия сигнала терmostата, поддерживающего t_q , на агрегат 25 привода заслонки величина подачи воздуха L изменится в нужном направлении. Вместе с тем, это приведет к нежелательному отклонению величины t от заданного значения $40 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Однако другой терmostат, поддерживающий t , подаст необходимый сигнал в регулирующий агрегат 11, в результате чего изменится теплоизделительность электронагревателя 27, но это может оказаться негативное влияние на t_q . Тогда произойдет очередное воздействие сигнала терmostата для t_q на агрегат 25 привода заслонки, а за ним – очередное отклонение величин L и t , и так далее при уменьшении размаха колебаний указанных отклонений. Такой колебательный процесс затухания величин будет продолжаться до тех пор, пока не наступит условие стабилизации L при $Q_q = 250 \text{ Вт}$, $t_q = 35 \pm 0,5^\circ\text{C}$ и $t_q = 40 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

Сокращению времени достижения стабилизации процесса с одновременным исключением явления перерегулирования способствует импульсное (порционное) воздействие на поворотную заслонку в воздуховоде 24 и агрегат 11. Оно заключается в выполнении команды «импульс – пауза – импульс», заложенной в программе персонального компьютера и проходящей оттуда не соответствующий привод

исполнительного органа, как это показано на рис. 1. Отметим, что положительную роль здесь играет наличие шагового электродвигателя в приводе заслонки.

После окончания указанного стартового эксперимента и фиксирования исследователем полученных результатов далее при $Q_q = 250 \text{ Вт}$ завершается подобным образом начальная серия опытов при остальных базовых $t = 35; 30; 25^\circ\text{C}$. Затем проводятся последовательно другие серии опытов при остальных $Q_q = 225; 200; 175; 150 \text{ Вт}$ и указанных базовых температурах $t = 40; 35; 30; 25^\circ\text{C}$.

В нашем случае в каждой серии опытов имеет место периодическая связь автоматических регуляторов с управляемыми параметрами. Это относится к регуляторам прерывистого действия, и здесь важным является определение и назначение в программе компьютера продолжительности паузы T , т.е. времени действия установки при достигнутой подаче воздуха L в промежутке между двумя импульсами включения регулируемого органа. Поскольку определить расчетным путем величину T не представляется возможным из-за сложности протекания в системе нестационарного теплового процесса, то следует использовать информацию о том, что если исполнительный орган в системе регулирования воздухохлаждения и вентиляции будет открыт в течение 120 секунд, то можно обеспечить стабилизацию ее работы. Это принято нами к реализации.

При разработке программы персонального компьютера в нашем случае (помимо обычного сбора и хранения информации по результатам эксперимента) на него возлагается относительно простая для соответствующих специалистов задача по обеспечению функции «импульс – пауза – импульс». Основная же нагрузка по обеспечению автоматизированного управления стендом ложится на терmostаты STH0024UY-v3.

По завершении всего комплекса экспериментов проводится обработка полученных по табл. 2 данных, дается оценка их сходимости с расчетными значениями L , а также выделяется (уточняется) функциональная связь между t и L на основе построения и анализа соответствующих графиков зависимости L от t при каждой $Q_q = \text{const}$.

При контрольной экспериментальной проверке функциональных качеств стенда выявлено следующее.

В ручном режиме управления стабилизация показаний t_q , t и L на заданном уровне связана с большой эмоциональной и физической нагрузкой оператора, поскольку он должен почти непрерывно следить за ними и в какой-то мере интуитивно воздействовать на изменяющие их механизмы. При этом нерационально тратится значительное время на достижение необходимого результата.

Автоматизированное управление может практически полностью освободить оператора от излишних манипуляций, и он лишь через определенные промежутки времени (не чаще тех же 120 секунд) контролирует показания приборов, не вмешиваясь в работу стенда. Это снижает его эмоциональную и физическую нагрузку, причем вследствие исключения излишних манипуляций органами управления время эксперимента сократится.

Литература

1. Михайлов В.А., Шарипова Н.Н. Инновационный локальный водоиспарительный воздухоохладитель для кабин тракторов // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 2. С. 3–6.
2. Михайлов В.А., Сотникова Е.В., Карап С.В. Нормализация теплового состояния оператора транспортного средства локальным охлаждением // Безопасность жизнедеятельности. 2008. № 9. С. 2–9.
3. Фангер П.О. Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей // АВОК. 2003. № 4. С. 12–21.
4. Михайлов В.А., Дмитриев М.И., Ивоботенко Б.А. Режимы работы локального водоиспарительного воздухоохладителя кабин самоходных машин с учетом индивидуальности операторов и изменяемости температурных условий // Известия МГТУ «МАМИ». 2016. № 1 (27). С. 42–46.
5. Бурцев С.И., Цветков Ю.Н. Тепловой и газовый комфорт с учетом индивидуальных особенностей человека // Теплоэнергоэффективные технологии. 2002. № 1. С. 37–41.
6. Михайлов В.А. Исследование и разработка средств улучшения микроклимата в кабине универсально-пропашного трактора: дис. ... канд. техн. наук. М., 1976. 173 с.
7. Михайлов В.А. Создание системы модульных типизированных и унифицированных средств нормализации микроклимата и оздоровления воздушной среды в кабинах самоходных машин: дис. доктора техн. наук. М., 1999. 492 с.
8. Трелина К.В. Испарительное увлажнение воздушного заряда двигателей сельскохозяйствен-
ной техники для уменьшения выбросов оксидов азота (на примере двигателя Д-120 (Д-21)): автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2007. 19 с.
9. Меша К.И., Харитонов В.И. Автоматизированное управление в технических системах. М.: МАМИ, 2013. 125 с.
10. Бунько Е.Б., Меша К.И., Мурачев Е.Г., Смирнов В.Е., Харитонов В.И. Управление техническими системами / Под ред. В.И. Харитонова. М.: Форум, 2010. 384 с.
11. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. М.: Колос, 1973. 199 с.
12. Михайлов В.А., Шарипова Н.Н. Оценка функциональных качеств локального воздухоохладителя в кабине трактора // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 10. С. 20–23.
13. ГОСТ 10921-90. Вентиляторы радиальные и осевые. Методы аэродинамических испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1991. 32 с.

References

1. Mikhaylov V.A., Sharipova N.N. Innovative local water evaporator air cooler for tractor cabins. Traktory i sel'khozmashiny. 2014. No 2, pp. 3–6 (in Russ.).
2. Mikhaylov V.A., Sotnikova E.V., Karev S.V. Normalization of the thermal state of the vehicle operator by local cooling. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2008. No 9, pp. 2–9 (in Russ.).
3. Fanger P.O. Quality of indoor air in the 21st century: impact on comfort, productivity and human health. AVOK. 2003. No 4, pp. 12–21 (in Russ.).
4. Mikhaylov V.A., Dmitriev M.I., Ivobotenko B.A. Modes of operation of the local water evaporative air cooler of self-propelled machines cabins, taking into consideration the individuality of the operators and the variability of temperature conditions. Izvestiya MGTU «MAMI». 2016. No 1 (27), pp. 42–46 (in Russ.).
5. Burtsev S.I., Tsvetkov Yu.N. Thermal and gas comfort, taking into account individual characteristics of a person. Teploenergoeffektivnye tekhnologii. 2002. No 1, pp. 37-41 (in Russ.).
6. Mikhaylov V.A. Issledovanie i razrabotka sredstv uluchsheniya mikroklimata v kabine universal'no-propashnogo traktora: dis. ... kand. tekhn. nauk [Research and development of means for improving the microclimate in the cabin of the universal tractors: dissertation for degree of Candidate of Technical Sciences]. Moscow, 1976. 173 p.
7. Mikhaylov V.A. Sozdanie sistemy modul'nykh tipizirovannykh i unifiksirovannykh sredstv normalizatsii mikroklimata i ozdorovleniya vozдушnoy sredy v ka-

- binakh samokhodnykh mashin: dis. ... doktora tekhn. nauk [Creation of a system of modular, typed and unified means of normalizing the microclimate and improving the air environment in the cabins of self-propelled vehicles: dissertation for degree of Doctor of Technical Sciences]. Moscow, 1999. 492 p.
8. Trelina K.V. Isparitel'noe uvlazhnenie vozдушного зaryada dvigateley sel'skokhozyaystvennoy tekhniki dlya umen'sheniya vybrosov oksidov azota (na primere dvigatelya D-120 (D-21)): avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Evaporative humidification of the air charge of agricultural machinery engines to reduce emissions of nitrogen oxides (using the D-120 engine as an example): abstract of for degree of Candidate of Technical Sciences]. Moscow, 2007. 19 p.
 9. Mesha K.I., Kharitonov V.I. Avtomatizirovannoe upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh [Automated control in technical systems]. Moscow: MAMI Publ., 2013. 125 p.
 10. Bun'ko E.B., Mesha K.I., Murachev E.G., Smirnov V.E., Kharitonov V.I. Upravlenie tekhnicheskimi sistemami [Control of technical systems]. Pod red. V.I. Kharitonova. Moscow: Forum Publ., 2010. 384 p.
 11. Vedenyapin G.V. Obshchaya metodika eksperimental'nogo issledovaniya i obrabotki opytnykh dannykh [General method of experimental research and processing of experimental data]. Moscow: Kolos Publ., 1973. 199 p.
 12. Mikhaylov V.A., Sharipova N.N. Evaluation of the functional qualities of the local air cooler in the tractor cabin. Traktory i sel'khozmashiny. 2012. No 10, pp. 20–23 (in Russ.).
 13. GOST 10921-90. Radial and axial fans. Methods of aerodynamic testing. Moscow: Izd-vo standartov Publ., 1991. 32 p.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

THE EXPERIMENTAL SETUP FOR THE STUDY OF SOIL-WORKING BODIES

И.В. БОЖКО, к.т.н.
Г.Г. ПАРХОМЕНКО
А.В. ГРОМАКОВ
В.А. МАКСИМЕНКО, д.т.н.
С.И. КАМБУЛОВ

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
Зерноград, Россия, i.v.bozhko@mail.ru

I.V. BOZHKO, PhD in Engineering
G.G. PARKHOMENKO,
A.V. GROMAKOV,
V.A. MAKSIMENKO, DSc in Engineering
S.I. KAMBULOV

Federal State Budget Scientific Institution «Agrarian Science Center «Donskoy», Zernograd, Russia i.v.bozhko@mail.ru

Заключительной проверкой проведенных расчетов на адекватность заявленной гипотезы по изучаемому явлению является эксперимент. Посредством применения метода монографического обследования известных несущих систем была разработана конструкция экспериментальной установки для проведения полевых экспериментальных исследований рабочих органов почвообрабатывающих машин. При проведении экспериментальных исследований применяются методы энергетической оценки, оценки технических параметров в соответствии с методиками государственных стандартов, а также методы натурного эксперимента с использованием современных средств компьютерной диагностики и программного обеспечения. Экспериментальная установка для исследования рабочих органов почвообрабатывающих машин предлагаемой конструкции включает в себя раму, опорные колеса с возможностью регулировки глубины обработки почвы посредством винтового механизма, механизм навески, шарнирный механизм с креплением исследуемого рабочего органа, механизм крепления измерительного датчика и жестко закрепленный на раме установки рабочий орган для создания условий реального технологического процесса функционирования. При движении установки по экспериментальному участку аналоговые данные тягового сопротивления, считываемые с измерительного датчика передаются в усилитель, откуда по каналу подаются в плату аналого-цифрового преобразователя, далее оцифрованные данные поступают на персональный компьютер. Установлено, что относительная погрешность данных экспериментального определения параметров и показателей технологического процесса рабочих органов почвообрабатывающих машин при использовании предлагаемой экспериментальной установки с измерительным комплексом не превышает 4 % от результатов теоретических исследований. Экспериментальная установка позволяет проводить исследования в полевых условиях с имитацией реального процесса работы проектируемой почвообрабатывающей машины.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, почвообрабатывающий рабочий орган, измерительный комплекс, экспериментальная установка.

The final verification of the performed calculations on the adequacy of the stated hypothesis on the phenomenon being studied is the experiment. Using the method of monographic examination of known bearing systems, the design of an experimental setup for conducting field experimental studies of the working organs of tillage machines was developed. When conducting experimental studies, methods of energy assessment, estimation of technical parameters in accordance with state standards, and methods of full-scale experiment using modern computer diagnostic tools and software are used. The experimental installation for studying the working organs of soil-cultivating machines of the proposed construction includes a frame, support wheels with the possibility of adjusting the depth of soil cultivation by means of a screw mechanism, the attachment mechanism, a hinged mechanism with the fastening of the test organ, the fixing mechanism of the measuring sensor and rigidly fixed to the frame of the apparatus working body to create conditions for the real technological process of functioning. When the system moves through the experimental section, the analog data of the traction resistance read from the measuring sensor is transmitted to the amplifier, from where it is fed through the channel to the analog-to-digital converter board, then the digitized data is fed to the personal computer. It is established that the relative error in the data of the experimental determination of the parameters and indices of the technological process of the working organs of soil-cultivating machines when using the proposed experimental installation with a measuring complex does not exceed 4 % of the results of theoretical studies. The experimental installation allows to carry out investigations in the field conditions with imitation of the real process of operation of the designed tiller machine.

Keywords: experimental research, soil-working body, measuring complex, experimental installation.

Введение

Эксперимент – одна из основных и заключительных проверок проведенных расчетов на адекватность заявленной гипотезы по изучаемому явлению.

Экспериментальные исследования подразделяются на лабораторные, лабораторно-полевые и полевые.

Лабораторные экспериментальные исследования проводятся, как правило, в стационарных условиях и применяются к агрегатам, не требующим 100%-й имитации условий работы разрабатываемой машины, либо в случаях, когда необходимо исключить случайные факторы, влияющие на протекание процесса.

Лабораторные экспериментальные исследования можно осуществить в почвенном канале, предназначенном для моделирования процессов резания, перемещения, уплотнения и перемешивания слоев внутри пласта, происходящих при взаимодействии с рабочими органами почвообрабатывающих машин на различных режимах функционирования. Почвенный канал представляет собой прямоугольный лоток с почвой. Оборудование почвенного канала обычно включает приводную станцию, динамометрическую тележку (самоходную или с канатным приводом), измерительную аппаратуру и подъемно-транспортные механизмы.

Известно, что самоходные тележки развивают малое тяговое усилие, которое, можно повысить за счет увеличения веса, но ввиду возникновения значительных инерционных сил на высоких скоростях с учетом пути разгона и торможения, рабочая длина канала сокращается. Поэтому чаще используются тележки с канатным приводом. Однако они также имеют ряд недостатков. Так, установка рабочих органов ассиметрично центру тележки приводит к перекосу рамы, что может нарушить правильность угла установки рабочих органов, к увеличению тягового сопротивления и искажению результатов исследования. Помимо этого не обеспечивается равномерность скорости движения и глубины рабочих органов.

Несмотря на то что в современных конструкциях почвенных каналов предусматривается полная механизация всех вспомогательных работ по подготовке обрабатываемой среды, ее физико-механические свойства отличаются от реального пласта почвы, поэтому достовернее результаты полевых исследований.

Полевые экспериментальные исследования являются наиболее предпочтительными, так как машина функционирует в реальных условиях, в которых в дальнейшем предполагается ее эксплуатация. Следует отметить, что большим плюсом таких исследований является достоверность получаемых данных об исследуемом явлении, процессе.

Цель исследования

Целью исследования является экспериментальная установка для изучения режимов и параметров функционирования почвообрабатывающих рабочих органов и проверки проведенных расчетов на адекватность заявленной гипотезы.

Материалы и методы исследования

Монографическое обследование известных устройств (несущих систем), разработанных ранее [1], анализ их функционирования в полевых условиях и предварительные расчеты позволили разработать конструкцию экспериментальной установки для проведения экспериментальных исследований рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Экспериментальные исследования проводятся с использованием методики натурного эксперимента и по ГОСТ Р 5277-2009 «Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки» (введен 01.07.2008 (взамен СТО АИСТ 2.2-2006), ГОСТ Р 54784-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы оценки технических параметров» (введен 01.03.2012 (взамен ОСТ 10.2.1-97), СТО АИСТ 4.1-2010 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для глубокой обработки почвы. Методы оценки функциональных показателей» (введен 15.04.2011 взамен СТО АИСТ 4.01-2004) сертифицированной измерительной аппаратурой с применением современных средств компьютерной диагностики и программного обеспечения.

Программа экспериментальных исследований предусматривает проведение полевых исследований рабочих органов и состоит из двух этапов:

- определение оптимальных параметров и режимов функционирования рабочих органов;
- определение агротехнических и энергетических показателей технологического процесса.

Для проведения экспериментальных исследований в поле размечаются участки. Каждый участок делится на две части: до 20 м – для

разгона трактора, 50–100 м – непосредственно экспериментальный, на котором производится снятие показаний с измерительного датчика.

Исследования проводятся при движении агрегата «туда» и «обратно» не менее, чем в трех повторениях для различных режимов функционирования: глубины обработки почвы и скорости движения.

Скорость движения рабочего органа определяется по времени прохождения зачетного участка по формуле:

$$v = S / t,$$

где v – скорость агрегата, м/с; S – длина зачетного участка, м ($S = 50\text{--}100$ м); t – время, с (определяется по секундомеру).

Результаты и их обсуждение

Схема разработанной экспериментальной установки представлена на рис. 1.

Экспериментальная установка включает в себя раму 1, опорные колеса 2 с возможностью регулировки глубины обработки почвы посредством винтового механизма, механизм навески 3 для агрегатирования с тракторами класса тяги 3 (Т-150К), шарнирный механизм 4 с креплени-

ем исследуемого рабочего органа, механизм крепления измерительного датчика 5, предназначенного для снятия показаний тягового сопротивления, а также жестко закрепленный рабочий орган 6 для создания условий реального технологического процесса функционирования.

Как известно, рабочие органы почвообрабатывающих машин функционируют в условиях блокированного, полублокированного и свободного резания. При полублокированном резании функционирование рабочего органа осуществляется по подготовленной до прохода почве с одной стороны, свободном – с двух сторон, при блокированном – в неразрушенном пласте.

Наиболее характерным является полублокированное резание, поэтому в конструкции на раме установки предусмотрен рабочий орган 6 для создания условий реального технологического процесса функционирования, подготавливающий слой почвы под исследуемый рабочий орган, который крепится на шарнирном механизме 4 экспериментальной установки.

В качестве измерительного датчика используется шарнирное тензометрическое звено, самоустанавливающееся по линии тяги в направлении движения агрегата в механизме кре-

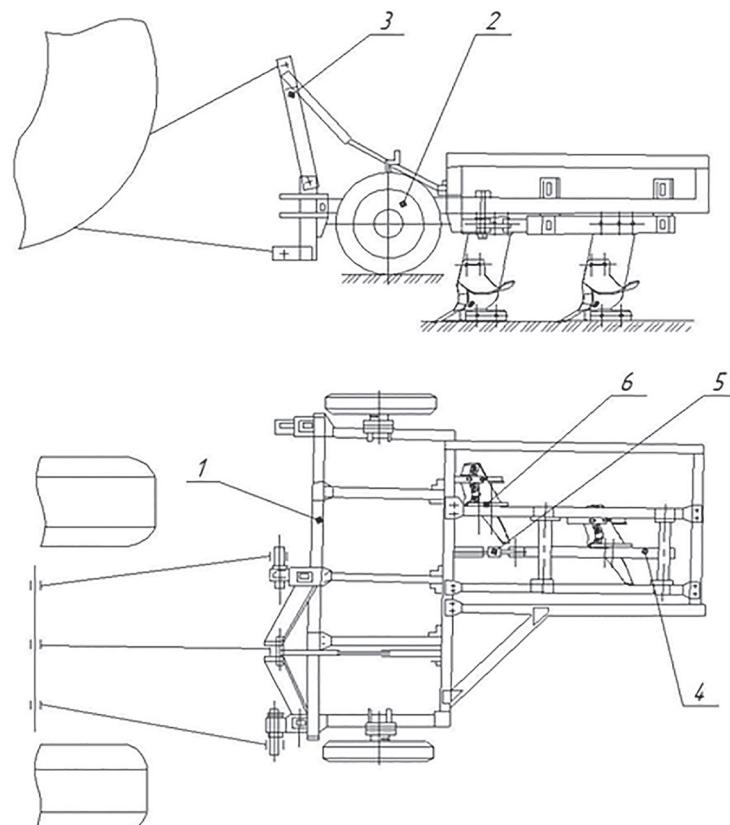


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

- 1 – рама;
- 2 – опорные колеса;
- 3 – механизм навески;
- 4 – шарнирный механизм;
- 5 – измерительный датчик;
- 6 – рабочий орган для создания реальных условий функционирования

плесния 5, позволяющее снимать показания тягового сопротивления.

На рис. 2 показан пример расстановки рабочих органов на экспериментальной установке.

Тарировка датчика для измерения тягового сопротивления осуществляется на специальном приспособлении (рис. 3) с помощью пружинного динамометра в трех повторениях: до, во время и после опытов [1–4].

При тарировке датчика тягового сопротивления вращением рукоятки через коническое зацепление шестерен перемещается винт. К нему присоединен динамометр, связанный посредством цепи с пальцем, усилие натяжения которой задает нагрузку.

Сигналы от измерительного датчика усиливаются и регистрируются, далее по данным тарировочных файлов определяются коэффициенты. Тарировочный коэффициент определяется отдельно, многократно, и используются его средние значения.

*a*

Тарировочный коэффициент K_t для датчика тягового сопротивления – это масштаб, определяемый отношением истинной нагрузки к ее средней ординате:

$$K_t = \frac{P_i}{k_i - k_0}, \quad (1)$$

где P_i – текущее значение тягового сопротивления при тарировке, кН; k_i – текущее значение на АЦП (аналого-цифровой преобразователь) при P_i , у.е.; k_0 – нулевое значение на АЦП, у.е.

Значения искомых величин тягового сопротивления, определялись по формуле:

$$P_t = (P_{ti} - P_{t0}) K_t,$$

где P_{ti} – текущие значения тягового сопротивления, у.е.; P_{t0} – нулевые (средние в у.е.) значения; K_t – тарировочные коэффициенты, кН/у.е.; P_{ti} , P_{t0} – значения, полученные в результате непосредственного измерения величин тягового сопротивления с размерностью в условных

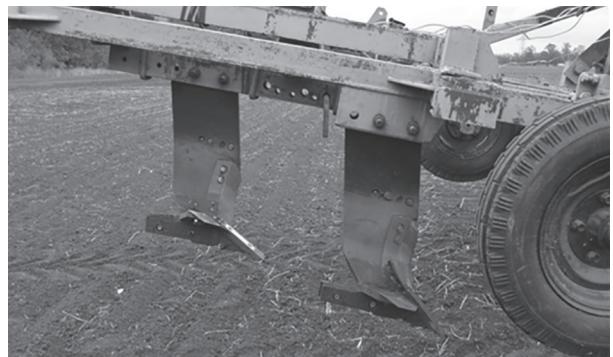
*b*

Рис. 2. Расстановка рабочих органов на экспериментальной установке:
a – вид сзади; *b* – вид сбоку

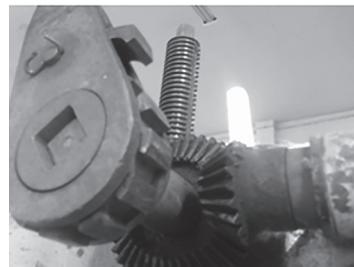
*a**b**c*

Рис. 3. Приспособление для тарировки измерительного датчика:

a – верхняя часть приспособления; *b* – нижняя часть приспособления; *c* – динамометр

единицах, в отличие от значений P_i (выражение (1)), задаваемых посредством дифференцированного увеличения нагрузки в прямом и обратном направлениях, наблюдаемых по показаниям динамометра для измерительного датчика в процессе тарировки, и фиксируемых при этом значениях x_i на АЦП.

Предварительно устанавливается глубина обработки почвы опорными колесами 2 (см. рис. 1). В качестве примера приведем данные для рабочих органов [5–10], осуществляющих послойную безотвальную обработку почвы (табл. 1).

При движении установки по экспериментальному участку аналоговые данные тягового сопротивления, считываемые с измерительного датчика, передаются в усилитель ТДА-6, откуда по каналу подаются в плату АЦП аналого-цифрового преобразователя ЛА-70М-4, далее оцифрованные данные поступают в ПК (рис. 4). Эти данные фиксируются в формате CVS, который совместим с программой Microsoft Excel для дальнейшей обработки и графической интерпретации полученных результатов в данной программе.

Основным преимуществом использования экспериментальной установки является определение тягового сопротивления рабочих органов почвообрабатывающих машин в процессе их разработки на различных этапах проектирования.

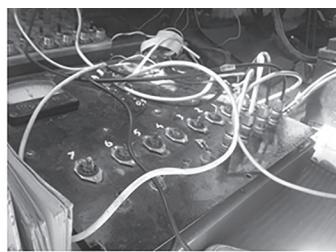
Общий вид экспериментальной установки в поле при проведении исследований технологического процесса рабочих органов для послойной безотвальной обработки почвы на стерневом фоне представлен на рис. 5.

Относительная погрешность данных экспериментального определения параметров и показателей технологического процесса рабочих органов для послойной безотвальной обработки почвы при использовании предлагаемой установки с измерительным комплексом не превышает 4 % от результатов теоретических исследований [10].

Таблица 1

Показатели установочной глубины рыхления рабочих органов для послойной безотвальной обработки почвы

Глубокая обработка, см	Мелкая и поверхностная обработка, см
25	2–6
30	6–10
35	12–16



а



б

Рис. 4. Оборудование для экспериментальных исследований:
а – усилитель ТДА-6 с платой аналого-цифрового преобразователя ЛА-70М-4; б – измерительный датчик (тензозвено)



Рис. 5. Экспериментальная установка в работе

Заключение

Разработка конструкции устройства для проверки в реальных условиях проведенных расчетов на адекватность заявленной гипотезы является актуальной задачей, направленной на выполнение экспериментального этапа прикладной научно-исследовательской работы.

Предложенная экспериментальная установка для проведения полевых исследований рабочих органов почвообрабатывающих машин позволяет проводить исследования в полевых условиях с имитацией реального процесса работы проектируемой машины.

Литература

- Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Измерение силы тяги на крюке трактора в агрегате с навесной сельскохозяйственной машиной // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 4. С. 15–19.
- Пархоменко Г.Г. Исследование чизеля: Сравнительная оценка рабочих органов. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 72 с.

3. Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Теоретическое исследование механизмов перемещения рабочих органов для обработки почвы // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства: сб. науч. докладов Междунар. научно-технич. конф. ФГБНУ ВИМ, 2015. С. 210–214.
 4. Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Повышение эксплуатационной надежности САР почвообрабатывающих машин // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 122. С. 87–91.
 5. Пархоменко Г.Г., Божко И.В. Результаты оптимизации формы почвообрабатывающих рабочих органов // Modernní vymoženosti vědy – 2014: Materiály X mezinárodní vědecko-praktické konference – Dhl 32. Zemědělství: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o. 2014. S. 17–21.
 6. Божко И.В., Пархоменко Г.Г. Особенности безотвальной послойной обработки почвы в засушливых условиях // Агротехника и энергообеспечение. 2014. № 1 (1). С. 25–30.
 7. Божко И.В., Пархоменко Г.Г., Громаков А.В., Максименко В.А. Энергетическая оценка технологического процесса послойной безотвальной обработки почвы // Агротехника и энергообеспечение. 2014. № 4 (4). С. 11–19.
 8. Божко И.В., Пархоменко Г.Г., Громаков А.В. Анализ энергетических показателей технологического процесса послойной безотвальной обработки почвы // Инновации в сельском хозяйстве. 2014. № 5. С. 6–9.
 9. Божко И.В., Пархоменко Г.Г., Громаков А.В. Обоснование конструкции рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы // Сборник статей 9-й международной научно-практической конференции «Инновационные разработки для АПК». Зерноград: ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 2014. С. 30–36.
 10. Божко И.В. Обоснование параметров эллиптического рыхлителя рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Краснодар, 2015. 23 с.
- References**
1. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Measuring the traction force on the tractor hook in an aggregate with a hinged agricultural machine. Traktory i sel'khozmashiny. 2016. No 4, pp. 15–19 (in Russ.).
 2. Parkhomenko G.G. Issledovanie dizelya: Sravnitel'naya otsenka rabochikh organov [Chisel study: Comparative evaluation of working organs]. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 72 p.
 3. Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Theoretical study of the mechanisms of displacement of working organs for tillage. Intellektual'nye mashinnyye tekhnologii i tekhnika dlya realizatsii Gosudarstvennoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva: Sb. nauch. dokladov Mezhdunar. nauchno-tehnicheskij konf [Intellectual machine technology and technology for the implementation of the State Program for the Development of Agriculture: collection of scientific works of international scientific and technical conference]. FGBNU VIM, 2015, pp. 210–214 (in Russ.).
 4. Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Increasing the operational safety of RAW tillage machines. Trudy GOSNITI. 2016. Vol. 122, pp. 87–91 (in Russ.).
 5. Parkhomenko G.G., Bozhko I.V. Results of optimizing the shape of the tillage working tools. Modernní vymoženosti vědy – 2014: Materiály X mezinárodní vědecko-praktické konference – Dhl 32. Zemědělství: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o. 2014. S. 17–21 (in Russ.).
 6. Bozhko I.V., Parkhomenko G.G. Features of the non-sandwich layer-by-layer tillage in arid conditions. Agrotechnika i energoobespechenie. 2014. No 1 (1), pp. 25–30 (in Russ.).
 7. Bozhko I.V., Parkhomenko G.G., Gromakov A.V., Maksimenko V.A. Energy evaluation of the technological process of layer-by-layer soil-free tillage. Agrotechnika i energoobespechenie. 2014. No 4 (4), pp. 11–19 (in Russ.).
 8. Bozhko I.V., Parkhomenko G.G., Gromakov A.V. Analysis of energy indicators of the technological process of layer-by-layer soil-free tillage. Innovatsii v sel'skom khozyaystve. 2014. No 5, pp. 6–9 (in Russ.).
 9. Bozhko I.V., Parkhomenko G.G., Gromakov A.V. Substantiation of the design of the working element for layered soil-free tillage. Sbornik statey 9-oy mezhdunarodnoy nauchno prakticheskoy konferentsii «Innovatsionnye razrabotki dlya APK» [Collection of articles of the 9th International Scientific and Practical Conference «Innovative developments for the agroindustrial complex»]. Zernograd: GNU SKNIIMESKh Rossel'khozakademii, 2014, pp. 30–36 (in Russ.).
 10. Bozhko I.V. Obosnovanie parametrov ellipticheskogo rykhlitelya rabochego organa dlya posloynoy bezotval'noy obrabotki pochvy: avtoref. dis. ...kand. tekhn. nauk [Justification of the parameters of the elliptical ripper of the working member for layered soil-free tillage of soil: abstract for dissertation for degree of Candidate of Technical Sciences]. Krasnodar, 2015. 23 p.

О ВЛИЯНИИ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ РАСТЕНИЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ВЫБОР РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОЧЕСЫВАЮЩЕЙ ЖАТКИ

THE INFLUENCE OF MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WINTER WHEAT PLANTS ON THE CHOICE OF OPERATING MODES OF COMBING HEADER

М.А. БУРЬЯНОВ, к.т.н.
А.И. БУРЬЯНОВ, д.т.н.
И.В. ЧЕРВЯКОВ
О.А. КОСТИЛЕНКО

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
Зерноград, Россия, burjanov2015@yandex.ru

М.А. BUR'YANOV, PhD in Engineering
A.I. BUR'YANOV, DSc in Engineering
I.V. CHERVYAKOV
O.A. KOSTYLENKO

Federal State Budget Scientific Institution «Agrarian Science Center «Donskoy», Zernograd, Russia, burjanov2015@yandex.ru

Цель исследований – определение степени влияния морфологических признаков: длины растений, их стеблей, колосьев озимой пшеницы, выращенной в условиях южной подзоны Ростовской области, на выбор режимов работы очесывающих устройств характеристикам убираемого хлебостоя, а также из-за отсутствия знаний о физико-механических характеристиках растений культур, возделываемых в настоящее время. При уборке очесом необходимо, чтобы лишь колос растения попадал в рабочую зону, параметры которой определяются диаметром очесывающего барабана, зазором между ним и обтекателем, их взаимным расположением и положением жатки относительно поверхности поля. Соблюдение этого условия необходимо, но недостаточно для уборки очесом без потерь зерна. При моделировании на математической модели процесса очеса зерновых культур, реализуемого очесывающей жаткой в условиях конкретного поля, необходимы знания свыше десяти физико-механических характеристик убираемых растений. Данные о характеристиках растений озимой пшеницы, возделываемой в условиях юга России, накапливались авторами в течение шести лет. Получены данные о неравномерности характеристик растений пяти сортов озимой пшеницы. Измерения растений проводили в пределах убираемого поля, отдельных делянок и выросших в одном кусте. Геометрические характеристики растений, такие как их высота, длина стебля и колоса могут с известной степенью точности оцениваться при небольшом количестве замеров и визуально, с выделением максимально отличающихся участков на убираемом массиве. В данной статье проиллюстрировано влияние геометрических параметров растений убираемой культуры на качество выполняемого процесса и возможность управления им путем регулирования и управления режимами работы.

Ключевые слова: физико-механические свойства растений озимой пшеницы, комбайновый очес, математическая модель, параметры и режимы очесывающего устройства.

The purpose of the research is to determine the degree of influence of morphological features: the length of plants, their stems, ears of winter wheat grown in the southern subzone of the Rostov Region, and the choice of operating modes for combing headers. The problems arise from the discrepancy between the parameters and operating modes of the combing devices for the characteristics of the harvested grain, and also because of the lack of knowledge of the physico-mechanical characteristics of the crop plants currently cultivated. When harvesting with streaks, it is necessary that only the ear of the plant gets into the working zone, the parameters of which are determined by the diameter of the combing drum, the gap between it and the fairing, their mutual arrangement, and the position of the header relative to the field surface. Compliance with this condition is necessary, but not sufficient for cleaning with a streak without loss of grain. When modeling on the mathematical model of the process of combing grain crops realized by a combing header in a specific field, knowledge of more than ten physico-mechanical characteristics of the harvested plants is required. Data on the characteristics of plants of winter wheat, cultivated in the conditions of the south of Russia, was accumulated by us for six years. The data on the non-uniformity of plant characteristics of five varieties of winter wheat are obtained. Measurements were carried out within the field to be cleaned, individual plots and grown in one bush. Geometric characteristics of plants, such as their height, length of stem and ear can be estimated with a certain degree of accuracy with a small number of measurements and visually, with the selection of the most different sites on the harvested massif. This article illustrates the influence of the geometric parameters of the plants of the crop being harvested on the quality of the process being performed and the possibility of controlling it by regulating the operating modes and controlling them.

Keywords: physical and mechanical properties of plants of winter wheat, combine sheaves, mathematical model, parameters and modes of combing device.

Введение

Остающийся в нашей стране пока еще низким уровень обеспеченности сельскохозяйственных предприятий зерноуборочными комбайнами приводит к увеличению продолжительности уборочных работ до 20–30 дней, вместо рекомендуемых 8–10, и, как следствие, к потерям зерна осыпанием [1]. По результатам исследований, выполненных нами в 2014 году [2], потери зерна по двум испытуемым сортам озимой пшеницы осыпанием на 33-й день с момента достижения полной спелости составили 22 и 41 %. При этом снижается и качество зерна.

Одним из перспективных направлений совершенствования уборочного процесса является применение метода комбайнового очеса зерновых культур на корню, внедрение которого позволяет в 1,5–2,0 раза повысить производительность комбайнов, оборудованных очесывающими жатками, пропорционально сократить сроки проведения уборочных работ при снижении расхода топлива на 35–45 % и уменьшить потери зерна осыпанием. Однако опыт использования серийно выпускаемых в настоящее время очесывающих устройств показывает, что при их внедрении реализовать потенциальные возможности технологии уборки очесом удастся далеко не всегда. Чаще всего проблемы возникают из-за несоответствия параметров и режимов работы очесывающих устройств

характеристикам убираемого хлебостоя, а также из-за отсутствия четких рекомендаций, на основе которых можно было бы осуществлять необходимые регулировки и оперативно управлять процессом очеса. Для их решения необходимо иметь подробную информацию об особенностях протекания процесса очеса, реализуемого очесывающими устройствами, а также о физико-механических характеристиках обмолачиваемых растений. Однако процесс очеса принципиально отличается от работы традиционных жаток. При уборке очесом необходимо создать условия, при которых не все растение, а лишь его колос попадал бы в рабочую зону, параметры которой определяются диаметром очесывающего барабана, зазором между ним и обтекателем, их взаимным расположением и положением жатки относительно поверхности поля. Из перечисленных параметров первые два конструктивные, а два последних могут изменяться в процессе эксплуатации. Но конструкции очесывающих жаток выполнены так, что кроме взаимодействия растений с обтекателем визуально наблюдать за движением материала практически невозможно.

Для более глубокого осмысливания процесса очеса нами была разработана лабораторная установка, имитирующая работу одно- и двухбарабанного очесывающих устройств [3]. Реализуя процесс очеса на установке, нам удалось выделить три зоны потерь, схемное расположение которых при однобарабанном варианте приведено на рис. 1. Потери зерна в первой зоне возникают от удара соцветий растений о надвигающуюся на них наружную поверхность обтекателя, а при дальнейшем движении по ней – за счет сил трения [4]. Другая причина потерь зерна на обтекателе – захлестывание колоса с последующим его отрывом и падением на землю или выдергивание всего растения. Это имеет место тогда, когда длина стебля растения достаточно велика, жесткость мала, и наиболее вероятно, если наружная поверхность обтекателя выполнена выпуклой в направлении по ходу движения агрегата при небольшом радиусе кривизны. При этом колос и стебель плотно прилегают к поверхности обтекателя, и при дальнейшем его движении отрыв или выдергивание растения происходит под действием сил трения.

Растения, попавшие в зону очеса после схода с обтекателя, контактируют с очесывающими зубьями барабана, где происходит

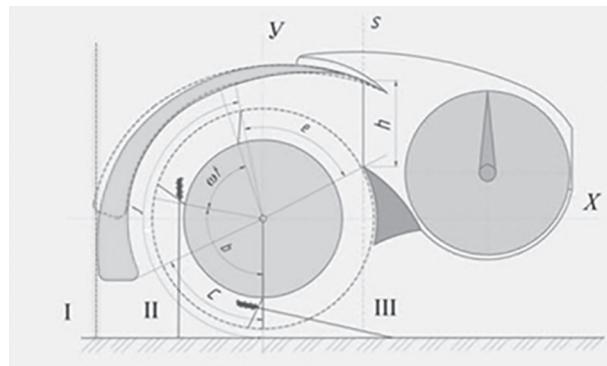


Рис. 1. Зоны потерь и взаимодействия очесываемого растения и продуктов очеса с рабочими органами очесывающей жатки:
I – зона потерь при взаимодействии колоса растения с наружной поверхностью обтекателя;
II – зона потерь выбрасыванием вперед по ходу жатки; III – зона потерь проходом через зазор между барабаном и ложем шнека; b – угол начала очеса; ot – угол поворота зуба с зерновкой; e – угол движения зерновки по транспортирующему каналу; h – ширина канала в сечении S

собственно очес соцветия или его отрыв от стебля. Если сила удара по соцветию недостаточна, произойдет его недоочес, либо зерно или оторванное от стебля соцветие получит импульс, недостаточный для прохождения по транспортирующему каналу участка до сечения S , и будет потеряно во второй или третьей зоне. Потери во второй зоне могут возникнуть также, если траектория движения выделенного зерна или соцветия будет располагаться ниже нижней кромки обтекателя [5]. Если зерно, двигаясь по транспортирующему каналу жатки, контактирует с его внутренней поверхностью, а вектор скорости зерна при этом наклонен так, что его направленная вверх вертикальная проекция по модулю меньше скорости витания, то, в зависимости от места контакта, оно либо будет двигаться вниз во вторую зону потерь, либо произойдет затягивание материала в промежуток между зубьями барабана и наружной поверхностью передней стенки ложа шнека, что соответствует третьей зоне потерь [6].

Для изучения механизма взаимодействия убираемых растений с рабочими органами очесывающих жаток и разработке на его основе методов обоснования параметров и режимов их работы нами была предложена математическая модель, логическая схема которой показана на рис. 2, а ее более подробное изложение и этапы развития приведено в работах [4–7].

Предложенная модель представляет последовательную совокупность аналитических зависимостей, описывающих взаимодействие очесываемых растений с рабочими органами жатки, начиная с их контакта с обтекателем, после схода с него, с зубьями очесывающего барабана и движение продуктов очеса в транспортирующем канале.

Последовательность решения уравнений осуществляется в соответствии с последовательностью описываемых ими операций. Данные, полученные при решении уравнений, описывающих предыдущую операцию, являются исходными для уравнений, описывающих последующую операцию. Решение выполняется численными методами в пакетах программ-решателей. Для получения на модели результатов решений о параметрах и режимах процесса очеса при заданных параметрах и режимах очесывающего устройства необходимо иметь информационную базу о следующих физико-механических характеристиках растений, входящих в систему уравнений:

- длина растения, стебля, соцветия и их варьирование в пределах куста, ширины захвата жатки, убираемого массива;
- усилие, необходимое для разрыва стебля;
- зависимость силы сопротивления стебля изгибу от угла его наклона;
- величина усилия, необходимого для отрыва чешуйки или зерновки от соцветия;
- коэффициент трения компонент вороха по рабочим поверхностям очесывающего устройства;
- коэффициент восстановления зерна;
- коэффициент парусности компонент вороха;
- масса каждой составляющей компонент вороха.

Знания отдельных из перечисленных выше характеристик растений необходимы также для регулировки и оперативного управления очесывающего устройства, работающего в условиях конкретного поля. Обычно это внешние признаки, которые могут быть оценены визуально, такие как высота растений, их стеблей, размеры и форма колоса, по которой можно судить о степени наполнения его зерном.

Из работ [8, 9] известно, например, что перечисленные выше характеристики возделываемых культур подвержены достаточно широким колебаниям в зависимости как от сорта, так и в его пределах, от продолжительности пребывания созревшего растения на корню, погодных условий, типа почв, агротехники возделыва-

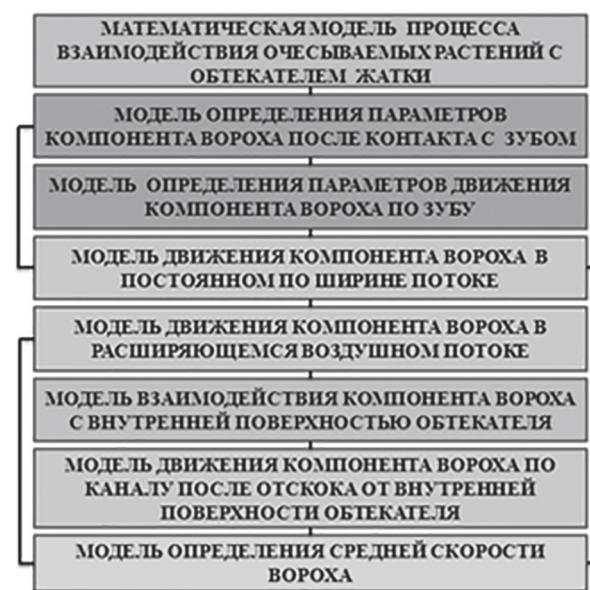


Рис. 2. Логическая схема математической модели процесса очеса зерновых культур однобарабанной жаткой

ния. К сожалению, найти достаточно полную информацию о перечисленных выше характеристиках видов зерновых культур и их сортов не представлялось возможным. Систематизированные данные приведены в справочной литературе [10, 11] для конструкторов сельскохозяйственных машин, однако они устарели вследствие многократной замены возделываемых в настоящее время сортов зерновых культур. Учитывая, что от 60 до 70 % посевных площадей, засеваемых в нашей стране зерновыми колосовыми, заняты под озимой пшеницей, при уборке которой формируется пиковая потребность в зерноуборочных комбайнах, и ввиду ограниченных ресурсов, необходимых для изучения характеристик растений и других зерновых культур, первостепенное внимание удалено именно этой культуре. Так как объем материалов, полученных при изучении перечисленных выше характеристик растений озимой пшеницы, значителен, в данной статье приведены только результаты исследований по определению степени варьирования длины растений и оценки их влияния на качество уборки комбайновым очесом.

Цель исследования

Цель исследований – определение степени влияния морфологических признаков: длины растений, их стеблей, колосьев озимой пшеницы, выращенной в условиях южной подзоны Ростовской области, на выбор режимов работы очесывающей жатки.

Материалы и методы

Сбор материала для исследований проводили на «Опытном поле института», представляющем севооборот общей площадью пашни 700 га, в течение шести лет. Отбор проб растений осуществляли с полей, занятых под озимой пшеницей. Изучение варьирования длины растения, стебля и колоса озимой пшеницы выполняли по двум вариантам, используя две различных методики отбора проб, описанные в работах [12, 13]. Первый вариант отбора проб выполняли по «упрощенному способу» [13] (рис. 3) на поле, засеянном озимой пшеницей сорта «Зерноградка-11». По второму пробы брали со специально выделенного участка размером 38,5x7 м. Вторую методику применяли с целью объединения мест отбора проб, как для определения геометрических характеристик растений, так и для изучения ди-

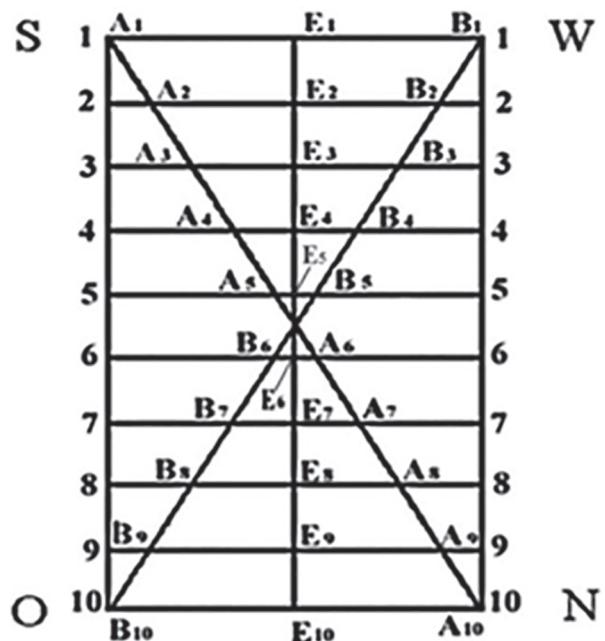


Рис. 3. Схема отбора проб растений озимой пшеницы по упрощенному способу

амики потерь зерна осыпанием и снижения его качества от продолжительности его пребывания в стадии полной спелости на корню. Размещение вариантов осуществляли по методу рандомизированного латинского прямоугольника. Третью методику применяли при изучении характеристик растений, выросших в одном кусте. Несмотря на название первый метод самый трудоемкий, но при его использовании удается получить наиболее подробную картину о степени выровненности (ярусности) по высоте растений на поле. Пробы брали с 30 равноудаленных по длине поля площадок, размером 0,5x0,5 м, расположенных на диагоналях и его центральной линии. Срез растений осуществляли на уровне почвы. Срезанные растения увязывали в снопы, к которым привязывали таблички с указанием принадлежности к месту взятия проб, укладывали их в прозрачные пластиковые мешки. Измерения проводили в лабораторных условиях.

Все замеры выполняли по каждому растению, принадлежащему определенному снопу. Результаты измерений заносили в таблицы Excel, где и осуществляли статистическую обработку данных. Данные, полученные в результате определения размеров растений, находящихся в каждой из 30 проб, обрабатывали по каждой пробе в отдельности.

Оценку влияния варьирования геометрических характеристик растений на качество

функционирования жатки проверяли путем моделирования процесса очеса растений озимой пшеницы с характеристиками проб, взятых на участках A_6 и B_{10} , имеющих максимальные различия значений. Для иллюстраций, представленных на рис. 5–7, моделировали ситуации в масштабах, обеспечивающих реальное соотношение размерных параметров объектов.

Результаты и обсуждение

На рис. 4 приведены зависимости средних значений высоты растений озимой пшеницы от их расположения по длине и диагоналям поля для проб, взятых на участках, расположенных в точках пересечения средней линии и диагоналей с линиями, проходящими поперек поля с интервалом 80 м.

Визуальный осмотр показал, что края поля расположены в низинах, в результате чего высота растений здесь существенно выше, чем в его центре. Осмотр и пробные замеры, выполненные нами также на ряде других полей показали, что общая тенденция по ярусности хлебостоя наблюдается на каждом поле. Это вызывается целым рядом причин, связанных с рельефом конкретного поля, расположением лесозащитных полос, неравномерностью внесения органических и минеральных удобрений и другими факторами. Более подробно с полученными в результате исследований статистическими характеристиками растений, собранных с каждого из 30 участков, можно ознакомиться в работе [14].

Влияние геометрических параметров убираемого хлебостоя на режимы работы очесывающего устройства рассмотрим на примере данных, полученных на участках A_6 и B_{10} , статистические характеристики которых имеют максимальные отличия как по средним значениям, так и по степени их разброса.

Так как в соответствии с агротребованиями на выполнение уборки зерновых колосовых культур зерноуборочным комбайном суммарные потери зерна за ним не должны превышать 2 %, то очевидно, что максимальные и минимальные значения длины растений озимой пшеницы следует определять по правилу $\bar{X} \pm 3\sigma$. В этом случае 99,7 % всех наблюдений гарантированно обеспечивают соблюдение условий, изложенных в работах [5, 7], в соответствии с которыми определяют предельные размеры наружной плоскости обтекателя при различных профилях ее исполнения, а также распо-



Рис. 4. Изменение средних значений высоты растения озимой пшеницы по длине и по диагоналям поля

ложение ее нижней кромки и очесывающего барабана относительно поверхности убираемого массива. При соблюдении этого правила для статистических характеристик растений, взятых на участке B_{10} , равных ($0,863 \pm 3 \times 0,124$) м, диапазон между минимальным и максимальным значениями ограничивается интервалом 0,488–1,235 м, а разность между ними составляет 0,747 м. Диапазон между минимальным и максимальным значениями высоты растений, собранных на участке A_6 , находится в интервале 0,331–0,943 м при разности в 0,612 м.

Рассмотрим ситуацию, когда регулировку параметров жатки осуществляют один раз (рис. 5 и 6) перед началом работы на конкретном массиве, в нашем случае – с параметрами хлебостоя, аналогичными представленным на рис. 4.

Чтобы исключить потери зерна на этом массиве, необходимо регулировку выполнить исходя из характеристик растений, пробы которых брали на участке A_6 .

Такая ситуация часто складывается в реальных условиях эксплуатации по целому ряду причин. Установлено [5], что

$$h_{\text{обт}} = h_2 \leq h_{\text{цб}} = r + l \cos P_0 + h_3, \quad (1)$$

где $h_{\text{обт}}$ – высота положения нижней кромки обтекателя, м; h_2 – длина стебля минимального по высоте растения, м; $h_{\text{цб}}$ – высота положения центра очесывающего барабана относительно поверхности поля, м; h_3 – расстояние между поверхностью поля и концами зубьев барабана (ограничено минимально допустимым зазором, исключающим контакт зубьев с почвой), м; l – длина очесывающего зуба, м; r – радиус корпуса барабана, м; P_0 – угол наклона зуба, рад.

В соответствии с работами [5, 7], а также результатами испытаний, проведенных на лабо-

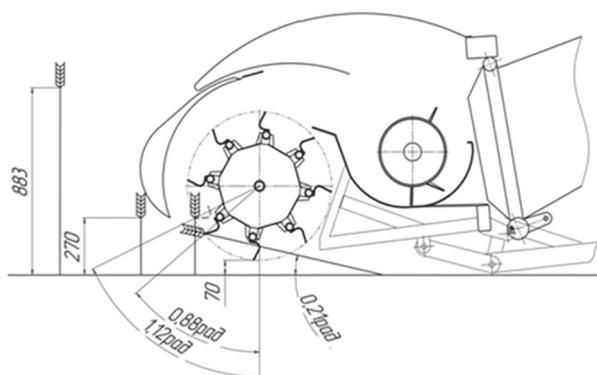


Рис. 5. Очес растений из пробы, взятой на убираемом массиве в точке A_6

раторной установке [3], нижняя кромка обтекателя жатки должна располагаться на минимальном уровне высоты крепления колоса к стеблю растения и в данном случае составляет 0,27 м. При этом уменьшается вероятность захлестывания растений максимальной длины на обтекателе, но возрастает вероятность выбрасывания их зерен вперед по ходу жатки. Поясним это на примере, моделируя ситуацию, представленную на рис. 5.

Стебель растения минимальной длины, за вычетом средней длины колоса, составит 0,27 м. Точка начала контакта зубьев с нижней частью колоса определится из выражения (1) и будет расположена ниже центра барабана на 0,15 м, а угол начала очеса β будет близок к 1,12 рад, что с большой вероятностью обеспечивает его очес и забрасывание очесанного зерна под обтекатель. Угол наклона к поверхности почвы растения максимальной длины составит 0,21 рад. Из рисунка видно, что основной

контакт колоса растения максимальной длины произойдет со следующим зубом. При его перемещении по дуге, длина которой 0,265 м, жатка переместится на 0,04 м, что приведет к изменению угла начала очеса от 0,88 до 0,49–0,53 рад и уменьшению угла наклона стебля к горизонту. При таком положении растений максимальной длины резко возрастает вероятность выброса очесанных зерен вперед по ходу барабана в первую и вторую зоны. Снизить вероятность выброса очесанных зерен можно, если очесывающие граблины повернуть вперед по ходу вращения барабана (рис. 6).

Представленные на рисунке траектории построены по результатам решения численным методом системы уравнений движения зерен после их схода с зуба [7]. Как видно из рисунка, изменение угла наклона граблин позволит обеспечить попадание зерен, очесанных с колоса растения максимальной длины, в транспортирующий канал жатки. Однако при движении зерен по новой траектории их путь длиннее по сравнению с движением зерен, выделенных из колосьев растений минимальной длины. Возникает вероятность удара о внутреннюю поверхность обтекателя, в результате чего снижается скорость их движения. При сложившейся ситуации полученной энергии зерен окажется недостаточно для их попадания в ложе шнека, и они будут затянуты в зазор между зубьями барабана и наружной стенкой ложа шнека. Для устранения этого недостатка необходимо увеличить частоту вращения барабана с помощью вариатора. На наружной стенке ложа шнека

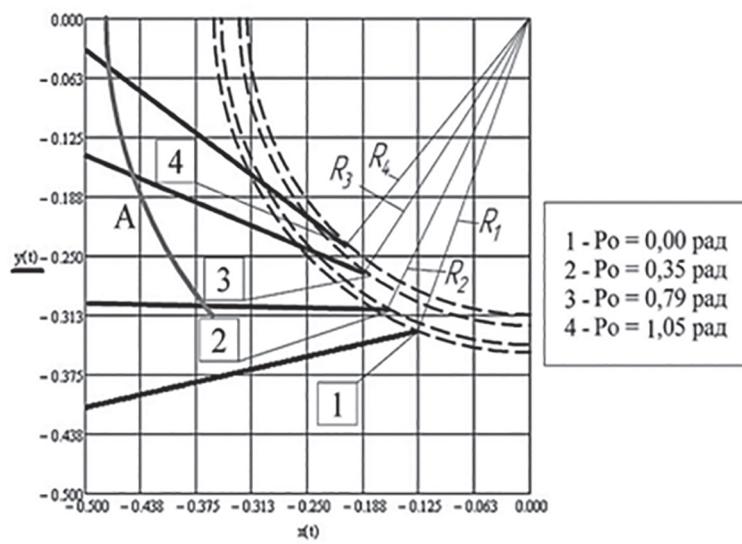


Рис. 6. Зависимости траектории движения зерна от угла наклона очесывающего зуба P_0

установлены датчики потерь. Ориентируясь на показания прибора, на котором отображаются сигналы от датчиков потерь, устанавливают частоту вращения барабана. Выполненные по описанной схеме регулировки жатки обеспечивают ее качественную работу на хлебостое с характеристиками растений на участке A_6 .

Рассмотрим на примере рис. 7 расположение рабочих органов жатки и растений, выращенных на участке B_{10} , при их уборке на режимах, установленных для уборки участка A_6 без их изменения (положение I).

Угол начала очеса минимального по высоте растения, выросшего на участке B_{10} , будет равен 1,57 рад. Условия для очеса колоса весьма комфортные, но возникает вероятность захлестывания стебля на барабане, выдергиванию его из почвы с последующей потерей всего растения.

Растение максимальной длины при положении I в момент начала схода его колоса с наружной поверхности обтекателя будет наклонено к поверхности поля на угол 0,21 рад, а его стебель будет подвергаться ударам о корпуса граблин, что вызовет колебания колоса и его удары об обтекатель и приведет к вымолачиванию зерна.

Чтобы избежать потерь зерна и колосьев, необходимо поднять жатку относительно поверхности поля до 0,22 м (положение II). При этом условия очеса на участке B_{10} будут аналогичны условиям работы жатки на участке A_6 . Исчезает возможность захлестывания растения, минимального по высоте, а угол наклона стебля максимального по высоте растения к поверхности поля увеличится до 0,35 рад. При этом сохраняется прочес стебля зубьями, но это обычно не приводит к вытряхиванию зерен из колоса. Угол начала очеса максимального по высоте растения в положении II будет близок по значению углу начала очеса максимального по высоте растения в положении I, а следовательно, должны быть сохранены регулировки частоты вращения барабана и угла наклона очесывающих зубьев.

Выводы

- Высокая степень ярусности (невыровненности по высоте растений) убираемого хлебостоя является одной из основных характеристик растений, оказывающих существенное влияние на величину потерь зерна. Для снижения величины потерь зерна в конструкцию

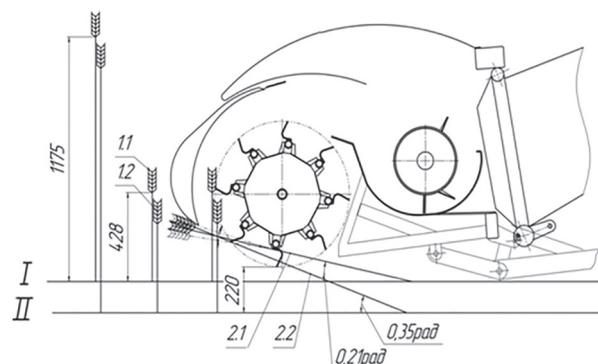


Рис. 7. Очес растений из пробы, взятой на убираемом массиве в точке B_{10}

очесывающей жатки устройства необходимо внести изменения, обеспечивающие:

- регулировку положения обтекателя его поворотом относительно очесывающего барабана;
- бесступенчатое изменение частоты вращения барабана с устройством контроля потерь;
- изменение положения очесывающего барабана с устройством визуального контроля высоты относительно поверхности почвы;
- изменение угла наклона очесывающих зубьев.

2. Для эффективного применения разработанных устройств и механизмов, реализованных в конструкции жатки, необходимо знание о степени неравномерности хлебостоя на убираемом массиве, достаточный уровень которого можно обеспечить с известной степенью точности при небольшом количестве замеров и визуально с выделением хотя бы двух участков на убираемом массиве, максимально отличающихся длиной растений, их стеблей и колосьев.

Литература

- Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Ч. II. Нормативно-справочный материал. М.: МСХ и П РФ, 1998. 251 с.
- Бурьянин А.И., Бурьянин М.А., Костыленко О.А. Результаты исследований по определению влияния продолжительности проведения уборки на величину биологических потерь зерна // Техника и оборудование для села. 2015. № 11 С. 11–14.
- Бурьянин М.А., Червяков И.В. Методы и средства определения величины потерь зерна при уборке зерновых колосовых культур очесывающей жаткой // Разработка инновационных тех-

- нологий и технических средств для АПК: сб. научных трудов 8-й Международной научно-технической конференции. Зерноград: ВНИПТИ-МЭСХ, 2013. С. 134–140.
4. Бурьянов М.А., Бурьянов А.И., Костыленко О.А. Методика обоснования параметров обтекателя однобарабанной очесывающей жатки // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 7. С. 19–23.
 5. Бурьянов М.А., Бурьянов А.И., Костыленко О.А. Методика математического моделирования взаимодействия растений зерновых культур с очесывающим барабаном жатки // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 9. С. 19–22.
 6. Бурьянов М.А., Бурьянов А.И., Червяков И.В. Методика математического моделирования процесса движения зерна в транспортирующем канале очесывающей жатки // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 10. С. 27–30.
 7. Бурьянов, М.А. Параметры и режимы процесса очеса зерновых культур навесной на комбайн жаткой: дис. ... канд. техн. наук. Зерноград, 2011. 184 с.
 8. Ганеев В.А. Устойчивость к осыпанию. URL: <http://fitonsemena.ru/page/page155.html> (дата обращения 09.12.2014).
 9. Структура урожая озимой пшеницы: Земледелие от «А» до «Я». URL: <http://racechrono.ru/vidy-parov/4403-struktura-urozhayaya-ozimoy-pshenicy.html>. (Дата обращения 09.12.2014).
 10. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин: в 2 т. Т. 1 / Под ред. А.В. Красниченко. М.: Машгиз, 1962. 655 с.
 11. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин: в 2 т. Т. 2 / под ред. А.В. Красниченко. М.: Машгиз, 1962. 862 с.
 12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.
 13. Воронюк Б.А., Пьянков А.И., Мильцева Л.В. и др. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений. М.: Колос, 1970. 423 с.
 14. Бурьянов А.И., Бурьянов М.А., Костыленко О.А. Исследование морфологических и физико-механических свойств растений озимой пшеницы, определяющих параметры и режимы работы уборочных машин // Ресурсосберегающие технологии: возделывание и переработка сельскохозяйственных культур: сб. научных трудов Международной научно-технической конференции: «Ресурсосберегающие технологии и инновационные проекты в АПК» (14–15 апреля 2009 г., Зерноград). Зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2009. С. 209–215.

References

1. Metodika opredeleniya ekonomiceskoy effektivnosti tekhnologiy i sel'skokhozyaystvennoy tekhniki. Ch. II. Normativno-spravochnyy material [Methods for determining the economic efficiency of technology and agricultural machinery. Part II. Reference material]. Moscow: MSKh i P RF Publ., 1998. 251 p.
2. Bur'yanov A.I., Bur'yanov M.A., Kostylenko O.A. The results of studies to determine the effect of the duration of harvesting on the magnitude of biological losses of grain. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2015. No 11, pp. 11–14 (in Russ.).
3. Bur'yanov M.A., Chernyakov I.V. Methods and means for determining the magnitude of grain losses during the harvesting of grain crops of stripping crops by a combing header. Razrabotka innovatsionnykh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv dlya APK: sb. nauchnykh trudov 8-y Mezhdunarodnoy nauchno-teknicheskoy konferentsii [Development of innovative technologies and technical means for agroindustrial complex: coll. of scientific works of the 8th International Scientific and Technical Conference]. Zernograd: VNIPTIMESKh, 2013, pp. 134–140 (in Russ.).
4. Bur'yanov M.A., Bur'yanov A.I., Kostylenko O.A. The method of justifying the parameters of the fairing of a single-drum combing header. Traktory i sel'khozmashiny. 2015. No 7, pp. 19–23 (in Russ.).
5. Bur'yanov M.A., Bur'yanov A.I., Kostylenko O.A. The method of mathematical modeling of interaction of plants of grain crops with a combing reel drum. Traktory i sel'khozmashiny. 2015. No 9, pp. 19–22 (in Russ.).
6. Bur'yanov M.A., Bur'yanov A.I., Chernyakov I.V. Method of mathematical modeling of the process of grain movement in the transport channel of the combing header. Traktory i sel'khozmashiny. 2015. No 10, pp. 27–30 (in Russ.).
7. Bur'yanov, M.A. Parametry i rezhimy protsessa ochesa zernovykh kul'tur navesnoy na kombayn zhatkoy: dis. ... kand. tekhn. nauk [Parameters and regimes of the process of combing grain crops hinged on the combine harvester: dissertation for degree of Candidate of Technical Sciences]. Zernograd, 2011. 184 p.
8. Ganeev V.A. Resistance to shattering (in Russ.). URL: <http://fitonsemena.ru/page/page155.html> (accessed 09.12.2014).
9. Structure of the harvest of winter wheat: Agriculture from «A» to «Z» (in Russ.). URL: <http://racechrono.ru/vidy-parov/4403-struktura-urozhayaya-ozimoy-pshenicy.html>. (accessed 09.12.2014).

10. Spravochnik konstruktora sel'skokhozyaystvennykh mashin [Reference book of the designer of agricultural machines]: v 2 t. Vol. 1. Pod red. A.V. Krasnichenko. Moscow: Mashgiz Publ., 1962. 655 p.
11. Spravochnik konstruktora sel'skokhozyaystvennykh mashin [Reference book of the designer of agricultural machines]: v 2 t. Vol. 2. Pod red. A.V. Krasnichenko. Moscow: Mashgiz Publ., 1962. 862 p.
12. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Al'yans Publ., 2014. 351 p.
13. Voronyuk B.A., P'yankov A.I., Mil'tseva L.V. i dr. Fiziko-mekhanicheskie svoystva rasteniy, pochv i udobreniy [Physical and mechanical properties of plants, soils and fertilizers]. Moscow: Kolos Publ., 1970. 423 p.
14. Bur'yanov A.I., Bur'yanov M.A., Kostylenko O.A. Investigation of morphological and physicomechanical properties of winter wheat plants that determine the parameters and operating modes of harvesting machines. Resursosberегayushchie tekhnologii: vozdelyvanie i pererabotka sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: sb. nauchnykh trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii: «Resursosberегayushchie tekhnologii i innovatsionnye proekty v APK» (14–15 aprelya 2009 g., Zernograd) [Resource-saving technologies: cultivation and processing of agricultural crops: coll. of scientific works of the International scientific and technical conference: «Resource-saving technologies and innovative projects in the agro-industrial complex» (April 14–15, 2009, Zernograd)]. Zernograd: VNIPTIMESKh Publ., 2009, pp. 209–215 (in Russ.).

ВЫБОР УНИВЕРСАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЯ ПРИ СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКЕ

THE CHOICE OF UNIVERSAL MEASURING INSTRUMENTS FOR MONITORING THE CYLINDER LINERS OF THE ENGINE DURING SELECTIVE ASSEMBLY

О.А. ЛЕОНОВ, д.т.н.
У.Ю. АНТОНОВА

РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия,
ulkabr07@mail.ru

О.А. LEONOV, DSc in Engineering
U.YU. ANTONOVA

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev
Agricultural Academy, Moscow, Russia, ulkabr07@mail.ru

Вопросы обеспечения качества единичного и мелкосерийного машиностроительного производства, в том числе ремонта машин, в настоящее время являются актуальными в силу ряда объективных и субъективных факторов, которые связаны с культурой проектирования и производства машин. Целью исследования является изучение вопроса влияния погрешности измерений на формирование рассеяния размеров гильз цилиндров двигателя ЯМЗ при селективной сборке с учетом выявления количества неправильно принятых и неправильно забракованных деталей, а также определение вероятностной величины выхода измеряемого параметра за каждую границу допуска у неправильно принятых изделий. Выбор средств измерений для обеспечения необходимой точности является комплексной задачей и должен проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ 8.051-81 и РД 50-98-86. Для анализа формирования распределения размеров в процессе селективной сборки гильз цилиндров двигателей ЯМЗ были выбраны нутромеры индикаторные с ценой деления отсчетного устройства 0,001 мм, первый настраивался по концевым мерам 1 класса (погрешность 6,5 мкм), а второй настраивался по установочным кольцам (погрешность 4 мкм). Анализ полученных данных по рассеянию размеров свидетельствует о том, что процесс обработки гильзы можно считать неудовлетворительным, так как имеется исправимый брак – 4 % и неисправимый брак – 2 %, зона рассеяния смешена в сторону исправимого брака, что характеризует хорошую квалификацию рабочих, выполняющих данную операцию. При использовании нутромера с погрешностью 6,5 мкм количество неправильно вышедших из группы или забракованных деталей на 4,95 % больше, а количество неправильно принятых деталей на 4,7 % больше, чем при использовании нутромера с погрешностью 4 мкм. Таким образом, при выборе средства измерений для контроля качества обработки гильз цилиндров двигателей ЯМЗ в условиях единичного, мелкосерийного и ремонтного производства из предлагаемой номенклатуры универсальных средств измерений линейных размеров следует использовать самое точное – нутромер индикаторный с ценой деления отсчетного устройства 0,001 мм при настройке по установочным кольцам. Это приведет к значительному снижению количества неправильно принятых в группу и неправильно вышедших из группы или забракованных деталей, что, в свою очередь, отразится не только на качестве последующей сборки соединения, но и на экономике предприятия.

Ключевые слова: точность, допуск, погрешность средства измерений, селективная сборка, гильза цилиндра, неправильно забракованные и неправильно принятые изделия.

The issues of ensuring the quality of single and small-scale machine-building production, including machine repairs, are currently relevant due to a number of objective and subjective factors that are related to the culture of designing and manufacturing machines. The purpose of the research is to study the influence of the measurement error on the formation of the scattering of the cylinder liner sizes of the YaMZ engine during selective assembly, taking into account the number of incorrectly received and incorrectly rejected parts, as well as determining the probabilistic value of the output of the measured parameter for each tolerance limit for incorrectly accepted products. The choice of measuring instruments to ensure the necessary accuracy is a complex task and should be carried out in accordance with the requirements of GOST 8.051-81 and RD 50-98-86. To analyze the formation of the size distribution in the process of selective assembly of the cylinder liners of YaMZ engines, the indicator gauges were selected with a value of 0,001 mm, the first was adjusted for the end measures of class 1 (error of 6.5 micrometers), and the second was tuned to the mounting rings . An analysis of the data obtained on the scattering of dimensions indicates that the process of processing the liner can be considered unsatisfactory, since there is a correctable defective products of 4 % and an unrecoverable defective products of 2 %, the scattering zone is shifted toward corrected defective products, which characterizes the good qualifications of the workers performing this operation. When using a caliper with an accuracy of 6,5 micrometers number incorrectly, or out-of-band defective parts on more than 4,95 %, and the number of incorrectly received parts of 4,7 % more than when using a caliper with an accuracy of 4 micrometers. Thus, when choosing a measuring instrument to control the quality of the cylinder liners of YaMZ engines under the conditions of a single, small-scale and repair production, the most precise one should be used from the proposed nomenclature of universal measuring instruments of linear dimensions, with a sampling unit 0,001 mm in value for setting rings. This will lead to a significant decrease in the number of incorrectly accepted groups and incorrectly left from the group or rejected parts, which in turn will affect not only the quality of the subsequent assembly of the connection, but also the economy of the enterprise.

Keywords: accuracy, tolerance, measurement instrument error, selective assembly, cylinder liner, incorrectly rejected and incorrectly received products.

Введение

Качество единичного и мелкосерийного машиностроительного производства, в том числе ремонта машин [1], в настоящее время низкое в силу ряда объективных факторов [2], которые связаны с культурой проектирования и производства, заложенной еще при социализме [3]. Требуемая точность посадок в сборочных единицах техники, выраженная квалитетами [4], не обеспечивается реальным технологическим оборудованием как при единичном производстве, так и при ремонте машин [5]. Требования к метрологическому обеспечению работ в машиностроении и при техническом обслуживании и ремонте машин постоянно совершенствуются и в настоящее время представляют собой комплекс мероприятий, которые направлены на обеспечение единства измерений и требуемой точности [6]. Соблюдение точности измерений приводит к снижению таких составляющих затрат на качество [7], как затраты на измерения [8], потери от внутреннего и внешнего брака [9]. Но в номенклатуре универсальных средств измерений, которые широко применяются в единичном и мелкосерийном производстве и при ремонте машин, присутствуют обычно несколько приборов, которые удовлетворяют указанным требованиям [10]. Возникает вопрос, какое из них нужно выбрать, особенно для такого ответственного процесса, как сортировка по группам селекции обработанных под ремонтный размер гильз цилиндров.

Цель исследований

Целью исследования является изучение вопроса влияния погрешности измерений на формирование рассеяния размеров гильз цилиндров двигателя ЯМЗ при селективной сборке с учетом выявления количества неправильно принятых и неправильно забракованных деталей, а также определение вероятностной величины выхода измеряемого параметра за каждую границу допуска у неправильно принятых изделий.

Существующие методики

Выбор средств измерений (СИ) для обеспечения необходимой точности является комплексной задачей и должен проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ 8.051-81 и РД 50-98-86 [11].

СИ выбирают с учетом метрологических и экономических факторов [12]. На выбор СИ влияет и программа производства [13]. Для массового производства обычно применяют оригинальные высокопроизводительные СИ с высокой степенью автоматизации и роботизации, а для мелкосерийного и единичного – универсальные СИ.

Рассеяние погрешности измерения накладывается на зону рассеяния действительных размеров, и возникает неопределенность при принятии решения – годное изделие или бракованное. Под влияние наложения рассеяний попадают действительные размеры изделия, которые находятся около границ поля допуска. Взаимосвязь между допуском T , параметрами рассеяния действительных размеров изделия (зоной рассеяния ω_{tex} и среднеквадратическим отклонением σ_{tex}) и рассеянием самой погрешности измерения Δ при распределении их по закону нормального распределения представлена на рис. 1.

Конкретное СИ выбирают из таблиц так, чтобы предельная погрешность измерения Δ_{lim} была не более допускаемой нормируемой погрешности измерения Δ [14]:

$$\Delta_{\text{lim}} \leq \Delta. \quad (1)$$

Влияние погрешности измерения на результаты разбраковки оценивают следующими параметрами (рис. 1) [15]:

- m (m_1) – число неправильно принятых изделий в процентах от общего числа измеренных (числа принятых);

- n (n_1) – число неправильно забракованных изделий в процентах от общего числа измеренных (числа годных);

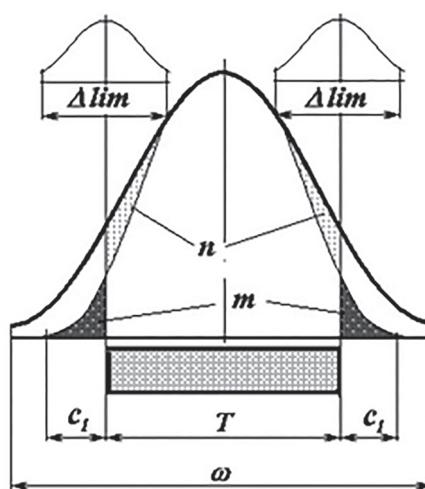


Рис. 1. Схема контроля

– $c(c_1)$ – вероятностная величина выхода измеряемого параметра за каждую границу допуска у неправильно принятых изделий (от числа принятых деталей).

Наиболее целесообразно в расчетах использовать относительную величину [15]:

$$A_{\text{мет}}(\sigma) = (\sigma_{\text{мет}} / T) \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где $A_{\text{мет}}(\sigma)$ – относительная погрешность измерения (коэффициент точности измерений); $\sigma_{\text{мет}}$ – среднеквадратическое отклонение погрешности измерения $\sigma_{\text{мет}} = \Delta \lim / 2$; T – допуск контролируемого параметра.

Средства и методы исследований

Для анализа формирования распределения размеров в процессе селективной сборки гильз цилиндров двигателей ЯМЗ были выбраны следующие средства измерений:

– нутромер индикаторный (НИ) с ценой деления отсчетного устройства 0,001 мм при настройке по концевым мерам 1 класса $\Delta \lim_{(1)} = \pm 6,5 \text{ мкм}$;

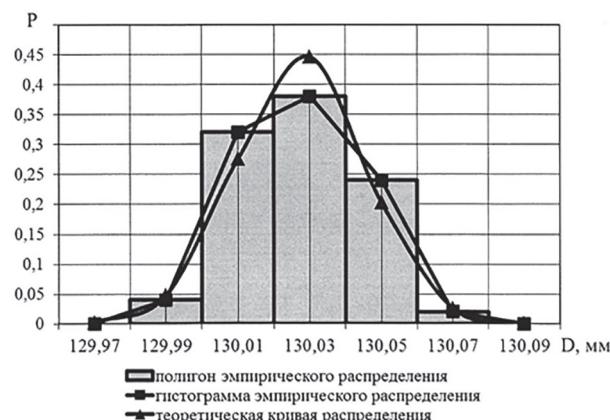


Рис. 2. Рассеяние размеров отверстий гильз цилиндров двигателя ЯМЗ диаметром $D = 130^{+0,06} \text{ мм}$

– нутромер индикаторный (НИ) с ценой деления отсчетного устройства 0,001 мм при настройке по установочным кольцам $\Delta \lim_{(2)} = \pm 4 \text{ мкм}$.

Гильзы цилиндров измерялись в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и в двух сечениях – в верхнем и нижнем. Высчитывался средний размер, который принимался как действительный размер детали.

Определение количества неправильно забракованных деталей от количества годных, количества неправильно принятых деталей от количества принятых, предельной величины выхода размера за границу поля допуска производились по методике, описанной в работе [15].

Результаты и обсуждение

В начале исследований был произведен замер партии гильз цилиндров в количестве 100 штук. Результаты измерений представлены в виде гистограммы, полигона и теоретической кривой распределения на рис. 2.

Анализ полученных данных представлен в табл. 1, откуда видно, что процесс обработки гильзы можно считать неудовлетворительным, так как имеется определенное количество исправимого брака – 4 % и неисправимого брака – 2 %, зона рассеяния смещена в сторону исправимого брака, что характеризует хорошую квалификацию рабочих, выполняющих данную операцию.

Среднеквадратическое отклонение погрешности измерения для СИ1:

$$\sigma_{\text{мет}(1)} = \frac{\Delta \lim_{(1)}}{2} = \frac{6,5}{2} = 3,25 \text{ мкм.}$$

Среднеквадратическое отклонение погрешности измерения для СИ2:

$$\sigma_{\text{мет}(2)} = \frac{\Delta \lim_{(2)}}{2} = \frac{4}{2} = 2 \text{ мкм.}$$

Таблица 1

Распределение количества деталей по группам селекции

Группа	Размер с отклонениями	Количество деталей	Теоретическая вероятность
I	$130^{+0,02} \text{ мм}$	32	0,274
II	$130^{+0,04}_{-0,02} \text{ мм}$	38	0,446
III	$130^{+0,06}_{-0,04} \text{ мм}$	24	0,202
Исправимый брак	Менее 130,00 мм	4	0,047
Неисправимый брак	Более 130,06 мм	2	0,025

По методике, изложенной в работе [15], определено количество неправильно забракованных деталей (n , %) от количества годных, количество неправильно принятых деталей (m , %) от количества принятых и предельную величину выхода размера за границу поля допуска (c , мкм).

Полученные данные сведены в табл. 2

Из табл. 2 видно, что в результате действия погрешности измерений при измерении нутромером НИ-160-0,001 при настройке по концевым мерам 1 кл. с погрешностью 6,5 мкм:

- часть деталей – 4,75 % из годных второй группы попадает в третью, а другая часть – 4 % – из третьей во вторую;
- часть деталей – 7,6 % из годных второй группы попадает в первую, а из первой во вторую попало 7,7 % деталей;
- в исправимый брак неправильно забракованных деталей попало 1,9 %;
- в неисправимый брак неправильно забракованных попало 0,45 % деталей;
- количество неправильно принятых деталей (попавших из брака в годные) в первой группе 1,35 %, в третьей – 0,2 %.

Суммарное количество неправильно принятых в группу деталей составило 13,25 %, неправильно вышедших из группы или забракованных – 14,7 %. Наибольшая величина выхода измеряемого параметра за границу допуска $c = 2,28$ мкм.

В результате действия погрешности измерений при измерении нутромером НИ-160-0,001 при настройке по установочным кольцам 1 кл. с погрешностью 4 мкм:

- из первой группы во вторую попало 5 % деталей;
- из второй группы в первую – 5,25 % деталей;

– из второй группы в третью попало 2,85 %, из третьей во вторую – 2,9 %;

– неправильно принятых деталей в первой группе составило 0,45 % деталей, в третьей – 0,2 %;

– в исправимый брак неправильно забракованных деталей попало 1,25 % деталей, в неисправимый брак – 0,4 %.

Суммарное количество неправильно принятых деталей составило 8,55 %, неправильно вышедших из группы или забракованных – 9,75 %.

Наибольшая величина выхода измеряемого параметра за границу допуска $c = 1,75$ мкм.

Таким образом, при использовании средства измерения с погрешностью 6,5 мкм количество неправильно вышедших из группы или забракованных деталей на 4,95 % больше, количество неправильно принятых деталей на 4,7 % больше, чем при использовании средства измерения с погрешностью 4 мкм.

В технических требованиях на капитальный ремонт двигателей ЯМЗ для контроля обработки гильз цилиндров под ремонтный размер предлагается использовать нутромер индикаторный (НИ) с ценой деления отсчетного устройства 0,01 мм, и при настройке по установочным кольцам будет погрешность $\Delta lim = \pm 10$ мкм, а по концевым мерам $-\Delta lim = \pm 15$ мкм. При таких значениях погрешностей количество неправильно принятых деталей и неправильно вышедших из группы или забракованных возрастет минимум в два раза.

Выводы

Таким образом, при выборе средства измерений для контроля качества обработки гильз цилиндров двигателей ЯМЗ в условиях единичного, мелкосерийного и ремонтного

Таблица 2

**Определение параметров разбраковки гильз цилиндров
при использовании нутромера индикаторного с различной точностью настройки**

Расстояние от середины поля допуска до границы соответствующей группы $2t$, мм	Коэффициент точности измерений $A_{\text{мет}}$, %		Количество неправильно забракованных деталей n , %		Количество неправильно принятых деталей m , %		Величина выхода измеряемого параметра за границу допуска c , мм	
	СИ1	СИ2	СИ1	СИ2	СИ1	СИ2	СИ1	СИ2
0,0152	21,38	13,16	7,6	5,25	7,7	5	0,00228	0,001748
0,0248	13,10	8,06	4,75	2,85	4	2,9	0,002852	0,001488
0,0552	5,88	3,62	1,9	1,25	1,35	0,45	0,00207	0,001932
0,0648	5,01	3,09	0,45	0,4	0,2	0,2	0,0015552	0,001555
Сумма	–	–	14,7	9,75	13,25	8,55	–	–

производства из предлагаемой номенклатуры универсальных средств измерений линейных размеров следует использовать самое точное – нутромер индикаторный (НИ) с ценой деления отсчетного устройства 0,001 мм при настройке по установочным кольцам, при этом погрешность измерений будет наименьшая: ± 4 мкм. Это приведет к значительному снижению количества неправильно принятых в группу и не правильно вышедших из группы или забракованных деталей, что, в свою очередь, отразится не только на качестве последующей сборки соединения, но и на экономике предприятия.

Литература

1. Леонов О.А., Бондарева Г.И., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. Качество сельскохозяйственной техники и контроль при ее производстве и ремонте // Тракторы и сельхозмашини. 2016. № 3. С. 30–32.
2. Ерохин М.Н., Леонов О.А. Особенности обеспечения качества ремонта сельскохозяйственной техники на современном этапе // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2005. № 1. С. 9–12.
3. Бондарева Г.И. и др. Составляющие качества ремонта // Сельский механизатор. 2016. № 7. С. 2–4.
4. Бондарева Г.И. и др. Изменения в стандарте единой системы допусков и посадок // Тракторы и сельхозмашини. 2016. № 12. С. 39–42.
5. Леонов О.А., Селезнева Н.И. Технико-экономический анализ состояния технологического оборудования на предприятиях технического сервиса в агропромышленном комплексе // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2012. № 5. С. 64–67.
6. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж. Управление качеством метрологического обеспечения предприятий // Сборник научных докладов ВИМ. 2012. Т. 2. С. 412–420.
7. Бондарева Г.И. и др. Эффективность внедрения системы качества на предприятиях технического сервиса АПК // Сельский механизатор. 2016. № 4. С. 34–35.
8. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж. Расчет затрат на контроль технологических процессов ремонтного производства // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2004. № 5. С. 75–77.
9. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж. Исследование затрат и потерь при контроле шеек коленчатого вала в условиях ремонтного производства // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2013. № 2. С. 71–74.
10. Шкаруба Н.Ж. Технико-экономические критерии выбора универсальных средств измерений при ремонте сельскохозяйственной техники. М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2009. 118 с.
11. Леонов О.А., Карпузов В.В., Шкаруба Н.Ж., Кисенков Н.Е. Метрология, стандартизация и сертификация. М.: Издательство КолосС, 2009. 568 с.
12. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж. Результаты экономической оптимизации выбора средств измерений при контроле качества технологических процессов в ремонтном производстве // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2007. № 5. С. 109–112.
13. Шкаруба Н.Ж. Разработка комплексной методики выбора средств измерений линейных размеров при ремонте сельскохозяйственной техники: дисс. ... канд. техн. наук. Москва, 2006. 156 с.
14. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж. Алгоритм выбора средств измерений для контроля качества по технико-экономическим критериям // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2012. № 2. С. 89–91.
15. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Темасова Г.Н. Курсовое проектирование по метрологии, стандартизации и сертификации. М.: МГАУ, 2011. 120 с.

References

1. Leonov O.A., Bondareva G.I., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G. Quality of agricultural machinery and control in its production and repair. Traktory i sel'khozmashiny. 2016. No 3, pp. 30–32 (in Russ.).
2. Erokhin M.N., Leonov O.A. Features of ensuring the quality of repair of agricultural machinery at the present stage. Vestnik FGOU VPO MGAU. 2005. No 1, pp. 9–12 (in Russ.).
3. Bondareva G.I. i dr. Components of quality of repair. Sel'skiy mekhanizator. 2016. No 7, pp. 2–4 (in Russ.).
4. Bondareva G.I. i dr. Changes in the standard of the uniform system of tolerances and landings. Traktory i sel'khozmashiny. 2016. No 12, pp. 39–42 (in Russ.).
5. Leonov O.A., Selezneva N.I. Technical and economic analysis of the condition of technological equipment at technical service enterprises in the agro-industrial complex. Vestnik FGOU VPO MGAU. 2012. No 5, pp. 64–67 (in Russ.).
6. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. Quality management of metrological support of enterprises. Sbornik nauchnykh dokladov VIM. 2012. Vol. 2, pp. 412–420 (in Russ.).
7. Bondareva G.I. i dr. Efficiency of quality system introduction at the enterprises of technical service of agroindustrial complex. Sel'skiy mekhanizator. 2016. No 4, pp. 34–35 (in Russ.).
8. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. Calculation of costs for the control of technological processes of repair

- production. Vestnik FGOU VPO MGAU. 2004. No 5, pp. 75–77 (in Russ.).
9. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. Investigation of costs and losses in the control of the crankshaft necks in the conditions of repair production. Vestnik FGOU VPO MGAU. 2013. No 2, pp. 71–74 (in Russ.).
10. Shkaruba N.Zh. Tekhniko-ekonomiceskie kriterii vybora universal'nykh sredstv izmereniy pri remonte sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Technical and economic criteria for selecting universal measuring instruments for the repair of agricultural machinery]. Moscow: FGOU VPO MGAU, 2009. 118 p.
11. Leonov O.A., Karpuzov V.V., Shkaruba N.Zh., Kisenkov N.E. Metrologiya, standartizatsiya i sertifikatsiya [Metrology, standardization and certification]. Moscow: Izdatel'stvo KolosS Publ., 2009. 568 p.
12. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. The results of economic optimization of the choice of measuring instruments for quality control of technological processes in the repair industry. Vestnik FGOU VPO MGAU. 2007. No 5, pp. 109–112 (in Russ.).
13. Shkaruba N.Zh. Razrabotka kompleksnoy metodiki vybora sredstv izmereniy lineynykh razmerov pri remonte sel'skokhozyaystvennoy tekhniki: diss. ... kand. tekhn. nauk [Development of a comprehensive methodology for selecting linear measuring instruments for the repair of agricultural machinery: dissertation for degree of Candidate of Technical Sciences]. Moskva, 2006. 156 p.
14. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. Algorithm for selecting measuring instruments for quality control according to technical and economic criteria. Vestnik FGOU VPO MGAU. 2012. No 2, pp. 89–91 (in Russ.).
15. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Temasova G.N. Kursovoe proektirovanie po metrologii, standartizatsii i sertifikatsii [Course work for metrology, standardization and certification]. Moscow: MGAU Publ., 2011. 120 p.

УДК 631.3

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

TECHNICAL CHARACTERISTICS AND AGROTECHNICAL INDICES OF WORK OF TILLAGE MACHINES

А.Ю. НЕСМИЯН, к.т.н.Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ, Зерноград, Россия,
nesmiyan.andrei@yandex.ru**A.YU. NESMIYAN, PhD in Engineering**

Azov-Black Sea Engineering Institute of Don State Agrarian University, Zernograd, Russia, nesmiyan.andrei@yandex.ru

В исследовании представлены результаты анализа характеристик современных тракторов и почвообрабатывающих орудий. Полученные данные позволяют оценивать энергетические, экономические, технические и маневровые показатели соответствующих агрегатов и могут быть использованы в качестве исходной информации при расчете рационального состава машинно-тракторного парка аграрных предприятий. Установлено, что зависимости и массы тракторов и мощности их двигателей от тягового усилия могут быть с высокой точностью описаны линейными уравнениями. В среднем масса гусеничных тракторов на 11 %, а мощность двигателей на 27 % меньше, чем у соответствующих колесных. Однако при более высоком тяговом коэффициенте полезного действия и низком давлении на почву гусеничные тракторы менее маневренны, универсальны и, главное, менее эргономичны, что сдерживает их широкое применение. При рациональном агрегатировании такие характеристики работы почвообрабатывающих агрегатов, как рабочая скорость, удельный расход топлива, коэффициент использования времени смены, фактически не зависят от тягового класса трактора. С увеличением тягового класса трактора удельная металлоемкость агрегатируемого с ним орудия возрастает. Разница особенно заметна на примере комбинированных орудий и «краторов», для которых гипотетический переход от трактора класса 1,4 к трактору класса 8 привел к возрастанию расчетной удельной материалоемкости в 3,7 и 3,4 раза соответственно. Приращение же производительности при увеличении класса трактора в большинстве случаев происходит с запаздыванием. Это позволяет заключить, что единственным преимуществом внедрения широкозахватных агрегатов является сокращение необходимого количества операторов. По остальным показателям агрегат с широкозахватным орудием не имеет преимуществ перед группой агрегатов с орудиями идентичной суммарной ширины захвата.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, почвообрабатывающее орудие, техническая характеристика, протоколы испытаний, анализ, удельный расход топлива, мощность двигателя, масса, производительность, тяговый класс трактора, агротехнические показатели работы.

The study presents the results of analysis of the characteristics of modern tractors and tillage tools. The data obtained make it possible to assess the energy, economic, technical and shunting indices of the relevant aggregates, and can be used as a starting point in calculating the rational composition of the machine and tractor fleet of agrarian enterprises. It is established that the dependencies and masses of tractors and the power of their engines on traction can be described with high accuracy by linear equations. On average, the mass of tracked tractors is 11 %, and the engine power is 27 % smaller than that of the corresponding wheeled tractors. However, with a higher traction coefficient and low pressure on the soil, caterpillar tractors are less maneuverable, universal and, most importantly, less ergonomic, which hampers their wide application. With rational aggregation, such characteristics of the work of soil-cultivating units as working speed, specific fuel consumption, the utilization factor of the shift time do not actually depend on the traction class of the tractor. With an increase in the traction class of the tractor, the specific metal consumption of the implements being mounted with it increases. The difference is especially noticeable in the case of combined guns and «craters», for which a hypothetical transition from a class 1.4 tractor to a class 8 tractor led to an increase in the estimated specific material consumption by 3,7 and 3,4 times, respectively. The increase in productivity with the increase in the tractor class in most cases occurs with a delay. This allows us to conclude that the only advantage of introducing wide-angle aggregates is the reduction of the required number of operators. For the rest of the parameters, the machine with a wide-cut implement has no advantage over a group of machines with tools of identical total width.

Keywords: machine-tractor unit, soil-cultivating tool, technical characteristics, test reports, analysis, specific fuel consumption, engine power, mass, productivity, tractor traction class, agrotechnical performance.

Введение

Машинно-тракторные агрегаты – сложные многомерные динамические системы [1–3], условия функционирования которых носят вероятностный характер. Поэтому наиболее полную и достоверную информацию об их характеристиках и показателях работы можно получить только на основе экспериментальных данных.

Цель исследования

Цель представленного исследования – выявление основных технических характеристик и агротехнических показателей работы применяемых в полеводстве тракторов и почвообрабатывающих орудий.

Материалы и методы

Исследование проводилось в два этапа.

На первом этапе был проведен сбор и анализ информации фирм-производителей [4–10] об основных технических характеристиках 156 колесных и 36 гусеничных отечественных и зарубежных тракторов. При этом основное внимание уделялось зависимости массы m и мощности $N_{\text{двс}}$ двигателей современных тракторов от их номинального тягового усилия.

На втором этапе был проведен анализ протоколов испытаний 221 отечественной машины и орудия, проходивших сертификацию на машиноиспытательных станциях страны с 2000 года [10]. При этом, были рассмотрены следующие технические средства (ед.): отвальные плуги – 53; дисковые бороны – 40; паровые культиваторы – 34; стерневые и тяжелые культиваторы – 26; комбинированные орудия – 18; плоскорезы-глубокорыхлители, чизельные культиваторы и

агрегаты для глубокой обработки почвы – 18; чизельные плуги – 16; пружинные (зубовые) бороны – 8; дисковые лущильники – 3; «кроторы» – 3; игольчатые бороны-мотыги – 2.

Результаты и их обсуждение

Некоторые усредненные эмпирические данные о массе m и мощности $N_{\text{двс}}$ двигателей современных тракторов в зависимости от их расчетного номинального тягового усилия представлены на рис. 1 и 2. Следует отметить, что промышленностью практически не производятся гусеничные тракторы ниже класса 3, поэтому в приводимый анализ подобные машины включены не были.

Анализ данных рис. 1 и 2 показал, что зависимости и массы тракторов и мощности их двигателей от тягового усилия с точностью 96,2–99,6 % могут быть выражены линейными уравнениями. При этом следует отметить высокую вероятность использования на сельскохозяйственных тракторах двигателей мощностью 180–200 кВт, приведшую к перегибу соответствующих функций в диапазоне номинальных тяговых усилий 40–60 кН. В среднем масса гусеничных тракторов на 11 %, а мощность двигателей на 27 % меньше, чем у колесных тракторов соответствующего тягового класса. Это обусловлено более высоким тяговым КПД гусеничных тракторов по сравнению с колесными, что обеспечивает их производительную и экономичную работу. Они меньше уплотняют почву, более проходимы, но менее маневренны, не могут двигаться по улучшенным дорогам, менее универсальны и, главное, менее эргономичны, что сдерживает их широкое применение в сельскохозяйственном производстве.

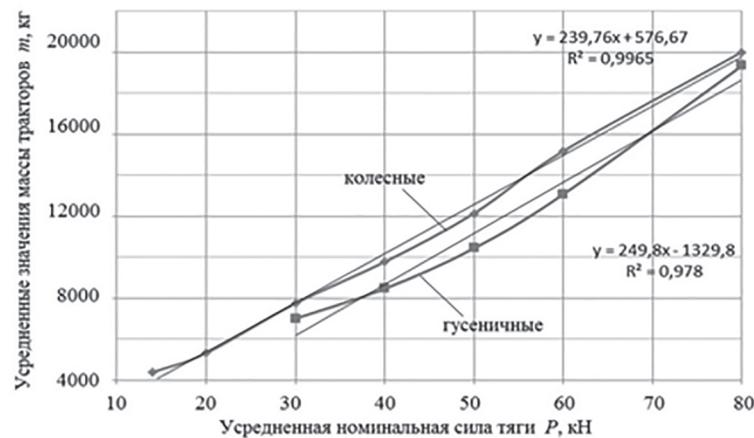


Рис. 1. Зависимости массы тракторов от номинального тягового усилия

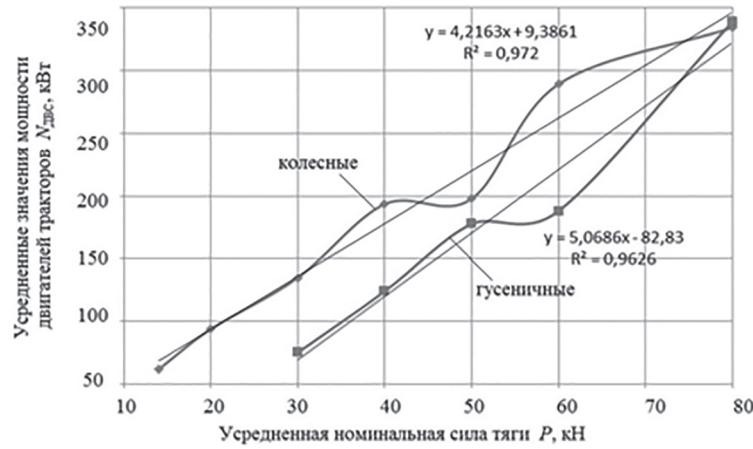


Рис. 2. Зависимости мощности двигателя от номинальной силы тяги трактора

Результаты дальнейшего анализа позволили установить, что при рациональном агрегатировании такие экономические и эксплуатационные характеристики работы почвообрабатывающих агрегатов, как рабочая скорость, удельный расход топлива, коэффициент использования времени смены (табл. 1), определяются видом выполняемой операции и условиями работы [10] и фактически не зависят от тягового класса используемого трактора.

Приведенные в табл. 1 данные позволяют охарактеризовать показатели работы агрегатов, не зависящие от тягового класса используемых тракторов. Так, например, можно заключить, что вопреки распространенному мнению чизелевание является почти на 10 % более энергоемкой операцией, чем отвальная вспашка (с учетом разницы глубины обработки). Также из данных таблицы видно, что применение роторных культиваторов («круто-

Таблица 1
Некоторые эксплуатационные характеристики работы МТА (по данным протоколов испытаний МИС РФ) [10]

Орудия	Средняя глубина a , см	Показатель	Удельный расход топлива, кг/га	Рабочая скорость, км/ч	Коэффициент использования времени смены
1. Плуги отвальные	24	M	15,9	8,1	0,74
		σ	3,2	0,9	0,05
		max	28,2	12,0	0,96
		min	7,2	4,8	0,61
2. Культиваторы чизельные, плоскорезы	22	M	12,2	8,6	0,73
		σ	3,7	1,1	0,04
		max	22,6	12,5	0,79
		min	6,9	6,5	0,66
3. Плуги чизельные	37	M	17,4	7,2	0,75
		σ	2,8	0,9	0,05
		max	25,9	9,5	0,83
		min	12,6	5,1	0,63
4. Дискаторы и дисковые бороны	11	M	7,8	10,2	0,74
		σ	2,8	1,9	0,05
		max	14,8	15,2	0,90
		min	3,6	6,7	0,65
5. Комбинированные орудия	12	M	8,0	9,0	0,70
		σ	2,3	1,2	0,07
		max	14,8	12,1	0,85
		min	3,9	6,9	0,55

Окончание таблицы 1

Орудия	Средняя глубина a , см	Показатель	Удельный расход топлива, кг/га	Рабочая скорость, км/ч	Коэффициент использования времени смены
6. Стерневые и тяжелые культиваторы	12	М	7,1	8,7	0,74
		σ	1,2	1,4	0,04
		max	11,1	11,9	0,81
		min	4,2	4,8	0,67
7. Паровые культиваторы	9	М	4,1	9,0	0,73
		σ	1,0	1,1	0,04
		max	6,9	12,4	0,80
		min	2,5	6,0	0,63
8. Роторные культиваторы	9	М	3,7	10,3	0,65
		σ	0,6	1,3	0,04
		max	4,7	12,0	0,70
		min	2,7	8,3	0,59
9. Бороны-мотыги	4	М	2,2	11,7	*
		σ	1,0	1,7	*
		max	3,2	13,8	*
		min	1,1	10,0	*
10. Бороны зубовые (пружинные)	5	М	1,7	10,2	0,69
		σ	0,7	2,2	0,07
		max	4,6	15,0	0,78
		min	0,8	6,0	0,54

Принятые обозначения: М – среднее значение показателя; σ – среднеквадратическое отклонение показателя; max – максимальное значение показателя; min – минимальное значение показателя.

ров») в сравнении с классическими паровыми культиваторами позволяет снизить удельный расход топлива на 9,7 % и при этом увеличить рабочую скорость агрегата на 14,4 %. Кроме того, данные таблицы позволяют проводить сравнительную качественную оценку работы какого-либо конкретного почвообрабатывающего агрегата.

Последующая аппроксимация полученных исходных данных [10] позволила с точностью 0,93–0,99 выявить зависимости усредненных значений ширины захвата сельскохозяйственных машин (орудий), их удельной массы и удельного приведенного расхода топлива при выполнении некоторых основных почвообрабатывающих операций от тягового класса тракторов, с которыми они агрегатируются (табл. 2).

С использованием данных таблицы 2 были определены среднестатистические расчетные значения масс почвообрабатывающих орудий, агрегатируемых с тракторами различного тягового класса, и производительность соответствующих агрегатов за час эксплуатационного времени (табл. 3 и 4).

Совместный анализ табл. 2 и 3 позволил заключить, что с увеличением тягового

класса трактора удельная металлоемкость агрегатируемого с ним орудия возрастает. Например, удельная металлоемкость дисковой бороны к трактору класса 1,4 составляет около 660 кг/м, а бороны к трактору восьмого класса – 1078 кг/м. Разница особенно заметна на примере комбинированных орудий и «кроторов», для которых переход от трактора класса 1,4 к трактору класса 8 привел к возрастанию удельной материалоемкости в 3,7 и 3,4 раза соответственно. Кстати, возвращаясь к сравнительному анализу характеристик паровых культиваторов и «кроторов», – удельная материалоемкость роторных культиваторов оказалась в 1,82 раза больше, чем у классических.

Приращение производительности при увеличении класса трактора происходит нелинейно (табл. 4) – в большинстве случаев с запаздыванием. Так, например, для большинства агрегатов увеличение тягового класса в 4 раза (от второго к восьмому) привело к увеличению производительности в 3,1–3,6 раза. Исключение составили чизельные плуги, паровые культиваторы и пружинные бороны, у которых производительность выросла в 4,1–4,3 раза.

Таблица 2

Расчетные показатели почвообрабатывающих орудий

Орудия	Средняя глубина a , см	Тяговый класс трактора		
		Ширина, м	Удельная материалоемкость, кг/м	Удельный приведенный расход топлива, кг/(га·м)
1. Плуги отвальные	24	$y(x) = 0,513x + 0,397$	$y(x) = 33,86x + 606,3$	$y(x) = 17,91e^{-0,24x}$
2. Культиваторы чизельные, плоскорезы	22	$y(x) = 0,663x + 0,462$	$y(x) = 46,98x + 253,6$	$y(x) = 19,44e^{-0,36x}$
3. Плуги чизельные	37	$y(x) = 0,784x - 0,067$	$y(x) = 22,03x + 377,7$	$y(x) = 12,96e^{-0,20x}$
4. Дискаторы и дисковые бороны	11	$y(x) = 0,980x + 0,725$	$y(x) = 63,37x + 571,5$	$y(x) = 3,07e^{-0,13x}$
5. Комбинированные орудия (до 16 см)	12	$y(x) = 1,065x + 0,987$	$y(x) = 128,3x + 132,2$	$y(x) = 2,54e^{-0,11x}$
6. Стерневые и тяжелые культиваторы	12	$y(x) = 1,267x + 0,659$	$y(x) = 37,77x + 309,3$	$y(x) = 4,71e^{-0,29x}$
7. Паровые культиваторы	9	$y(x) = 1,886x + 1,337$	$y(x) = 56,47x + 159,2$	$y(x) = 1,2e^{-0,21x}$
8. Кроторы	9	$y(x) = 3,228x + 1,055$	$y(x) = 130,7x + 173,1$	$y(x) = 1,53e^{-0,38x}$
9. Бороны-мотыги	4	$y(x) = 7,687x - 5,162$		$y(x) = 3,57e^{-1,31x}$
10. Бороны зубовые (пружинные)	5	$y(x) = 8,562x - 1,627$	$y(x) = 55,21x + 26,1$	$y(x) = 0,16e^{-0,31x}$

Таблица 3

Расчетная масса почвообрабатывающих орудий, кг

Орудия	Тяговый класс трактора						
	1,4	2	3	4	5	6	8
1. Плуги отвальные	732,1	957,1	1373,3	1817,3	2295,8	2816,9	3947,3
2. Культиваторы чизельные, плоскорезы	443,9	622,1	966,6	1373,1	1846,5	2377,5	3631,9
3. Плуги чизельные	420,8	632,6	1016,3	1430,1	1878,2	2365,8	3440,0
4. Дискаторы и дисковые бороны	1386,5	1878,3	2795,1	3836,2	5001,4	6290,9	9242,4
5. Комбинированные орудия (до 16 см)	773,3	1213,1	2161,5	3388,4	4882,0	6656,8	11018,3
6. Стерневые и тяжелые культиваторы	880,1	1227,6	1884,8	2638,0	3482,1	4426,7	6603,8
7. Паровые культиваторы	948,3	1390,6	2300,3	3419,5	4755,5	6300,0	10032,0
8. Кроторы	1983,4	3263,1	6070,2	9721,7	14217,5	19548,1	32758,7
9. Бороны зубовые (пружинные)	1071,3	2116,2	4613,3	8055,5	12442,9	17779,2	31281,1

Таблица 4

Производительность почвообрабатывающих агрегатов за час эксплуатационного времени (расчетная), га/ч

Орудия	Средняя глубина a , см	Тяговый класс трактора						
		1,4	2	3	4	5	6	8
1. Плуги отвальные	24	0,66	0,83	1,14	1,44	1,74	2,04	2,64
2. Культиваторы чизельные, плоскорезы	22	0,90	1,16	1,59	2,02	2,46	2,89	3,75
3. Плуги чизельные	37	0,55	0,81	1,23	1,65	2,07	2,50	3,34
4. Дискаторы и дисковые бороны	11	1,58	2,02	2,76	3,49	4,23	4,96	6,44
5. Комбинированные орудия (до 16 см)	12	1,55	1,94	2,60	3,27	3,93	4,60	5,93
6. Стерневые и тяжелые культиваторы	12	1,57	2,06	2,88	3,70	4,52	5,34	6,98
7. Паровые культиваторы	9	2,64	3,39	4,64	5,89	7,14	8,38	10,88
8. Кроторы	9	3,72	5,02	7,18	9,33	11,49	13,64	17,96
9. Бороны зубовые (пружинные)	5	7,28	10,90	16,92	22,94	28,95	34,98	47,02

Совместный анализ табл. 2, 3 и 4 позволяет заключить, что единственным преимуществом применения в производстве широкозахватных агрегатов является сокращение необходимого количества операторов. По остальным показателям, опять же вопреки распространенному мнению, широкозахватное орудие не имеет преимуществ перед группой орудий идентичной суммарной ширины захвата.

Среднестатистические показатели качества работы некоторых почвообрабатывающих орудий представлены в табл. 5.

Данные табл. 5 свидетельствуют, что в целом усредненные показатели работы современных почвообрабатывающих орудий соответствуют критериям, предусмотренным агротехническими требованиями.

Выводы

Проведенный анализ характеристик современных тракторов и почвообрабатывающих орудий позволил сделать следующие выводы:

- зависимости массы тракторов и мощности их двигателей от тягового усилия могут быть с высокой точностью описа-

ны линейными уравнениями. В среднем масса гусеничных тракторов на 11 %, а мощность двигателей на 27 % меньше, чем у соответствующих колесных. Однако при более высоком тяговом КПД и низком давлении на почву гусеничные тракторы менее маневренны, универсальны и, главное, менее эргономичны, что сдерживает их широкое применение;

- при рациональном агрегатировании такие характеристики работы почвообрабатывающих агрегатов, как рабочая скорость, удельный расход топлива, коэффициент использования времени смены, фактически не зависят от тягового класса трактора. Наиболее энергоемкой является операция «чизелевание», наименее энергоемкой – обработка пружинными боронами. В целом полученные данные позволяют проводить сравнительную качественную оценку показателей работы орудий в производственных условиях;
- с увеличением тягового класса трактора удельная металлоемкость агрегатируемого с ним орудия возрастает. Разница

Таблица 5

Среднестатистические показатели качества работы некоторых почвообрабатывающих МТА

Орудие / Показатель	Средняя глубина обработки почвы, см	Среднеквадратическое отклонение от средней глубины обработки, см	Крошечные почвы, %	Гребнистость, см	Измельчение стерни и растительных остатков, %	Изменение содержания эроз.-опасных частиц, %	Повреждение культурных растений, %	Сохранение стерни на поверхности поля, %	Заделка стерни и растительных остатков, %
1. Плуги отвальные	23,7	1,2	80,7	4,6	*	*	*	*	96,7
2. Культиваторы чизельные, плоскорезы	22,1	2,2	69,2	5,5	*	-3,1	*	68,2	*
3. Плуги чизельные	36,9	1,6	76,3	5,1	*	-1,0	*	70,5	*
4. Дискаторы и дисковые бороны	11,3	2,0	83,6	3,5	50,6	*	*	*	67,0
5. Лущильники дисковые	8,3	1,8	94,8	*	*	*	*	*	*
6. Комбинированные орудия (до 16 см)	12,2	1,6	86,7	2,5	*	*	*	53,9	*
7. Стерневые и тяжелые культиваторы	11,9	1,5	85,8	3,8	*	-0,3	*	60,9	*
8. Паровые культиваторы	9,0	1,1	88,0	2,4	*	*	*	*	*
9. Кроторы	9,3	1,3	85,7	1,7	*	*	*	*	*
10. Бороны-мотыги	4,4	*	94,0	1,6	*	*	1,2	*	*
11. Бороны зубовые (пружинные)	5,2	0,9	87,7	1,6	*	*	1,8	*	*

особенно заметна на примере комбинированных орудий и «кроторов», для которых гипотетический переход от трактора класса 1,4 к трактору класса 8 привел к возрастанию расчетной удельной материальноемкости в 3,7 и 3,4 раза соответственно. Приращение же производительности при увеличении класса трактора в большинстве случаев происходит с запаздыванием. Это позволяет заключить, что единственным преимуществом внедрения широкозахватных агрегатов является сокращение необходимого количества операторов. По остальным показателям агрегат с широкозахватным орудием не имеет преимуществ перед группой агрегатов с орудиями идентичной суммарной ширины захвата;

- усредненные показатели работы современных почвообрабатывающих орудий в основном соответствуют агротребованиям.

Литература

1. Липкович Э.И. Аналитические основы системы машин. Ростов н/Д: Ростов. кн. изд-во, 1983. 112 с.
2. Камбулов С.И. Механико-технологические основы повышения уровня функционирования сельскохозяйственных агрегатов. Ростов н/Д: ООО «Терра Принт», 2006. 304 с.
3. Самсонов В.А., Зангиев А.А., Лачуга Ю.Ф., Дидманидзе О.Н.. Основы теории мобильных сельскохозяйственных агрегатов. М.: Колос, 2000. 248 с.
4. Case [Электронный ресурс]. URL: <http://www.case-rf.ru> (дата обращения: 02.10.2013 г.).
5. Производство тракторов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.agco.ru> (дата обращения: 02.10.2013 г.).
6. Экскаватор.ру [Электронный ресурс]. URL: <http://exkavator.ru/excapedia/producers/case> (дата обращения: 02.10.2013 г.).
7. John Deere [Электронный ресурс]. URL: <http://www.agroru.com> (дата обращения: 03.10.2013 г.).
8. Agrobiznes.ru [Электронный ресурс]. URL: <http://agrobiznes.ru/agro> (дата обращения: 03.10.2013 г.).
9. Нунгезер В.В., Лачуга Ю.Ф., Федоренко В.Ф. и др. Справочник инженера-механика сельскохозяйственного производства. Ч.1. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. 372 с.
10. База протоколов результатов испытаний сельскохозяйственной техники [Электронный ресурс]. URL: <http://sistemamis.ru/protocols> (дата обращения: 01.10.2013 г.).

References

1. Lipkovich E.I. Analiticheskie osnovy sistemy mashin [Analytical basis of the machine system]. Rostov n/D: Rostov. kn. izd-vo Publ., 1983. 112 p.
2. Kambulov S.I. Mekhaniko-tehnologicheskie osnovy povysheniya urovnya funktsionirovaniya sel'skokhozyaystvennykh agregatov [Mechanic-technological basis for increasing the level of functioning of agricultural units]. Rostov n/D: OOO «Terra Print» Publ., 2006. 304 p.
3. Samsonov V.A., Zangiev A.A., Lachuga Yu.F., Didmanidze O.N.. Osnovy teorii mobil'nykh sel'skokhozyaystvennykh agregatov [The fundamentals of the theory of mobile agricultural aggregates]. Moscow: Kolos Publ., 2000. 248 p.
4. Sase [Elektronnyy resurs] (in Russ.). URL: <http://www.case-rf.ru> (accessed 02.10.2013).
5. Proizvodstvo traktorov [Elektronnyy resurs] (in Russ.). URL: <http://www.agco.ru> (accessed: 02.10.2013).
6. Ekskavator.ru [Elektronnyy resurs] (in Russ.). URL: <http://exkavator.ru/excapedia/producers/case> (accessed 02.10.2013).
7. John Deere [Elektronnyy resurs] (in Russ.). URL: <http://www.agroru.com> (accessed 03.10.2013).
8. Agrobiznes.ru [Elektronnyy resurs] (in Russ.). URL: <http://agrobiznes.ru/agro> (accessed 03.10.2013).
9. Nungezer V.V., Lachuga Yu.F., Fedorenko V.F. i dr. Spravochnik inzhenera-mekhanika sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [Reference book of the engineer-mechanic of agricultural production]. Ch. 1. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh» Publ., 2011. 372 p.
10. Baza protokolov rezul'tatov ispytaniy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Elektronnyy resurs] (in Russ.). URL: <http://sistemamis.ru/protocols> (accessed 01.10.2013).