



ISSN 2078-7138

# АГРОПАНОРАМА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

**№ 4**  
**август**  
**2019**

*Техническое обеспечение технологий поливного земледелия в Республике Беларусь*

*Теоретические исследования процесса обработки семян сельскохозяйственных культур в пневмомеханическом протравливателе*

*Обоснование конструктивных и технологических параметров кольчато-прутковых катков*

*Теоретическое обоснование межвальцового зазора и соотношения скоростей валцов при двухстадийном измельчении зерна*



**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И  
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ФОНД  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

***Уважаемые коллеги!***

**Приглашаем Вас принять участие в работе  
Международной научно-практической конференции**

***«Техническое и кадровое обеспечение  
инновационных технологий в  
сельском хозяйстве»,  
посвященной 65-летию БГАТУ***

***24 - 25 октября 2019 г.***

**Основные направления работы конференции:**

- **Технологии и техническое обеспечение сельскохозяйственного производства**
- **Энерготехнологии и автоматизация технологических процессов АПК**
- **Технический сервис в АПК**
- **Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции**
- **Повышение экономической эффективности АПК на основе инновационной модернизации производства**
- **Актуальные проблемы формирования кадрового потенциала для АПК**

**г. Минск, пр-т Независимости, 99**

**Контактные телефоны: (+ 375 17) 267-22-14, 385-91-03**

**E-mail: [science@bsatu.by](mailto:science@bsatu.by)**

**[www.bsatu.by](http://www.bsatu.by)**

# АГРОПАНОРАМА 4 (134) август 2019

Издается с апреля 1997 г.

Научно-технический журнал  
для работников  
агропромышленного комплекса.  
Зарегистрирован в Министерстве  
информации Республики Беларусь  
21 апреля 2010 года.  
Регистрационный номер 1324

*Учредитель*  
*Белорусский государственный  
аграрный технический университет*

Главный редактор  
Иван Николаевич Шило

Заместитель главного редактора  
Игорь Степанович Крук

Редакционная коллегия:

Г.И. Гануш	М.А. Прищепов
Л.С. Герасимович	А.С. Сайганов
Е.П. Забелло	В.Н. Тимошенко
П.П. Казакевич	Н.К. Толочко
А.Н. Карташевич	В.П. Чеботарёв
И.П. Козловская	Н.С. Яковчик

Е.В. Сенчуров – ответственный секретарь  
Н.И. Цындрина – редактор

*Компьютерная верстка*  
В.Г. Леван

Адрес редакции:

Минск, пр-т Независимости, 99/1, к. 220  
Тел. (017) 272-47-71 Факс (017) 258-41-16

Прием статей и работа с авторами:

Минск, пр-т Независимости, 99/5, к. 602, 608  
Тел. (017) 385-91-02, 267-22-14

Факс (017) 272-25-71

E-mail: [AgroP@bsatu.by](mailto:AgroP@bsatu.by)

БГАТУ, 2019.

Формат издания 60 x 84 1/8.

Подписано в печать с готового оригинала-макета 23.08.2019 г. Зак. № 618 от 22.08.2019 г.

Дата выхода в свет 30.08.2019 г.

Печать офсетная. Тираж 100 экз.

Статьи рецензируются.

Отпечатано в ИПЦ БГАТУ по адресу: г. Минск, пр-т Независимости, 99/2.

ЛП № 02330/316 от 30.01.2015 г.

Выходит один раз в два месяца.

Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884.

Стоимость подписки на журнал на 2-е п/г 2019 г.:

для индивидуальных подписчиков - 19,86 руб.;

ведомственная - 21,63 руб.;

Цена журнала в киоске БГАТУ - 5,65 руб.

При перепечатке или использовании публикаций согласование с редакцией и ссылка на журнал обязательны. Ответственность за достоверность рекламных материалов несет рекламодатель.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Сельскохозяйственное машиностроение. Металлообработка

- А.В. Клочков, О.В. Гордеенко, С.С. Шкурагов, В.В. Азаренко**  
Теоретические исследования процесса обработки семян сельскохозяйственных культур в пневмомеханическом протравливателе.....2
- Ф.И. Назаров, И.С. Крук**  
Обоснование конструктивных и технологических параметров кольчато-прутковых катков.....7
- Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд**  
Теоретическое обоснование межвальцового зазора и соотношения скоростей валцов при двухстадийном измельчении зерна.....13
- Г.А. Радишевский, Н.П. Гурнович, Г.Н. Портянко, С.Р. Бельгий, Е.Ю. Журавский, Н.О. Петрович, А.С. Мезга**  
Обоснование нагрузки на сепарирующий орган картофелеуборочной машины при использовании приемной части, состоящей из плоского лемеха и дисковых боковин.....16
- Н.К. Толочко, О.В. Сокол**  
Листовая штамповка металлов с помощью штампов, изготовленных с использованием аддитивной LOM-технологии....19

### Технологии производства продукции растениеводства и животноводства. Зоотехния

- С.Г. Яковчик, Н.Г. Бакач, В.И. Володкевич, А.В. Шах**  
Техническое обеспечение технологий поливного земледелия в Республике Беларусь.....22
- Ли Цинчжэнь, А.Н. Леонов**  
Определение номинальной мощности двигателя трактора и скорости МТА для выполнения конкретной операции с минимальным уровнем удельных затрат.....26
- В.А. Люндышев, В.Ф. Радчиков, В.П. Цай**  
Продуктивное использование энергии рационов бычками при включении в состав комбикормов органического микроэлементного комплекса.....33
- И.Н. Казаровец**  
Оценка племенных качеств животных различных пород и сочетаний с использованием селекционных индексов.....37

### Энергетика. Транспорт

- Д.И. Кривовязенко, Е.М. Заяц**  
Электрохимическое изменение концентрации ионов в молочной сыворотке.....42

### Технический сервис в АПК. Экономика

- Н.Ф. Корсун, М.М. Кондровская**  
Анализ себестоимости производства говядины в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь на основе статистико-экономического метода исследований.....46

УДК 632.95:631.95

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ СЕМЯН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОМ ПРОТРАВЛИВАТЕЛЕ**

**А.В. Клочков,**

*профессор каф. сельскохозяйственных машин БГСХА, докт. техн. наук, профессор*

**О.В. Гордеенко,**

*зав. каф. сельскохозяйственных машин БГСХА, канд. техн. наук, доцент*

**С.С. Шкуратов,**

*магистр техн. наук, аспирант БГСХА*

**В.В. Азаренко,**

*академик-секретарь Отделения аграрных наук НАН Беларуси, докт. техн. наук, доцент,  
член-корр. НАН Беларуси*

*В статье описана модель протравливания семян в восходящем воздушном потоке. Рассматривается взаимодействие между непрерывным воздушным потоком с мелкодисперсными частицами протравителя и семенами. Определена зависимость требуемой скорости воздушного потока от подачи семян различных культур для протравливания.*

*Ключевые слова: протравливание, семена, воздушный поток, пневмокамера протравливания.*

*The article considers the model of seed treatment in the upward air flow. The interaction between continuous air flow with fine particles of the disinfectant and seeds is considered. The dependence of the required air flow velocity on the supply of different crops seeds for treatment is determined.*

*Keywords: seed treatment, seeds, air flow, pneumatic treatment chamber.*

### **Введение**

Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур связаны с использованием эффективных приемов агротехники, направленных на снижение затрат труда и себестоимости продукции при увеличении урожая и повышении его качества. Достижение высоких и устойчивых урожаев возможно только при обязательном проведении комплекса мероприятий по защите растений от болезней, вредителей и сорняков. Одно из важнейших мероприятий в этом комплексе – предпосевное протравливание семян. Обработка семян защитно-стимулирующими препаратами (протравливание и инкрустация) относится к наиболее эффективным и экономически выгодным методам химической защиты растений. Качественная предпосевная обработка семян имеет важное, а зачастую и решающее значение при определении первого и последующих сроков наземных обработок. Посев семенами, обработанными защитно-стимулирующими препаратами, позволяет получить прогнозируемое количество всходов, устойчивых к болезням и почвенным вредителям на протяжении до двух месяцев и сократить число наземных обработок растений на 25÷50% [1].

### **Основная часть**

Рациональный выбор технических средств для обработки семян протравителем считается одним из важ-

ных условий качественного посевного материала различных сельскохозяйственных культур. Существующие конструктивные и технологические схемы машин, имеющих специальную камеру протравливания, включают механические транспортеры, обеспечивающие непрерывную подачу и выгрузку семенного материала. Однако это является причиной не только повышенного травмирования, но и интенсивного перемешивания семян, в результате которого происходит осыпание препарата. Кроме этого, в самой камере протравливания создаются неодинаковые условия взаимодействия семян с потоком распыленного рабочего раствора, что оказывает влияние на равномерность распределения препарата, как между семенами, так и по поверхности каждого зерна. Время взаимодействия семян и протравителя ограничено габаритами камеры протравливания и конструктивным исполнением системы введения семян и рабочего раствора протравителя.

Как правило, качество распыла препарата вращающимся распылителем тем выше, чем выше его обороты. При этом высокие обороты приводят к травмированию семян при их ударе о стенку корпуса камеры протравливания, а из-за быстрого прохождения семян зоны обработки в камере протравливания, полнота покрытия препаратом недостаточная.

На основании проведенного анализа конструктивных схем современных протравочных машин

предлагается конструкция пневмомеханического протравливателя, принципиальная схема которого представлена на рис. 1.

Отличительной особенностью представленного пневмомеханического протравливателя является наличие двух камер протравливания: предварительной, включающей в себя вращающийся распределительный диск семян 9 и распылитель 10, и вторичной, включающей в себя распылитель 14 и пневмокамеру 13.

В технологическом аспекте качество протравливания обуславливается, в первую очередь, точным дозированием препарата и семян, что требует управления процессами контролирования потоков химического препарата к распылителям и потока семян. Оба потока должны быть однородными и устойчивыми, а также зависящими от вида обрабатываемых семян и особенностей применяемого протравливателя.

Физическая сущность протравливания состоит в равномерном покрытии каждого зерна слоем пестицида, его водной или пленкообразующей суспензией. Между подачей семян  $Q_c$  (м<sup>3</sup>/с) и потоками химического препарата  $Q_n$  существует зависимость:

$$Q_n = q_n Q_c, \quad (1)$$

где  $q_n$  – норма расхода протравливающего вещества на обработку единицы массы семян, кг/кг.

Принцип работы пневмомеханического протравливателя заключается в следующем. При вращении крыльчатки вентилятора 1 во всасывающей ветви создается разрежение, которое по пневмопроводу 2 через циклон 3 передается во всасывающий рукав 4 и приемное сопло 5. За счет разрежения семенной материал поступает в циклон и осаждается, а зерновая и механическая пыль поступает по пневмопроводу 2 в фильтр 6. Очищенный воздух нагнетается в эжектор 7 и создает рабочий поток. Семена из циклона 3 самотеком поступают в дозатор 8, а затем на распределительное устройство 9, выполненное из вращающихся дисков с прорезями [2]. Семена попадают в камеру предварительного протравливания равномерно в виде разреженного слоя увеличенной толщины, образуя при этом цилиндрический падающий поток. Рабочий раствор протравливающего вещества подводится к вращающемуся распылителю 10 и через щелевые каналы в виде мелкодисперсных капель выбрасывается в камеру предварительного протравливания, образуя при этом горизонтальный кольцевой поток. Обработ-

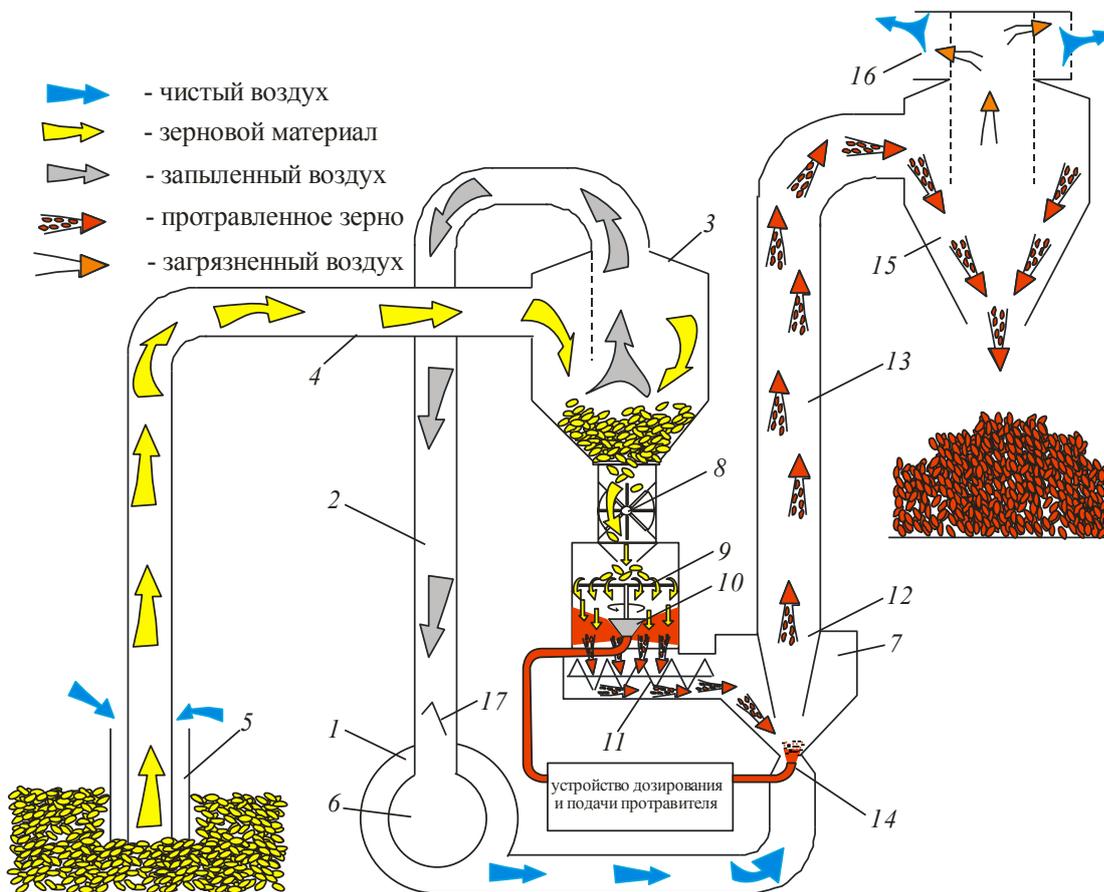


Рис. 1. Принципиальная схема пневмомеханического протравливателя семян:  
1 – вентилятор; 2, 4 – пневмопроводы; 3, 15 – циклоны; 5 – приемное сопло; 6, 16 – фильтрующие элементы; 7 – камера эжекции; 8 – дозатор семян; 9 – распределительное устройство; 10 – распылитель камеры предварительного протравливания; 11 – шнек; 12 – смесительная камера; 13 – пневмокамера; 14 – распылитель пневмокамеры; 17 – регулятор скорости воздуха

ка семян протравителем происходит во время пересечения цилиндрического падающего потока семян с горизонтальным кольцевым потоком мелкодисперсных капель. Далее семена шнековым дозатором 11 подаются в эжектор 7. Кинетическая энергия рабочего потока чистого нагнетаемого воздуха передается семенному материалу в камере смешивания 12. В результате статическое давление возрастает, а скорость смешанного потока снижается, и материал поступает в пневмокамеру 13, в которую через распылитель 14 вводится дополнительный поток протравливающего вещества, раздробленного воздушным потоком до мелкодисперсного состояния. Кроме этого, в пневмокамеру увлекается воздушным потоком не осевший на семена препарат из камеры предварительного протравливания. В результате взаимодействия капель жидкости с предварительно обработанными и увлажненными семенами, при движении в пневмокамере 13 происходит окончательное покрытие семян со всех сторон тонкой пленкой протравителя. Обработанные семена поступают в выгрузной циклон 15, а загрязненный воздух очищается в фильтре 16 и выводится наружу. Обработка семян различных сельскохозяйственных культур, имеющих разные физико-механические свойства, должна проводиться при определенной скорости воздушного потока, которая автоматически поддерживается регулятором скорости 17.

Теоретически процесс протравливания семян в пневмомеханическом протравливателе можно разделить на две зоны:

1. *Зона обработки семян, сходящих с распределительных дисков с прорезями в камере предварительного протравливания.* В этом случае происходит взаимодействие двух дисперсных взаимно пересекающихся потоков: капель рабочей жидкости, движущихся в горизонтальной плоскости, и семян, движущихся в вертикальной плоскости (воздушная среда принимается за неподвижную), т.е. двухфазный поток.

2. *Зона протравливания семенного материала в пневмокамере.* В этом случае технологический процесс протравливания семян происходит в трехфазном потоке, состоящем из воздушного потока, потока семян и капель протравливающего вещества.

Принципиальные различия в технологии обработки семян в нисходящих и восходящих потоках не позволяют применить теоретические и экспериментальные наработки, используемые при создании пневмомеханического протравливателя, которые заложены в основу существующих протравливающих машин и комплексов.

Рассмотрим модель протравливания семян в восходящем воздушном потоке, т.е. зону протравливания семенного материала в пневмокамере.

Семена большинства сельскохозяйственных культур могут быть отнесены к классу монодисперсных крупнозернистых твердых частиц, движение которых в пневмотранспортных установках оценивается критерием Рейнольдса [3]. В реальных условиях воздействие турбулентных пульсаций на движение грубодисперсных частиц незначительно, и при обосновании техно-

логических параметров протравливания семян, пульсациями воздушного потока можно пренебречь.

Поток аэросмеси, используемый для протравливания семян, включает компоненты:

- направленный воздушный поток с расходом  $Q_c$ , кг/с;
- поток семенного материала с подачей  $Q_s$ , кг/с;
- поток капель рабочего раствора протравителя с расходом  $Q_n$ , кг/с.

В соответствии с технологией процесса, семенной материал поступает в пневмокамеру со средней скоростью  $v_0$ , направленной навстречу воздушному потоку, движущемуся со средней скоростью  $u$  (рис. 2). В некоторый момент времени скорость падения семян и скорость воздушного потока окажутся равными по величине и противоположными по направлению. Зерна семенного материала в этот момент окажутся в мгновенно неподвижном (квазистатическом) состоянии.

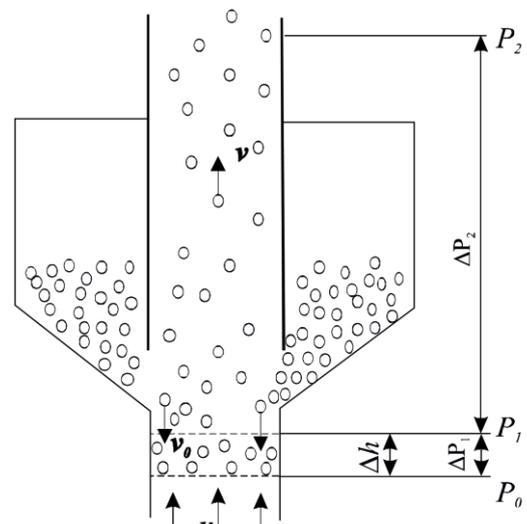


Рис.2. Схема взаимодействия семян с направленным воздушным потоком

Если при неизменных параметрах воздушного потока в камеру будут непрерывно поступать семена, то их концентрация вырастет до значения  $\varphi_c$ , которая определяется зависимостью:

$$\varphi_c = \gamma_c \cdot \frac{1}{S_k} \cdot \frac{Q_c}{v_c}, \quad (2)$$

где  $\gamma_c = 10^3 \frac{V_z}{m_c}$  – удельный объем семян, кг/м<sup>3</sup>;

$V_z$  – объем одного зерна культуры, м<sup>3</sup>;

$m_c$  – масса 1000 семян культуры, г;

$S_k$  – площадь поперечного сечения пневмокамеры протравливания, м<sup>2</sup>;

$v_c$  – скорость движения семян, м/с;

$Q_c$  – подача семенного материала, м<sup>3</sup>/с.

Множество неподвижных семян составят слой толщиной  $\Delta h$ . При определенной толщине этого слоя энергии воздушного потока окажется недостаточно, чтобы удержать его во взвешенном состоянии, и он

начнет оседать (обрушиваться) к основанию аппарата, нарушая, тем самым, технологический процесс.

С учетом концентрации  $\varphi_c$ , массу слоя  $\Delta h$  можно определить по зависимости:

$$m_{\Delta h} = (\rho_c - \rho_e) \varphi_c \cdot \Delta h \cdot S_k, \quad (3)$$

где  $\rho_c$  и  $\rho_e$  – соответственно плотность семян и воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

В первом приближении свойства двухфазного потока описываются одной функциональной зависимостью между скоростью воздушного потока и разностью давлений на входе  $P_0$  и выходе  $P_2$  из камеры протравливания. Эта зависимость может быть представлена кривой  $\Delta P = \Delta P(u)$  (рис. 3), характеризующей различное состояние частиц в двухфазном потоке [4].

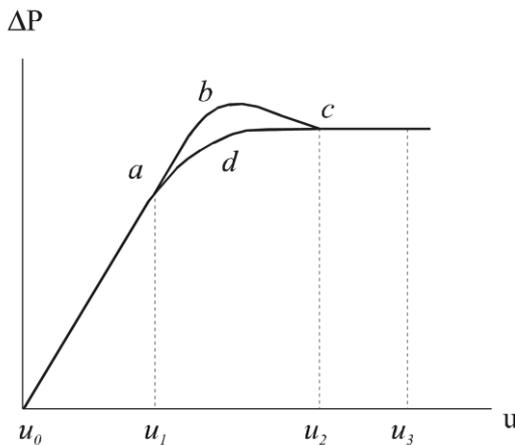


Рис. 3. Зависимость потерь давления от скорости воздуха

Если плавно повышать скорость воздушного потока от значения  $u=u_0$ , то формирование неподвижного слоя семян, толщиной  $\Delta h$  (рис. 2), начнется при скорости  $u_1$ . При скорости воздуха  $u=u_2$  начинается отрыв отдельных частиц от слоя (отдельные семена начинают поступать в пневмокамеру), а дальнейшее повышение скорости воздуха до значения  $u=u_3$  приведет к изменению квазистатического состояния слоя зерна, толщиной  $\Delta h$ , подъему и хаотическому движению семян в пневмокамере протравливания по всей высоте. Если же скорость воздуха увеличить до значения  $u>u_3$ , то начнется вылет семенного материала из пневмокамеры протравливания. При уменьшении скорости воздушного потока от значения  $u_3$  до  $u_1$  семена начнут оседать к основанию пневмокамеры. При этом неизбежны соударения между отдельными семенами, т.е. часть кинетической энергии превратится в тепловую. Вследствие этого, кривая оседания частиц  $cda$  (рис. 3) будет располагаться ниже кривой подъема  $abc$ . При изменении скорости воздушного потока от  $u_2$  до  $u_1$ , на участке  $ca$  образуется гистерезисная петля. Поэтому скорость оседания частиц будет выше, чем при подъеме. Таким образом, изменение скорости воздушного потока от  $u_1$  до  $u_2$  характеризует предельное равновесное состояние неподвижного слоя  $\Delta h$  (режим фильтрации) (рис. 2). Следует

отметить, что скорость воздушного потока  $u_1$  должна быть равна скорости витания семян, а скорость  $u_2$  равна предельной (критической) скорости воздушного потока, соответствующей началу разрушения неподвижного слоя. Следовательно, при  $u_1 < u < u_2$  энергия воздушного потока расходуется на преодоление сил сопротивления фильтрации (сопротивление прохождению воздуха в промежутки между семенами) и аэродинамического сопротивления частиц. Суммарная сила сопротивления неподвижного слоя может быть определена по зависимости [5]

$$F_{\Sigma} = \frac{\nu_2 \rho_e u}{k(1-\varphi_c)} \left[ 1 + \lambda \frac{u}{1-\varphi_c} \right] \cdot \Delta h S_k, \quad (4)$$

где  $\nu_2$  – кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/с;  $k$  и  $\lambda$  – функции, зависящие от концентрации семян в неподвижном слое, причем

$$k = a_1 \frac{d_s^2 (1-\varphi_c)^2}{\varphi_c^2}, \quad \lambda = a_2 \frac{d_s (1-\varphi_c)}{\nu_2 \varphi_c}, \quad (5)$$

где  $d_s$  – средний размер твердых частиц, определяемый как среднее геометрическое значение толщины, ширины и длины зерна, м;

$a_1$  и  $a_2$  – соответственно коэффициенты аэродинамического сопротивления подъему и фильтрации неподвижного слоя.

Условие предельного статического равновесия определяется равенством сил тяжести неподвижного слоя (3) и сил суммарного аэродинамического сопротивления (4), отнесенным к единице объема

$$\frac{\nu_2 \rho_e u}{k(1-\varphi_c)} \left[ 1 + \lambda \frac{u}{(1-\varphi_c)} \right] = (\rho_c - \rho_e) \cdot g \cdot \varphi_c. \quad (6)$$

Подставляя в зависимость (6) выражение (5), после преобразований получим

$$\rho_e u (\nu_2 \varphi_c + a_2 d_s u) = a_1 d_s^2 \rho g (1-\varphi_c)^3, \quad (7)$$

где  $\rho = \rho_c - \rho_e$  – разность между плотностью частиц и воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Замечая, что вязкость воздуха при нормальных условиях равна  $\nu_2 = 1,57 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с, а максимальная объемная концентрация частиц в двухфазном потоке промышленных установок не превышает 0,03, то в уравнении (7) произведением  $\nu_2 \varphi_c \leq 4,71 \cdot 10^{-7}$  можно пренебречь как малой величиной по отношению ко всем остальным слагаемым. С учетом этого упрощенное уравнение (7) примет вид

$$f \rho_e u^2 = d_s \rho g (1-\varphi_c)^3, \quad (8)$$

где  $f = a_2/a_1$  – отношение коэффициента сопротивления фильтрации к аэродинамическому коэффициенту сопротивления подъему.

Подставив в уравнение (8) вместо параметра  $\varphi_c$  выражение (2), получим зависимость между скоростью воздуха и производительностью агрегата в режиме предельного равновесия

$$f \rho_e u^5 - d_s \rho g (u - j Q_c)^3 = 0, \quad (9)$$

где  $j = 10^3 \frac{V_3}{m_c S_k \alpha_{ск}}$  – комплекс физических величин (постоянная установки);

$\alpha_{ск} = \frac{v_c}{u}$  – коэффициент скольжения фаз, равный отношению средней скорости потока семян к средней скорости воздушного потока.

Действительный корень уравнения (9), определенный по методу Ньютона и удовлетворяющий физической сущности поставленной задачи, определяется выражением

$$u_* = \frac{4f\rho_2 w^5 - d_3 \rho g [2w^3 - 3w^2 j Q_c + j^3 Q_c^3]}{5f\rho_2 w^4 - d_3 \rho g [3w^2 + 6wj Q_c - 3j^2 Q_c^2]}, \quad (10)$$

где  $u_* = u_2$  – предельная (критическая) скорость воздушного потока, при которой начинается разрушение неподвижного слоя (рис. 3), м/с;

$u_l = w$  – скорость воздушного потока, равная скорости витания частиц, при которой начинает формироваться неподвижный слой, м/с.

Параметры, входящие в формулу (10), не ограничены размерами семян какой-либо конкретной культуры, а носят общий характер. Поэтому формула (10) может быть использована для определения начальных условий полета семян различных культур в пневмокамере в зависимости от заданной производительности установки по зерну.

Графики изменения критической скорости в зависимости от производительности аппарата для протравливания семян различных культур, рассчитанные по формуле (10), представлены на рис. 4. Характер изменения этих кривых указывает на зависимость, близкую к линейной между критической скоростью и производительностью агрегата.

Зависимость (10) позволяет определить скорость воздушного потока, при которой происходит разрушение неподвижного слоя семян. Пренебрегая затратами энергии на преодоление сил трения семян о стенки пневмокамеры, определим величину динамического давления воздуха, необходимого для перемещения семян на высоту  $H$ .

Используя теорему об изменении кинетической энергии для подъема на высоту  $H$  ограниченного объема потока аэросмеси, получим

$$mu_6^2 - mu_*^2 = 2mgH. \quad (11)$$

После преобразования зависимости (10), определим скорость воздушного потока  $u_6$  в сечении  $H$  от основания пневмокамеры протравливания

$$u_6 = \sqrt{u_*^2 + 2gH}. \quad (12)$$

Из анализа зависимости (12) следует, что при скорости воздушного потока  $u > u_6$ , семена покинут камеру протравливания. Если же скорость воздушного потока будет больше  $u_*$ , определяемой по зависимости (10), но меньше или равна скорости  $u_6$ , то семена будут находиться во взвешенном состоянии, совершая хаотические движения в пределах пневмокамеры протравливания. Таким образом, скорость  $u_6$  является граничной величиной, позволяющей установить определенный режим обработки семян: для обеспечения непрерывности технологического процесса действительная скорость воздушного потока  $u$  должна превышать скорость  $u_6$  на величину  $\Delta u$ . Однако, чем меньше величина  $\Delta u$ , тем меньше удельные энергозатраты на транспортировку семян, меньше скорость движения, а следовательно, больше время нахождения семян в камере протравливания, т.е. выше качество обработки.

### Заключение

Использование двух камер протравливания в пневмомеханическом протравливателе способно обеспечить эффект многократного покрытия семян защитно-стимулирующими препаратами в виде аэрозоля, рециркуляцию и вторичное использование не осевшего на семена препарата.

Степень протравливания семян в аппаратах данного типа определяется дисперсностью распыленной жидкости и временем взаимодействия семян с препаратом.

Объемную концентрацию, а, следовательно, и качество протравливания семян в пневмомеханическом протравливателе можно изменять:

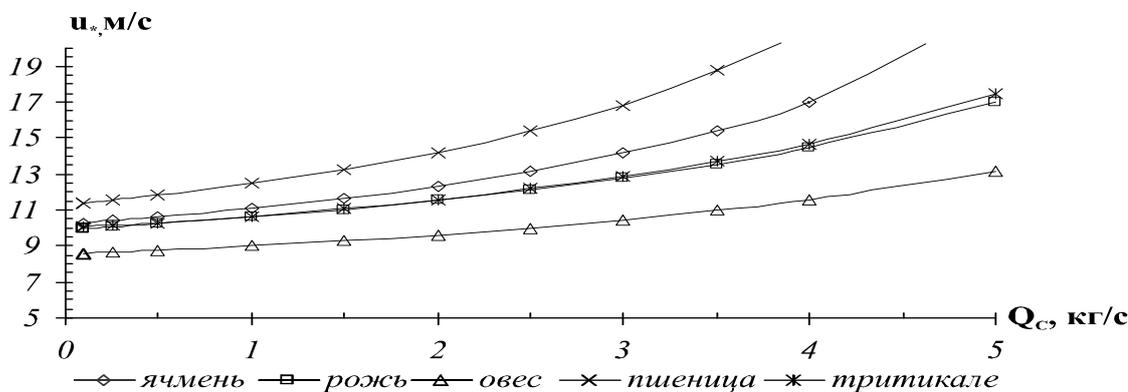


Рис. 4. Зависимость критической скорости воздушного потока от производительности протравливателя по условию разрушения неподвижного слоя семян

а) увеличением подачи семян распределительными дисками с прорезями, что при постоянной скорости воздушного потока приводит к уменьшению средней скорости потока семян, а, следовательно, к увеличению времени их пребывания в пневмокамере протравливания;

б) увеличением скорости воздушного потока при постоянной подаче семян, что приводит к увеличению средней скорости движения семян и уменьшению времени пребывания их в камере протравливания

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буга, С.Ф. Ретроспективный анализ данных по эффективности протравителей семян яровых зерновых культур, применяемых в Республике Беларусь в последние годы / С.Ф. Буга // Ахова раслін.–2002.–№ 1.– С. 29-35.

2. Ключков, А.В. Анализ способов и технических средств протравливания семян и перспективы их раз-

вития /А.В. Ключков, О.В. Гордеенко, С.С. Шкуратов, В.В. Азаренко // Агропанорама. –2019. – № 2 (132).– С. 20-25.

3. Успенский, В.А. Пневматический транспорт материалов во взвешенном состоянии / В.А. Успенский. – Свердловск: Metallurgizdat, 1952. – 146 с.

4. Ключков, А.В. Обоснование параметров технологического процесса протравливания семян в восходящем воздушном потоке / А.В. Ключков, И.В. Гордеенко // Математическое моделирование сельскохозяйственных объектов – основа проектирования технологий и машин XXI века: матер. междунар. науч.-практич. конф. / Акад. аграр. наук Респ. Беларусь; Беларус. науч.-исслед. ин-т механизации с.-х. – Минск, 2001. – С. 56-61.

5. Гупало, Ю.П. О переходе слоя твердых частиц во взвешенное состояние / Ю.П. Гупало, Г.П. Черепанов // Изв. Акад. наук СССР. – 1969. – №1.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 31.07.2019

УДК 631.312

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЬЧАТО-ПРУТКОВЫХ КАТКОВ

**Ф.И. Назаров,**

*ассистент каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ*

**И.С. Крук,**

*проректор по научной работе – директор НИИМЭСХ БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

*В статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния конструктивных и технологических параметров кольчато-прутковых катков на качество обработки почвы. Определены рациональные конструктивные и технологические параметры кольчато-прутковых катков. Обоснованы параметры установки катковых приставок относительно корпусов плуга.*

*Ключевые слова: почва, каток, эксперимент, плотность, кольчато-прутковый рабочий орган, установка.*

*The article presents the results of experimental studies of structural and technological parameters of ring-rod compactors influence on soil preparation quality. Rational design and technological parameters of ring-rod compactors are determined. The mounting parameters of compactor accessories relative to the plow body are substantiated.*

*Keywords: soil, compactor, experiment, density, ring-rod working body, mounting.*

### Введение

Важным направлением в развитии перспективной техники является разработка новых рабочих органов и машин, существенно повышающих качество обработки почвы и посева [1]. С целью улучшения процесса основной обработки почвы и снижения энергетических затрат на последующие технологические операции с плугами, применяются катковые приставки с кольчато-прутковыми рабочими органами (рис. 1), которые крошат, рыхлят и уплотняют

верхний слой обороченного пласта [2, 3]. При этом обеспечивается разрушение почвенных глыб и предотвращение их образования, более тесное размещение почвенных агрегатов, увеличение капиллярной пористости, а также создается более однородное состояние обрабатываемого слоя и частичное выравнивание поверхности почвы. Качественная обработка верхнего слоя почв легкого механического состава рабочими органами приставок позволяет уменьшить количество последующих обработок и сократить сро-



*Рис. 1. Плуг ПО-(8+4)-40 с приставками в процессе работы*

ки подготовки к посеву, а значит, сохранить влагу в почве и провести ранний сев.

На качество обработки почвы оказывают влияние следующие геометрические параметры кольчато-пруткового катка: диаметр дисков, толщина и угол заточки их кромок, диаметр окружности, на которой закреплены прутки, шаг установки и их диаметр. Также качество обработки почвы определяют скорость движения агрегата, место установки и масса катков. Изменяя данные параметры, в зависимости от физико-механических свойств почвы, можно достигнуть заданного качества обработки при наименьших энергетических затратах [3, 4].

Цель настоящей работы – повышение качества основной обработки почвы оборотными плугами с катковыми приставками обоснованием конструктивных и технологических параметров кольчато-прутковых катков.

#### **Основная часть**

Исследования проводились в лабораторных (почвенный канал БГАТУ) и полевых условиях.

Лабораторная установка (рис. 2) представляла собой бетонное основание, изготовленное в виде канала, который в зависимости от эксперимента, может заполняться почвой различного механического состава. В канале установлена электрифицированная нагрузочная тележка с навесным устройством и набором контрольно-измерительного оборудования.

На навесное устройство нагрузочной тележки почвенного канала был установлен двухкорпусный плуг, а на ее раму – кронштейны для крепления лабораторного образца катковой секции. Конструкция кронштейнов позволяла выдерживать ось тяги параллельно горизонту. Привод ведущих колес тележки осуществлялся двумя электродвигателями. Скорость движения тележки можно изменять в зависимости от требований эксперимента. С целью регулирования величины механического воздействия катков на почву, на продолжении рамки секции установлен нагрузочный лоток для грузов.

Лабораторный образец секции катков (рис. 3) состоял из рамы 1, оси 2 с посаженными на ней экспериментальными катками 4 и нагрузочного лотка 3. Расстояние между дисками изменялось установкой распорных втулок различной длины.

Нагрузочный лоток заполнялся грузами массой 5, 10, 15 кг, в результате масса равномерно распределялась между дисками, обеспечивая удельную нагрузку от 20 до 80 Н/см (шаг изменения 20 Н/см).

Диаметр оси лабораторного образца секции катков был подобран так, чтобы на этой же установке можно было снять основные показатели выпускаемых отечественных и зарубежных рабочих органов приставок, для их последующего сравнения с исследуемыми дисками.

Основными агротехническими показателями, характеризующими качество обработки почвы приставками, являются средняя высота микронеровностей, среднее квадратичное отклонение высоты микронеровностей, крошение, разрушение комков, плотность и твердость слоев почвы.

Плотность обрабатываемого слоя при механической обработке почвы претерпевает значительные изменения. Диапазон изменения плотности при вспашке плугом чернозема обыкновенного достигает 0,31-0,36 г/см<sup>3</sup> [5-8]. Для исследуемого типа почвы (дерново-подзолистая) плотность после вспашки находится в пределах 0,87-0,91 г/см<sup>3</sup>.

Поскольку накопление и расход влаги, ее передвижение по горизонтам почвы происходят в соответствии с законами влагопереноса, в засушливых районах системой обработок необходимо создать мульчирующий верхний слой, а на глубине 5-6 см сформировать уплотненный слой, с меньшим эффек-



*Рис. 2. Установка для исследований работы рабочих органов приставок в лабораторных условиях*



*Рис. 3. Общий вид лабораторного образца катковой секции: 1 – рама; 2 – ось; 3 – нагрузочный лоток; 4 – экспериментальный каток*

тивным размером капилляров относительно основной массы почвы, способствующий снижению потерь влаги на испарение. Если верхний слой почвы излишне уплотнен, испарение увеличивается многократно и на большую глубину, поэтому необходимо поддерживать верхний слой (0-5 см) в постоянно сухом и рыхлом состоянии (плотность 0,7-0,9 г/см<sup>3</sup>). Независимо от способа основной обработки почвы, плотность слоя 5-10 см желательно поддерживать на уровне от 1,1 до 1,15 г/см<sup>3</sup>, но не более 1,30 г/см<sup>3</sup>. Такая двухслойная структура пахотного горизонта обеспечивает сохранение влаги в почве и защищает от излишнего испарения и не препятствует накоплению ее при выпадении осадков [9, 10].

Для обоснования рациональных параметров и режимов работы машины, наиболее рационально выбрать единственный параметр оптимизации, а на другие характеристики процесса наложить ограничения.

В лабораторных условиях были проведены исследования по обоснованию конструктивных параметров кольчато-прутковых катков и их влияния на уплотнение почвы в поверхностном слое (до 10 см).

В качестве основных факторов, влияющих на параметр «плотность почвы», были выбраны: масса грузов, диаметр диска, шаг установки прутков. Уровни и интервалы варьирования приведены в таблице 1.

Почва для опытов в почвенном канале подготавливалась следующим образом. За сутки до начала опытов почву увлажняли. Проводилась проверка исходного состояния почвы. Поверхность выравнивалась с помощью выравнивающего бруса. Для увлажнения почвы и поддержания значения влажности в заданных пределах, применялся метод искусственного дождевания. Влажность почвы доводилась до величин, соответствующих условиям работы катковых приставок при предпосевной обработке почвы в реальных условиях для легких и средних, по механическому составу, дерново-подзолистых почв. Для имитации плужной подошвы, на глубине пахотного слоя была заложена доска. Для оборота пласта и создания условий, наиболее приближенных к реальным, использовался двухкорпусный плуг. Далее проводились опыты при постоянной скорости движения лабораторного образца катковой секции.

После прохода лабораторного образца катковой приставки измерялись значения влажности и плотности почвы по слоям.

Для определения степени влияния параметров на дальность полета частиц пласта и определения места

установки приставки в реальных условиях, была разработана и изготовлена установка (рис. 4), состоящая

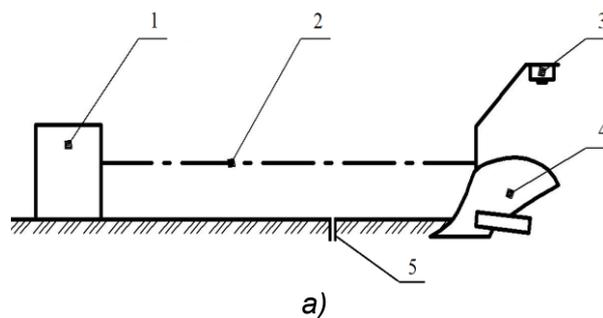


Рис. 4. Схема (а) и общий вид (б) лабораторной установки: 1 – электротяга; 2 – трос; 3 – камера; 4 – плуг; 5 – индикаторный слой

из электротяги 1, троса 2, скоростной камеры 3 и конного плуга 4. За базовый вариант установки была принята тяга сельскохозяйственная ЛС-100А [11]. Основные технические характеристики установки приведены в таблице 2.

Перед проведением эксперимента определялись основные физико-механические свойства почвы (влажность, твердость, плотность, коэффициент внешнего трения) и характеристики участка (тип почвы, температура почвы, засоренность участка сорными растениями, камнями, уклон местности).

На плуг крепилась камера (GoPro 4), при помощи которой проводилась съемка движения пласта почвы по поверхности корпуса и за его пределами до полного осадения на поверхности поля.

При работе плуг оборачивает пласт почвы в сторону необработанного участка поля, а камера фиксирует

**Таблица 1. Уровни и интервал варьирования факторов при экспериментальных исследованиях влияния параметров кольчато-прутковых рабочих органов на плотность почвы по слоям**

Факторы	1-й фактор (масса грузов)		2-й фактор (диаметр диска)		3-й фактор (шаг установки прутков)	
	$x_1$ , кг	$X_1$	$x_2$ , мм	$X_2$	$x_3$ , мм	$X_3$
Основной уровень	$x_{10}=53,5$	0	$x_{20}=450$	0	$x_{30}=48$	0
Интервал варьирования	$\Delta x_1=26,5$	-	$\Delta x_2=60$	-	$\Delta x_3=48$	-
Верхний уровень	$x_{1max}=80$	+1	$x_{2max}=510$	+1	$x_{3max}=96$	+1
Нижний уровень	$x_{1min}=27$	-1	$x_{2min}=390$	-1	$x_{3min}=0$	-1

**Таблица 2. Технические характеристики лабораторной установки**

Номинальная потребляемая мощность, Вт	1500
Тип отвала	цилиндрический
Глубина обработки	0,15 м
Ширина захвата	0,20 м
Скорости перемещения рабочего органа	1,8 – 2,5 км/ч (0,5 – 0,7 м/с)
Длина тягового каната, м	20
Габаритные размеры, мм	590x500x1100
Масса лебедки, кг	60

максимальную дальность полета его частиц. На основании скоростной съемки можно оценить скорость движения почвы на кромке отвала. Для этого на всю глубину обработки пласта закладывался индикаторный слой белого цвета и фиксировалось время начала его движения по поверхности плуга до точки схода с него.

Эксперимент проводился на дерново-подзолистых почвах, среднего суглинка, при влажности 17 %, по стерне многолетних трав. Глубина вспашки составляла 15 см и ширина захвата корпуса плуга – 20 см. В качестве основного фактора, влияющего на дальность полета частицы, была выбрана скорость движения агрегата. При проведении эксперимента лебедкой изменялась скорость движения корпуса плуга в пределах от 0,20 – 0,70 м/с. Скоростной режим был ограничен техническими характеристиками установки.

На основании представленной методики исследований был проведен эксперимент в полевых условиях.

После обработки экспериментальных данных, получены уравнения регрессии, позволяющие определить плотность почвы  $\rho$  ( $Y$ ) в зависимости от массы приставки  $m_{пр}$  ( $X_1$ ), диаметра диска  $D_d$  ( $X_2$ ) и шага установки прутков  $l$  ( $X_3$ ):

для слоя 0 – 5 см:

$$\text{в кодированном виде: } Y = 0,998 - 0,104X_3;$$

$$\text{в натуральном виде: } \rho = 1,102 - 0,0022l; \quad (1)$$

для слоя 5 – 10 см:

в кодированном виде:

$$Y = 0,964 + 0,019X_1 - 0,021X_3 - 0,043X_1X_2 -$$

$$- 0,036X_1X_3 + 0,043X_2X_3 + 0,021X_1^2 -$$

$$- 0,026X_3^2;$$

в натуральном виде:

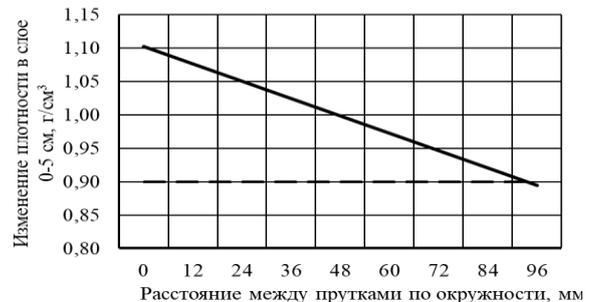
$$\rho = (2,99m_{пр}^2 - 1,13l^2 + 49m_{пр} + 9,78D_d +$$

$$+ 127l - 0,361m_{пр}D_d - 2,83m_{пр}l +$$

$$+ 0,199D_d l + 89000) \cdot 10^{-5}. \quad (2)$$

Проверка значимости рассчитанных коэффициентов по  $t$ -критерию Стьюдента в полученной регрессивной модели по исследованию уплотнения почвы в слое 0 – 5 см (1) показала, что коэффициенты  $X_1$  и  $X_2$  не значимы. Абсолютная величина коэффициента

модели показывает, что в слое почвы 0 – 5 см при увеличении массы приставки плотность уменьшается, происходит рыхление пласта. Проверка адекватности полученной модели по  $F$  – критерию Фишера показала, что она адекватна на уровне значимости 0,05 ( $F_{экс}=1,118 < F_{0,05; 54; 7}=2,274$ ). На основании полученных результатов эксперимента был построен график изменения плотности в слое почвы 0-5 (рис. 5).



**Рис. 5. График изменения плотности почвы в слое 0 – 5 см от шага установки прутков  $h$**

На рис. 5 видно, что наибольшее значение плотности в слое 0 – 5 см достигается при минимальном расстоянии между прутками (кольчато-дисковый каток). С увеличением шага уменьшается значение параметра и происходит разуплотнение почвы верхней поверхностью прутков.

Проверка значимости рассчитанных коэффициентов по  $t$ -критерию Стьюдента в полученной регрессивной модели по исследованию уплотнения почвы в слое 5 – 10 см (2) показала, что коэффициенты  $X_2$  и  $X_3^2$  не значимы. Абсолютные величины коэффициентов модели показывают, что в слое почвы 5 – 10 см все три фактора оказывают значительное влияние на изменение плотности. Проверка адекватности полученной модели по  $F$  – критерию Фишера показала, что она адекватна на уровне значимости 0,05 ( $F_{экс}=2,089 < F_{0,05; 90; 7}=2,1$ ). На основании полученных результатов эксперимента были построены графики изменения плотности в слое почвы 5 – 10 см в зависимости от параметров катка (рис. 6-8).

С целью определения оптимальных параметров кольчато-пруткового рабочего органа, при которых достигается требуемая плотность почвы в слое почвы 5 – 10 см при минимальных конструктивных параметрах, был проведен поиск экстремальных значений регрессионного уравнения (2). Для этого уравнение последовательно было продифференцировано по  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ , полученные уравнения приравнены к нулю и составлена система уравнений.

$$\begin{cases} 0,019 + 0,042X_1 - 0,043X_2 - 0,036X_3 = 0; \\ -0,043X_1 = 0; \\ -0,036X_1 + 0,043X_2 - 0,052X_3 = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Решение вышеуказанной системы уравнений показало, что максимальная плотность  $\rho = 0,96$  г/см³ при минимальных габаритных размерах достигается при массе катковой секции – 53,5 кг, диаметре диска –

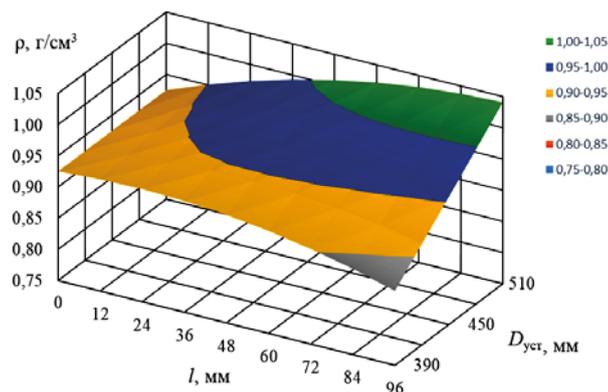


Рис. 6. Зависимость плотности почвы в слое 5-10 см от диаметра диска и расстояния между прутками при массе катка – 27 кг

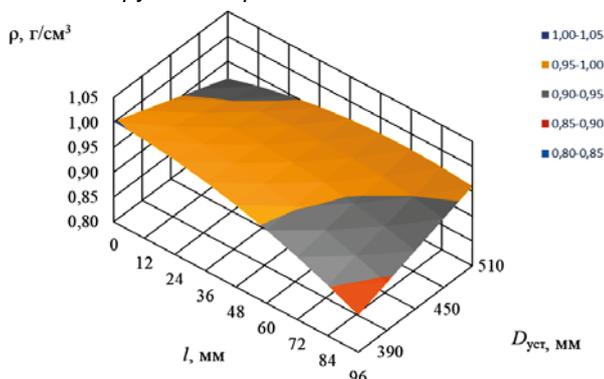


Рис. 7. Зависимость плотности почвы в слое 5-10 см от диаметра диска и расстояния между прутками при массе катка – 53,5 кг

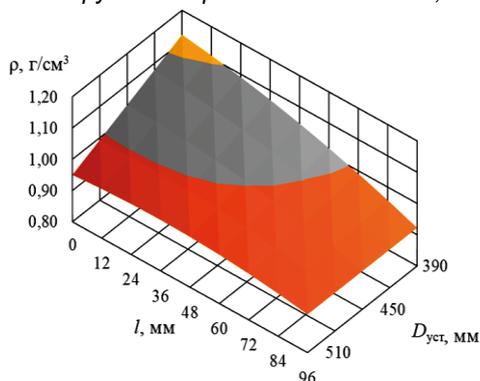


Рис. 8. Зависимость плотности почвы в слое 5-10 см от диаметра диска и расстояния между прутками при массе катка – 80 кг

0,465 м, диаметре установки прутков – 0,405 м и шаге между прутками – 0,058 м.

После обработки экспериментальных данных полевого эксперимента, получена зависимость дальности полета частицы  $x_{пч_c}$  (Y) от скорости движения агрегата  $v_{агр}$  ( $X_4$ ):

– в кодированном виде:  $Y = 0,03X_4 + 0,178$ ;

– в натуральном виде:  $x_{пч_c} = 0,15v_{агр} + 0,1$  (4)

На рисунке 9 для рассматриваемого в эксперименте корпуса плуга приведены графики зависимости дальности полета почвенного пласта в зависимости от скорости агрегата (а – график, построенный по формуле движения пласта почвы по корпусу плуга [1, 3, 4]; б – график, построенный по результатам экспериментальных исследований (4)).

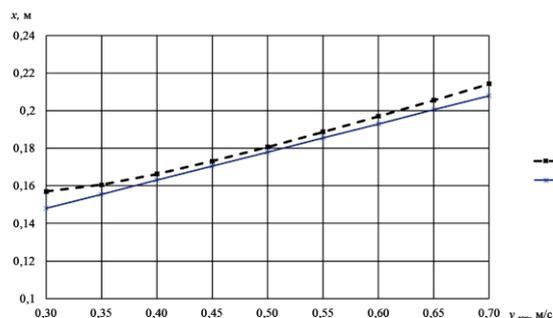


Рис. 9. Графики зависимостей дальности полета пласта почвы от скорости движения агрегата: а – теоретическая; б – экспериментальная

При проведении эксперимента на скорости 0,3 м/с, кроме дальности полета частицы пласта почвы, фиксировалась скорость почвенной частицы на кромке отвала (0,21 м/с) и время движения пласта по поверхности плуга (2,1 с). При этом дальность полета частицы составила 0,14 м, для данной точки теоретически полученная дальность полета частицы составляет 0,143 м, следовательно, погрешность теоретической зависимости по отношению к экспериментальной в данной точке будет 2,8 %, что соответствует наибольшей относительной погрешности на исследуемом участке.

### Заключение

Экспериментальные исследования катка с кольчато-прутковыми рабочими органами, проведенные в лабораторных и полевых условиях, подтвердили теоретические положения о зависимости качества обработки почвы от ее состояния и конструктивных параметров катка. Получены экспериментальные зависимости изменения плотности по слоям (1), (2). Анализ их графических отображений (рис. 5-8) показал, что при минимальных габаритных размерах, наибольшая плотность составит  $\rho = 0,96$  г/см<sup>3</sup> и она достигается при массе катковой секции – 53,5 кг, диаметре диска – 0,465 м, диаметре окружности установки прутков – 0,405 м и шаге между ними – 0,058 м.

Анализ данных, полученных в ходе эксперимента по определению дальности отбрасывания частиц почвы, подтвердил, что полученная ранее математическая модель, описывающая движение почвы, как пласта по корпусу плуга, позволяет определить дальность полета частицы с точностью до 2,8 %. Это позволит установить приставку на минимально допустимом расстоянии от корпуса плуга и обеспечить вы-

полнение технологического процесса с наименьшей удельной материалоемкостью.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лепешкин, Н.Д. Основные направления развития механизации обработки почвы и посева в Республике Беларусь до 2030 года / Н.Д. Лепешкин, А.А. Точицкий, В.В. Мижурич, Д.В. Заяц // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2018. – Вып. 51. – С. 10-16.
2. Назаров, Ф.И. Проектирование катковых приставок с кольчато-прутковыми рабочими органами и обоснование параметров их установки на раме плугов / Ф.И. Назаров // Агропанорама. – 2019. – № 1. – С. 9-16.
3. Проектирование катковых приставок для пахотных агрегатов. Рекомендации / И.С. Крук [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2017. – 104 с.
4. Крук, И.С. Обоснование параметров установки дополнительных орудий для поверхностной обработки почвенных пластов в пахотных агрегатах / И.С. Крук, Ф.И. Назаров, Ю.В. Чигарев, Н.Г. Бакач, Г.А. Радишевский, Ж.И. Пантелеева // Агропанорама. – 2017. – № 6. – С. 10-17.
5. Медведев, В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов / В.В. Медведев. – М.: Агропромиздат, 1988. – 157 с.

6. Медведев, В.В. Использование агрофизических свойств черноземов при разработке почвообрабатывающих машин / В.В. Медведев, П.И. Слободюк, В.Ф. Пащенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – № 3. – С. 6-8.
7. Медведев, В.В. Некоторые изменения физических свойств черноземов при обработке / В.В. Медведев // Почвоведение. – 1979. – № 1. – С. 79-97.
8. Медведев, В.В. Физические свойства и характер залегания плужной подошвы в разных типах пахотных почв / В.В. Медведев // Почвоведение. – 2011. – № 12. – С. 148-149.
9. Кнауэс, А.А. Совершенствование катка-выравнивателя для подготовки почвы к посеву: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.А. Кнауэс. – Новосибирск, 1987. – 163 с.
10. Кузыченко, Ю.А. Научное обоснование эффективности систем севооборотов на различных типах почв центрального и восточного предкавказья: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.01 / Ю.А. Кузыченко. – Ставрополь, 2014. – 290 л.
11. Лебедка сельскохозяйственная ЛС-100А [Электронный ресурс] ОАО «Могилевлифтмаш». – Режим доступа: <https://www.liftmach.by/catalog/lebyedki-selskokhozyaystvennye/>. – Дата доступа: 10.07.2019.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 31.07.2019

### Радиоволновой влагомер зерна

*Предназначен* для непрерывного измерения влажности зерна в процессе сушки на зерносушильных комплексах.

Влагомер обеспечивает непрерывный контроль влажности зерна в потоке и обеспечивает автоматическую коррекцию результатов измерения при изменении температуры материала, имеет аналоговый выход 4-20 мА, а также интерфейс RS-485.



### Основные технические данные

Диапазон измерения влажности зерна	от 9 до 25%
Основная абсолютная погрешность	не более 0,5%
Температура контролируемого материала	от +5 до +65°C
Цена деления младшего разряда блока индикации	0,1%
Напряжение питания	220 В 50Гц,
Потребляемая мощность	30ВА

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕЖВАЛЬЦОВОГО ЗАЗОРА И СООТНОШЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ВАЛЬЦОВ ПРИ ДВУХСТАДИЙНОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ЗЕРНА

Н.А. Воробьев,

проректор по учебной работе и производству БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

С.А. Дрозд,

ассистент каф. стандартизации и метрологии БГАТУ

*В статье приводятся результаты теоретических исследований по обоснованию предельного значения межвальцового зазора и соотношения скоростей валцов первой стадии при двухстадийном измельчении.*

*Ключевые слова: двухстадийное измельчение, вальцовый измельчитель, измельчение зерна.*

*The article presents the results of theoretical studies to substantiate the limiting value of the roll space and the speed ratio of the first stage rollers with two-stage grinding.*

*Keywords: two-stage grinding, roller mill, grain grinding.*

### Введение

В структуре продукции сельского хозяйства Республики Беларусь продукция животноводства составляет 53 %. По производству продукции животноводства на душу населения Беларусь занимает первое место среди стран СНГ [1]. При этом животноводство полностью зависит от состояния растениеводства: около 70 % в общей себестоимости животноводческой продукции занимают корма [2].

Основу полнорационного корма составляют концентрированные корма, основной частью которых является зерно. В Республике Беларусь в 2017 году было собрано 8 млн тонн зерна, из них около 3 млн т пошло на кормовые цели, в том числе для производства комбикормов [1]. Важнейшей технологической операцией производства комбикорма является измельчение зерна [3, 4].

Анализ способов и технических средств измельчения зерна выявил ряд проблем: высокие удельные энергзатраты процесса измельчения, низкий процент содержания требуемой фракции в измельченном зерне, невысокая производительность измельчающего оборудования [5].

Одним из направлений решения вышеприведенных проблем является создание комбинированной технологии и машины, которая совместит две стадии измельчения зерна, что позволит не только сократить энергоемкость процесса, но при этом повысить качество и однородность измельченного материала.

Анализ исследований в области многостадийного измельчения зерна подтверждает, что применение данного способа позволяет снизить удельные энергзатраты процесса измельчения, повысить производительность и степень измельчения, увеличить содержание требуемой фракции в измельченном зерне, при этом снизить содержание пылевидной фракции и по-

падание целых зерен в конечном продукте [6]. Однако при большом количестве исследований двухстадийного измельчения зерна отсутствуют исследования процесса измельчения при сочетании вальцового измельчения на первой стадии и молоткового ротора с вертикальной осью вращения на второй. Не изучалось также влияние соотношения скоростей валцов и межвальцового зазора для первой стадии измельчения на эффективность двухстадийного измельчения зерна [7].

Цель настоящей работы – обосновать теоретическим путем предельное значение межвальцового зазора и соотношения скоростей валцов первой стадии при двухстадийном измельчении.

### Основная часть

Обоснование межвальцового зазора в вальцовом измельчителе будет осуществляться исходя из минимизации удельных энергзатрат на разрушение за счет исключения компрессионного сжатия зерна. Введем допущение, что зерно будет разрушаться между двумя гладкими валцами в замкнутом пространстве.

Следовательно, когда объем полости, в которой происходит сжатие, станет равным объему разрушаемого зерна, начнется компрессионное сжатие зерна, которое сопровождается уплотнением частиц, что приводит к непропорциональному увеличению силы для дальнейшего разрушения зерна, тем самым повышаются удельные энергетические затраты на его измельчение.

Для предотвращения этого вводится условие, ограничивающее деформацию при сжатии:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{V_{\text{зер}}}{V_{\text{пол}}}, \quad (1)$$

где  $V_{\text{зер}}$  – объем зерна, м<sup>3</sup>;

$V_{пол}$  – объем полости, в которой разрушается зерно,  $м^3$ .

Объем полости, в которой происходит разрушение зерна и ограниченной точками ABCD (рис. 1), определяется по формуле:

$$V_{пол} = l_3 \cdot b_3 \cdot \left( h_3 + 2 \left( R_в - \sqrt{R_в^2 - \frac{l_3^2}{4}} \right) \right) - R_в^2 \left( \arccos \left( 1 - \frac{l_3^2}{2R_в^2} \right) - \sin \left( \arccos \left( 1 - \frac{l_3^2}{2R_в^2} \right) \right) \right) b_3 \quad (2)$$

где  $R_в$  – радиус вальца, м;  
 $l_3$  – длина зерна, м;  
 $b_3$  – ширина зерна, м;  
 $h_3$  – толщина зерна, м.

Для определения объема одного зерна введем допущение, по которому его поверхность будет описываться эллипсоидом (рис. 1).

Для нахождения объема зерна используем известную формулу для определения объема эллипсоида [9]:

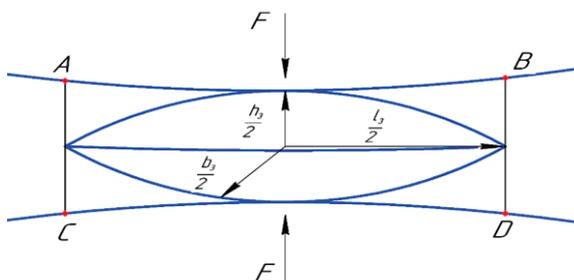


Рис. 1. Схема для расчета объема полости, в которой происходит разрушение, и объема зерна

$$V_{зер} = \frac{1}{6} \pi \cdot l_3 \cdot b_3 \cdot h_3 \quad (3)$$

С учетом формул 2 – 3 условие 1 примет вид:

$$\varepsilon_{max} = \left( \frac{1}{6} \pi \cdot l_3 \cdot b_3 \cdot h_3 \right) \times \left( l_3 \cdot b_3 \cdot \left( h_3 + 2 \left( R_в - \sqrt{R_в^2 - \frac{l_3^2}{4}} \right) \right) - R_в^2 \left( \arccos \left( 1 - \frac{l_3^2}{2R_в^2} \right) - \sin \left( \arccos \left( 1 - \frac{l_3^2}{2R_в^2} \right) \right) \right) b_3 \right)^{-1} \quad (4)$$

где  $V_{зер}$  – объем зерна,  $м^3$ ;  
 $V_{пол}$  – объем полости, в которой разрушается зерно,  $м^3$ ;

$R_в$  – радиус вальца, м;  
 $l_3$  – длина зерна, м;  
 $b_3$  – ширина зерна, м;  
 $h_3$  – толщина зерна, м.

Расчетным путем по зависимости 4 установлено, что отсутствие компрессионного сжатия наблюдается при деформации до 49 % – 53 % (в зависимости от геометрических размеров зерна).

С учетом формулы 1 минимальное значение межвальцового зазора первой стадии измельчения определяется по формуле:

$$b_{min} = \frac{\varepsilon_{max} (b_3 + h_3)}{2}, \quad (5)$$

где  $\varepsilon_{max}$  – максимальная степень деформации, исключаяющая компрессионное сжатие;

$b_3$  – ширина зерна, м;

$h_3$  – толщина зерна, м.

С учетом геометрических размеров зерна различных сельскохозяйственных культур, при помощи формул 4 и 5 получены теоретические значения минимального межвальцового зазора первой стадии измельчения, исключаяющие компрессионное сжатие: для зерна ячменя – 1,5 мм; для зерна пшеницы – 1,4 мм; для зерна ржи – 1,3 мм; для зерна тритикале – 1,4 мм.

Как показывает практика, при найденных значениях деформации сложно получить степень измельчения, необходимую для откорма большинства животных [8]. Поэтому при указанных зазорах целесообразно вальцовый измельчитель применять в качестве первой ступени измельчения с последующим доизмельчением зерна на молотковом измельчителе.

При различной окружной скорости валцов рифли, нанесенные на валцы, оказывают на зерно разрушительное воздействие не только сжатием, но и сдвигом.

Соотношение окружных скоростей валцов оказывает разрушительное воздействие на зерно на длине дуги:

$$L_{AB} = \frac{\pi \cdot D_в \cdot \alpha_{в\_сд}}{360}, \quad (6)$$

где  $\alpha_{в\_сд}$  – угол воздействия сдвига на зерно, град;

$D_в$  – диаметр вальца, м.

В данном выражении угол воздействия сдвига определяет часть окружности вальца, на которой рифли внедряются в зерно и оказывают на него разрушительное воздействие. Его величина равна:

$$\alpha_{в\_сд} = \arccos \left( 1 - \frac{d_{ср} - b_с}{D_в} \right). \quad (7)$$

где  $\alpha_{в\_сд}$  – угол воздействия сдвига на зерно, град;

$D_в$  – диаметр вальца, м;

$b_с$  – средний межвальцовый зазор, м;

$d_{ср}$  – средний диаметр зерна, м.

Длину дуги, которую пройдет быстроходный валец за время прохождения тихоходным вальцом расстояния  $L_{DK}$ , определим по формуле:

$$L_{DK} = L_{AB} \cdot i, \quad (8)$$

где  $i$  – соотношение окружных скоростей валцов, которое определяется через соотношение скорости вращения быстроходного и тихоходного вальца.

Величина сдвига в этом случае определяется как разность между длиной дуги быстроходного и тихоходного вальца:

$$l_{сд} = L_{DK} - L_{AB} = L_{AB} \cdot i - L_{AB} = L_{AB} (i - 1). \quad (9)$$

С учетом исследований ряда авторов [10, 11], введем ограничение, по которому зерно при измельчении на первой стадии должно сохранить свою геометрическую целостность.

Также введем, что зерно представляет собой шар, средним диаметром  $d_{cp}$ . При величине сдвига сверх среднего радиуса  $r_{cp}$  до среднего диаметра  $d_{cp}$  сохраняется целостность зерна, при сдвиге, превышающем средний диаметр зерна, происходит разрушение зерна. За средний диаметр зерна  $d_{cp}$  принимается среднее арифметическое значение ширины  $b_z$  и толщины  $h_z$  зерна, за средний радиус зерна – половина его диаметра.

Визуальная интерпретация допущений и ограничений представлена на рис. 2.

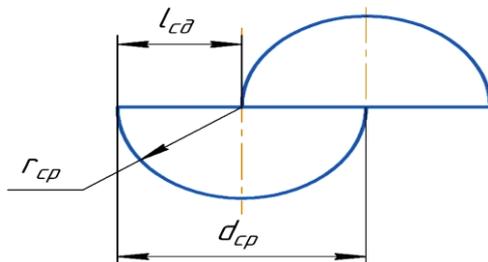


Рис. 2. Схема для определения рационального значения соотношения скоростей валцов

В соответствии с ограничениями и схемой (рис. 2) определим условие, по которому величина сдвига должна находиться в диапазоне между средним радиусом и средним диаметром зерна:

$$r_{cp} \leq l_{cd} \leq d_{cp}. \quad (10)$$

Подставив в условие 10 формулу 9, получим условие, ограничивающее величину соотношения скоростей валцов:

$$\frac{r_{cp}}{L_{AB}} + 1 \leq i \leq \frac{d_{cp}}{L_{AB}} + 1, \quad (11)$$

где  $i$  – соотношение скоростей валцов.

Из условия 11 получим выражения для определения максимального и минимального значения соотношения скоростей валцов:

$$i_{\min} = \frac{r_{cp}}{L_{AB}} + 1, \quad (12)$$

$$i_{\max} = \frac{d_{cp}}{L_{AB}} + 1. \quad (13)$$

Подставив в выражения 12 и 13 формулы (6 – 8), получим формулы для определения максимального и минимального значения соотношения скоростей валцов:

$$i_{\min, \max} = \frac{360d_{cp}}{\pi k_i D_e \arccos \left( 1 - \frac{d_{cp} - b_c}{D_e} \right)} + 1, \quad (14)$$

где  $k_i$  – безразмерный коэффициент, для  $i_{\min}$  (величина сдвига равна среднему радиусу зерна)  $k_i = 2$ ; для  $i_{\max}$  (величина сдвига равна среднему диаметру зерна)  $k_i = 1$ ;

$D_{в}$  – диаметр вальца, м;

$d_{cp}$  – средний диаметр зерна, м;

$b_c$  – средний межвальцовый зазор, м.

Подставив в формулу 14 числовые значения среднего диаметра зерновки  $d_{cp} = 0,00295$  м для ячменя, числовое значение среднего приведенного зазора  $b_c = 0,00155$  м, значение диаметра валцов  $D_e = 0,27$  м, определим, что при межвальцовом зазоре 0,5 мм соотношение скоростей валцов находится в диапазоне 1,09-1,18; при 1,0 мм – 1,11-1,22; при 2,0 мм – 1,20-1,40.

С учетом рассчитанного теоретического значения межвальцового зазора 1,3-1,5 мм, значение соотношения скоростей между валцами должно составить 1,12-1,28.

### Заключение

Теоретически получено, что степень деформации зерна на вальцовой ступени измельчения не должна превышать 53 %. Учитывая, что средний диаметр зерна находится в диапазоне 2,5-3,0 мм, значение минимального межвальцового зазора для первой ступени измельчения должно быть 1,3-1,5 мм, а соотношение скоростей между валцами – 1,12-1,28.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб./ И.В. Медведева [и др.]. – Минск: Национальный стат. комитет Республики Беларусь, 2018. – 229 с.
2. Попков, Н.А. Состояние и перспективы животноводства Беларуси / Н.А. Попков, И.П. Шейко // Зоотехническая наука Беларуси: сб. науч. трудов / Научно-практич. центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству. – 2008. – вып. № 43, т. 1. – С. 3-7.
3. Шило, И.Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства: монография / И.Н. Шило, В.Н. Дашков. – Минск: БГАТУ, 2003. – 183 с.
4. Руководство по технологии комбикормов, белково-витаминно-минеральных концентратов и премиксов: в 2-х т. / В.А. Афанасьев [и др.]. – Воронеж: ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт», 2008. – Т. 2. – 294 с.
5. Дашков, В.Н. Совершенствование технических средств для измельчения фуражного зерна / В.Н. Дашков, Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Агропанорама. – 2013. – № 5. – С. 23-28.
6. Анализ исследований в области двухстадийного измельчения зернофуража / Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Минск: БГАТУ, 2015. – С. 65-68.
7. Воробьев, Н.А. Способ и устройство для двухстадийного измельчения зерна / Н.А. Воробьев,

С.А. Дрозд // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф. «Белагро-2019». – Минск: БГАТУ, 2019. – С. 254-260.

8. Воробьев, Н.А. Анализ зоотехнических требований к качеству измельчения зерна на кормовые цели / Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Минск: БГАТУ, 2019. – С. 267-268.

9. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И.Н. Бронштейн. – М.: Наука, 1981. – 704 с.

10. Елисеев, В.А. Исследование процесса измельчения зерна ударом / В.А. Елисеев: дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 1962. – 189 с.

11. Соловьев, И.К. Исследование механики процесса дробления ингредиентов комбикормов в молотковые дробилки: дис. ... канд. техн. наук / И.К. Соловьев. – Ростов-на-Дону, 1961. – 225 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 23.07.2019

УДК 631.356.4.004.17

## **ОБОСНОВАНИЕ НАГРУЗКИ НА СЕПАРИРУЮЩИЙ ОРГАН КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРИЕМНОЙ ЧАСТИ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ПЛОСКОГО ЛЕМЕХА И ДИСКОВЫХ БОКОВИН**

**Г.А. Радишевский,**

*доцент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**Н.П. Гурнович,**

*доцент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**Г.Н. Портянко,**

*доцент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**С.Р. Белый,**

*ст. преподаватель каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ*

**Е.Ю. Журавский, Н.О. Петроченко, А.С. Мезга,**

*студенты агромеханического факультета БГАТУ*

*В статье рассмотрена целесообразность использования приемной части картофелеуборочных машин, состоящей из плоского лемеха и дисковых боковин. Приведены математические зависимости, позволяющие определять эффективность использования приемной части картофелеуборочной машины, состоящей из плоского лемеха и дисковых боковин в сравнении с существующей конструкцией.*

*Ключевые слова: картофелеуборочная машина, приемная часть, лемех, диск, картофель.*

*The article considers the feasibility of using the receiving part of potato harvesters, consisting of a flat ploughshare and disk sidewalls. Mathematical dependences allowing determining utilization efficiency of the receiving part of potato harvester, consisting of a flat ploughshare and disc sidewalls in comparison with the existing design are given.*

*Keywords: potato harvester, receiving part, ploughshare, disc, potatoes.*

### **Введение**

Картофель относится к числу важнейших сельскохозяйственных культур. Высокая продуктивность, питательная ценность и хорошая приспособляемость к условиям прорастания обусловили широкое его распространение во многих странах.

В Республике Беларусь картофель – одна из основных возделываемых культур, а его уборка является одним из трудоемких процессов, на который приходится более 60 % затрачиваемого труда на производство.

Наиболее перспективным направлением снижения затрат является повышение производительности за счет увеличения поступательной скорости карто-

фелеуборочной машины. Однако увеличение поступательной скорости машины ограничивается пропускной способностью приемной части и сепарирующей способностью рабочих органов.

### **Основная часть**

Используемые в Беларуси картофелеуборочные машины имеют в приемной части в основном плоские лемеха различной конструкции. При использовании их на рыхлых и сыпучих почвах, наблюдается тенденция к сгуживанию подкапываемого пласта, что приводит к неравномерной подаче клубненосного пласта на сепарирующие рабочие органы (рис. 1). Это



Рис. 1. Сгуживание подкапанного пласта картофельной грядки на рабочих органах приемной части картофелеборочной машины

в свою очередь приводит к перегрузке сепарирующих органов и, как следствие, к снижению рабочих скоростей картофелеборочных машин.

Плоский лемех не обеспечивает перерезание растительных остатков, обвалакивающих лезвие, что способствует задержке почвы на лемехе.

Секундная подача почвы в двухрядных картофелеборочных машинах достигает 200 кг и более [1].

Кроме того, плоский лемех при подкапывании картофельной грядки захватывает плотные слои почвы, расположенные в районе междурядий (рис. 2), что затрудняет сепарацию почвы на прутковых элеваторах [2].

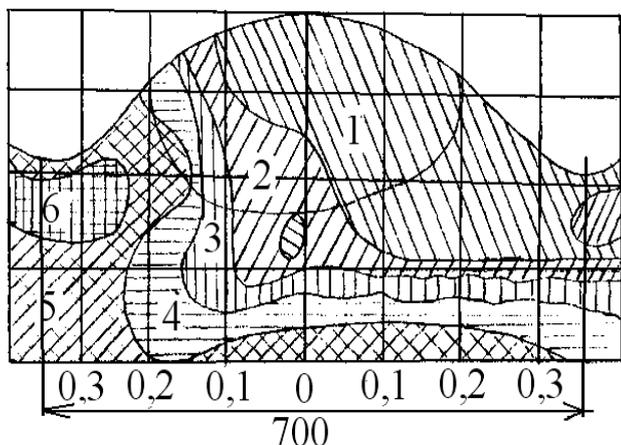


Рис. 2. Расположение зон плотности комков в поперечном сечении картофельной грядки: 1–1,5 кг/см<sup>3</sup>; 2–1,6 кг/см<sup>3</sup>; 3–1,7 кг/см<sup>3</sup>; 4–1,8 кг/см<sup>3</sup>; 5–1,9 кг/см<sup>3</sup>; 6–2,0 кг/см<sup>3</sup>

Одним из перспективных направлений совершенствования подкапывающих органов является установка по краям лемеха дисковых рабочих органов, применение которых позволяет значительно снизить сопротивление подкапывающих органов и также уменьшить количество поступающей почвы на сепарирующие органы.

Общая секундная нагрузка  $Q$  на первый элеватор (количество массы, поступающей на элеватор) опре-

деляется суммой нагрузок почвы  $Q_{п}$ , клубней  $Q_{к}$  и ботвы  $Q_{б}$ , кг/с.

Количество почвы, поступающей на элеватор

$$Q_{п} = \frac{\rho_{п}(100+W)}{100} \left( S_{п} \cdot V_{м} \cdot i - \frac{Q_{к}}{\rho_{к}} \right), \quad (1)$$

где  $\rho_{п}$  – плотность абсолютно сухой почвы, кг/м<sup>3</sup>;

$W$  – влажность почвы, %;

$S_{п}$  – поперечное сечение подкапываемого пласта, м<sup>2</sup>;

$V_{м}$  – поступательная скорость агрегата, м/с;

$i$  – число подкапываемых рядков, шт.;

$\rho_{к}$  – плотность клубней картофеля, кг/м<sup>3</sup>.

Форму сечения подкапываемой грядки принимаем трапециевидальной [3]. Дисковые рабочие органы вырезают из гребня сечение, ограниченное слева и справа двумя следами режущей кромки дисков, спроектированных на фронтальную плоскость, снизу следом режущей кромки лемеха, спроектированной на эту же плоскость (рис. 3). Так как ось вращения дисков расположена в пространстве, то в общем случае

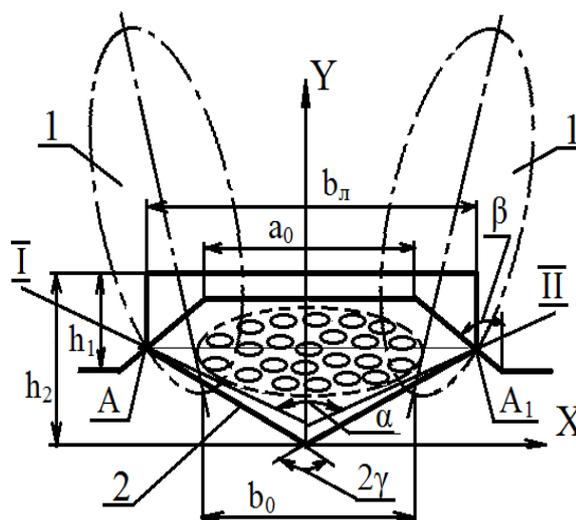


Рис. 3. Схема к определению поперечного сечения подкапываемого пласта: 1 – дисковые боковины; 2 – лемех; I и II – следы проекции условных дисков на фронтальную проекцию;  $2\gamma$  – угол раствора лемеха

следом режущей кромки на фронтальной плоскости является эллипс [4]. Плоский лемех располагается между дисками и имеет две режущие кромки, проекции которых на фронтальную плоскость образуют две пересекающиеся прямые.

Согласно рекомендации [5], след от режущих кромок лемеха можно принять за горизонтальную линию, так как угол между следами незначительно отличается от 180° и ширина лемеха не превышает 450 мм, а диски, расположенные с пространственной осью вращения, могут быть заменены условными дисками с таким же диаметром, ось вращения которых находится в плоскости, перпендикулярной направле-

нию движения машины, причем след условного диска на фронтальной плоскости проходит через точку касания следов диска и лемеха и точку пересечения профиля гребня со следом передней кромки диска (точки А и А<sub>1</sub>).

С учетом принятых допущений, площадь подкопанного пласта может быть определена по выражению:

$$S = \frac{h_2}{\operatorname{tg} \alpha / 2 + \operatorname{tg} \beta} \times \left[ h_2 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha / 2 + b_0 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha / 2 - \frac{(b_0 - a_0)^2}{4h_2} \right], \quad (2)$$

где  $a_0$  – ширина вершины гребня, м;  
 $b_0$  – расстояние между кромками диска на глубине подкопываемого слоя, м;  
 $b_l$  – ширина лемеха, м;  
 $h_1$  – высота гребня, м;  
 $h_2$  – глубина подкопывания, м;  
 $\alpha$  – угол между следами условных дисков на фронтальную плоскость, град;  
 $\beta$  – угол отклонения боковой грани гребня от вертикали, град.

Анализ выражения 2 показывает, что площадь поперечного сечения подкопываемого пласта, поступающего на первый элеватор, при равных условиях, зависит от глубины подкопывания.

Количество поступающих клубней и ботвы на сепарирующие органы

$$Q_k = q_k \cdot n \cdot i \cdot V_m (1 - 0,01\Pi_k);$$

$$Q_b = q_b \cdot n \cdot i \cdot V_m,$$

где  $q_k$  и  $q_b$  – наибольшая масса клубней и ботвы из одного гнезда, кг;

$n$  – число гнезд, шт/м;

$\Pi_k$  – потери в виде невыкопанных клубней, %.

Общее количество подкопанной массы, поступающей на сепарирующие органы

$$Q = 0,01\rho(100 + W) \cdot (S_{II} \cdot V_m \cdot i - Q_k / \rho_k) + n \cdot i \cdot V_m [q_k(1 - 0,01\Pi_k) + q_b]. \quad (3)$$

Расчеты по формуле 3 при  $a_0 = 0,25$  м,  $b_0 = 0,25$  м,  $h_2 = 0,20$  м,  $h_1 = 0,16$  м,  $R_d = 0,375$  м,  $B_n = 0,45$  м,  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\beta = 38^\circ$ ,  $\gamma = 55^\circ$ ,  $n = 4$ ,  $i = 2$ ,  $\rho_n = 1550$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_k = 754$  кг/м<sup>3</sup> и  $W = 20$  % показали, что секундная нагрузка почвой на первом элеваторе при работе четырехрядного комбайна с плоским лемехом, шириной 0,45 м и расположенными по сторонам дисковыми боковинами составила 512 кг, а при использовании серийной подкопывающей части, состоящей из лемеха и пассивных боковин – 618 кг.

Проведенные испытания показали, что при использовании приемной части, состоящей из плоского лемеха и дисковых боковин, за секунду на сепарирующие рабочие органы поступает 573 кг подкопанной

массы, что на 15,6 % меньше, чем при использовании серийной приемной части.

### Заключение

1. Предлагаемая конструкция приемной части картофелеуборочной машины, состоящая из плоского лемеха и дисковых боковин, позволяет производить подкопывание картофельной грядки на повышенных скоростях в сравнении с приемной частью, состоящей из плоского лемеха и пассивных боковин за счет того, что обеспечивается меньший забор подкопанной массы, и, кроме того, дисковые боковины обеспечивают более эффективное перерезание растительных остатков, обвалакивающих лемех, что уменьшает вероятность сгуживания почвы на лемехе.

2. Предложенные математические выражения позволяют вычислить количество поступающей подкопанной массы с целью определения параметров сепарирующей поверхности картофелеуборочных машин.

3. В результате проведенных испытаний установлено, что применение предлагаемой конструкции приемной части позволяет уменьшить загрузку сепарирующей поверхности картофелеуборочного комбайна на 15,6 % в сравнении с приемной частью, состоящей из лемеха и пассивных боковин.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Петров, Г.Д. Картофелеуборочные машины. / Г.Д. Петров – М.: Машиностроение, 1972. – 400 с.
- Bohmig, H.I. Answirkungen der Traktorenfahrspur und deren Ljckerung bei dth mechanischen Pflegearbeiten im Kartoffelbau.: Dt. Agratechnik, 1968. – № 8. – P. 386-387.
- Буяшов, В.П. Загрузка картофелеуборочного комбайна при работе с дисковыми подкопывающими рабочими органами / В.П. Буяшов, В.Е. Кругленя // Технология и механизация возделывания картофеля: материалы науч.-техн. конф., Минск, 1992. – С. 58-59.
- Алферов, Г.С. Исследование взаимодействия дискового рабочего органа с почвой / Г.С. Алферов, Н.М. Лухтов // Рабочие органы и средства для возделывания, уборки и послеуборочной обработки корнеплодов и овощей: сб. научн. тр. / НПО ВИСХОМ. – М.: ВИСХОМ, 1990. – С. 24-31.
- Максимов, Б.И. Исследование путей повышения эффективности процесса сепарации на просеивающих рабочих органах картофелеуборочного комбайна / Б.И. Максимов, Г.А. Трахтенбройт // Исследование и совершенствование машин для уборки корнеплодов и овощей: сб. научн. тр. / НПО ВИСХОМ. – М.: ВИСХОМ, 1982. – С. 54-64.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 11.03.2019

## ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКА МЕТАЛЛОВ С ПОМОЩЬЮ ШТАМПОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНОЙ LOM-ТЕХНОЛОГИИ

**Н.К. Толочко,**

*профессор каф. технологий и организации технического сервиса БГАТУ, докт. ф.-м. наук, профессор*

**О.В. Сокол,**

*ст. преподаватель каф. механики материалов и деталей машин БГАТУ*

*Рассмотрены особенности изготовления матриц и пуансонов с помощью аддитивной LOM-технологии. Обсуждены возможности их применения для листовой штамповки металлов.*

*Ключевые слова: аддитивная технология, ступенчатый поверхностный рельеф, матрица, пуансон, листовая штамповка.*

*The features of manufacturing dies and punches using additive LOM-technology are considered. The possibilities of their use for sheet metal stamping are discussed.*

*Keywords: additive technology, staircase surface relief, die, punch, sheet stamping.*

### Введение

Листовая штамповка широко используется в машиностроении для изготовления металлических деталей. Процессы листовой штамповки подразделяются на разделительные и формоизменяющие. Данная статья посвящена формоизменяющим процессам листовой штамповки металлов, в частности, вытяжной штамповке, при которой происходит образование полых деталей определенной пространственной формы из плоских исходных листовых заготовок. Формоизменение в вытяжном штампе осуществляется с помощью основных его частей (инструментов) – матрицы и пуансона. Пуансон вдавливает в полость матрицы деформируемый металл, в то время как матрица вбирает в себя изменяющий форму металл и пуансон.

Одним из важных показателей качества штампуемых деталей является шероховатость поверхности, которая непосредственно определяется шероховатостью формообразующих поверхностей матрицы и пуансона. Поэтому для снижения шероховатости поверхности штампуемых деталей применяют матрицы и пуансоны с низкой шероховатостью формообразующих поверхностей. Для этого при изготовлении матриц и пуансонов с использованием традиционных технологий металлообработки их формообразующие поверхности подвергают шлифованию и полированию [1].

Изготовление матриц и пуансонов с использованием традиционных технологий металлообработки является длительным и дорогостоящим процессом, поэтому их применение оказывается экономически оправданным при массовом или крупносерийном производстве деталей. В случае мелкосерийного и, тем более, единичного производства, было бы более выгодно применять матрицы и пуансоны, изготовленные с использованием аддитивной LOM-технологии (Laminated Object Manufacturing), которая

позволяет сравнительно быстро и дешево создавать металлические изделия сложной формы, в том числе такие, которые трудно или невозможно получить по традиционным технологиям [2]. Однако, несмотря на свои преимущества, LOM-технология до сих пор не получила распространения при изготовлении матриц и пуансонов для формоизменяющей листовой штамповки. Это объясняется особенностями реализации LOM-технологии и связанными с ними особенностями конструкции изготавливаемых с ее помощью изделий.

Согласно LOM-технологии, изделия создают из листовых металлических выкроек определенной конфигурации. Эти выкройки получают путем контурного раскроя исходных металлических листов, после чего их пакетируют (укладывают в стопку) и соединяют между собой с помощью болтов, склеиванием, пайкой или сваркой [2]. При изготовлении изделий по LOM-технологии толщина металлических выкроек может варьироваться в широких пределах – от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров.

Существенным недостатком изделий, изготавливаемых по LOM-технологии (как, впрочем, и по другим аддитивным технологиям), является наличие ступенчатого рельефа на наклонных или криволинейных участках их поверхностей, что обусловлено послойным характером построения изделий [3]. В случае изготовления LOM-матриц и LOM-пуансонов, этот рельеф образуется на наклонных или криволинейных участках их формообразующих поверхностей. Это существенно ограничивает или вовсе делает невозможным применение таких матриц и пуансонов для листовой штамповки, поскольку ступенчатый рельеф их формообразующей поверхности будет откладывать свой отпечаток на поверхности штампуемых деталей, что может быть крайне нежелательным и даже недопустимым с учетом требований, предъявляемых к качеству деталей.

Обычно ступенчатый рельеф поверхности ЛОМ-изделий стремятся уменьшать, что можно делать двумя путями. Первый путь – уменьшение высоты ступенек рельефа за счет уменьшения толщины листовых выкроек, используемых для построения изделий. Однако это ведет к соответствующему увеличению количества выкроек, необходимых для построения изделий и, как следствие, к увеличению длительности и стоимости изготовления изделий. Второй путь – сглаживание или полное удаление ступенчатого рельефа в результате специальной обработки поверхностей построенных изделий: сначала ступеньки рельефа удаляют фрезерованием, после чего поверхности шлифуют и полируют. Однако такая постобработка опять-таки ведет к увеличению длительности и стоимости изготовления изделий.

В данной статье предложен технический подход к предотвращению негативного влияния ступенчатого рельефа формообразующих поверхностей ЛОМ-матриц и ЛОМ-пуансонов на шероховатость поверхности штампуемых деталей на примере реализации процесса вытяжной штамповки.

### Основная часть

Сущность процесса вытяжной штамповки состоит в размещении листовой металлической заготовки между матрицей и пуансоном и ее последующем формоизменении путем воздействия на нее пуансоном. Предложенный технический подход отличается тем, что заготовку размещают между ЛОМ-матрицей и ЛОМ-пуансоном вместе с двумя листовыми металлическими защитными прокладками, соответствующими заготовке по форме и размерам, так, что заготовка совмещается с прокладками, располагаясь между ними, после чего выполняют формоизменение заготовки вместе с прокладками.

Вытяжную штамповку осуществляли с помощью штампа, у которого ЛОМ-матрица и ЛОМ-пуансон были изготовлены из выкроек листовой стали 45 толщиной 1 мм. Выкройки вырезали с помощью фрезы, затем их собирали в пакеты и стягивали друг с другом посредством потайных болтов. Формообразующие поверхности матрицы и пуансона соответствовали по конфигурации шаровому слою и состояли из двух участков: сферического участка, который образовывал боковую стенку и в матрице, и в пуансоне, и плоского участка – меньшего основания шарового слоя, который образовывал донную часть полости матрицы и торцевую часть пуансона. Исходные заготовки и прокладки, которые вырезали из различных марок листовых металлов, имели форму дисков. Совместное формоизменение заготовки и двух совмещенных с ней прокладок проводили с использованием гидравлического пресса 1671М. Во избежание складкообразования в процессе штамповки, применяли кольцевые прижимы.

Сферические участки формообразующей поверхности ЛОМ-матрицы и ЛОМ-пуансона имели ступенчатый рельеф, высота ступенек составляла 1 мм, т.е. соответствовала толщине листовых выкроек. Во

время штампования этот рельеф отпечатывался на поверхностях прокладок, а именно: ступенчатый рельеф формообразующей поверхности матрицы отпечатывался на сферическом участке нижней поверхности нижней прокладки, обращенной к матрице, а ступенчатый рельеф формообразующей поверхности пуансона – на сферическом участке верхней поверхности верхней прокладки, обращенной к пуансону. В то же время обе поверхности детали и сопряженные с ними поверхности прокладок (верхняя поверхность нижней прокладки и нижняя поверхность верхней прокладки) после штамповки сохраняли исходную шероховатость: на них не было каких-либо отпечатков, которые могли бы оставить ступенчато-рельефные формообразующие поверхности матрицы и пуансона.

На рис. 1 показаны отштампованная деталь и две отштампованные совместно с ней прокладки (нижняя и верхняя). И деталь, и прокладки были получены вытяжной штамповкой из листового алюминиевого сплава А5Н. Заготовка детали и исходные прокладки имели форму диска диаметром 60 мм. Толщина заготовки для детали составляла 1 мм, исходных прокладок – 0,5 мм. После штамповки деталь, а также прокладки приобретали конфигурацию тарелки (в соответствии с конфигурацией формообразующих поверхностей матрицы и пуансона) (рис. 2).

Как видно на рис. 1, обе поверхности отштампованной детали (верхняя поверхность 3 и нижняя поверхность 4), а также сопряженные с ними поверхности отштампованных прокладок (нижняя поверхность 2 верхней прокладки и верхняя поверхность 5 нижней прокладки) являются гладкими. Вместе с тем на сфе-



Рис. 1. Отштампованные образцы детали, верхней и нижней прокладок

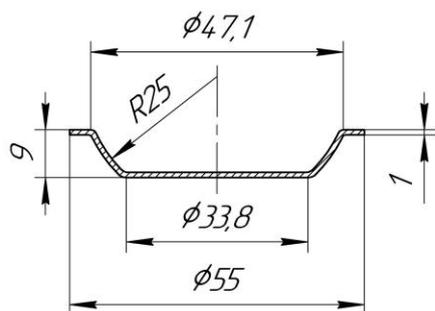


Рис. 2. Схема отштампованной детали

рических участках верхней поверхности 1 верхней прокладки и нижней поверхности 6 нижней прокладки имеется ступенчатый рельеф.

### Заключение

Таким образом, благодаря использованию защитных прокладок при вытяжной штамповке, осуществляемой с помощью ЛОМ-матриц и ЛОМ-пуансонов, становится возможным предотвратить негативное влияние ступенчатого рельефа формообразующих поверхностей матриц и пуансонов на шероховатость поверхности штампуемых деталей. Как следствие, повышается экономическая эффективность применения ЛОМ-матриц и ЛОМ-пуансонов для вытяжной штамповки, поскольку отпадает необходимость в длительной и дорогостоящей постобработке их формообразующих поверхностей, направленной на уменьшение ступенчатого рельефа. Более того, благодаря использованию защитных прокладок, становится возможным осуществлять вытяжную штамповку с помощью ЛОМ-матриц и ЛОМ-пуансонов, которые изготовлены из толстых (до нескольких миллиметров толщиной) листовых выкроек, т.е. обладают высокими ступеньками рельефа формо-

образующих поверхностей. Это, в свою очередь, обеспечивает дополнительное повышение экономической эффективности применения ЛОМ-матриц и ЛОМ-пуансонов для вытяжной штамповки, поскольку, чем больше толщина листовых выкроек, тем меньшее их количество требуется для построения матриц и пуансонов, что ведет к уменьшению длительности и стоимости процесса построения.

Предложенный технический подход к предотвращению негативного влияния ступенчатого рельефа формообразующей поверхности ЛОМ-матриц и ЛОМ-пуансонов на шероховатость поверхности штампуемых деталей за счет использования защитных прокладок в данной статье был продемонстрирован на примере реализации процесса вытяжной штамповки. Однако он может с успехом применяться и к реализации процесса гибочной штамповки, что подтверждается результатами предварительных экспериментов по гибочной штамповке.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитенко, В.М. Штампы листовой штамповки. Технология изготовления штамповой оснастки: текст лекций: в 2-х ч. / В.М. Никитенко, Ю.А. Курганова. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – Ч. 1. – 68 с.
2. Толочко, Н.К. Прямое изготовление металлических деталей с применением ЛОМ-технологии / Н.К. Толочко, А.А. Андрушевич, П.С. Чугаев, Т.А. Богданович // Агропанорама. – 2018. – № 2. – С. 37-41.
3. Толочко, Н.К. Аддитивные технологии: проблема ступенчатого рельефа поверхности / Н.К. Толочко, О.В. Сокол // Агропанорама. – 2019. – № 2. – С. 12-16.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 24.06.2019

**“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.**

**Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным наукам (зоотехния).**

**Журнал выходит один раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842.**

**Стоимость подписки на 2-е полугодие 2019 года: для индивидуальных подписчиков - 19,86 руб., ведомственная подписка - 21,63 руб.**

УДК 631.347.8.004

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛИВНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

**С.Г. Яковчик,**

*генеральный директор РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. с.-х. наук, доцент*

**Н.Г. Бакач,**

*заместитель генерального директора по научной работе  
РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук, доцент*

**В.И. Володкевич,**

*заведующий лабораторией системы машин и технического использования МТП  
РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*

**А.В. Шах,**

*мл. науч. сотр. лаборатории системы машин и технического использования МТП  
РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*

*В статье дана оценка эффективности применяемых технологий поливного земледелия и обоснован выбор средств механизации для их реализации.*

*Ключевые слова: мелиорация, поливное земледелие, технологии орошения, дождевальные машины.*

*The article assesses the efficiency of the applied technologies of irrigation farming and substantiates the choice of mechanization for their implementation.*

*Keywords: reclamation, irrigation farming, irrigation technologies, sprinkling machines.*

### Введение

Повышение эффективности производства сельскохозяйственной продукции невозможно без снижения ее зависимости от неблагоприятных погодных условий.

В течение длительного периода (2000-2018 гг.) в Республике Беларусь наблюдается существенный рост температуры воздуха. Так, среднее отклонение годовой температуры от средней многолетней за период 2010-2018 гг. составило +0,88 °С, а в последние годы этот показатель составляет +1,2 °С. Количество выпадения атмосферных осадков в регионах республики характеризуется сезонной непредсказуемостью. Отклонение годового количества выпадения осадков от среднего многолетнего, например, составило в 2011 и в 2018 годах – 89 %, а в 2015 г. – 82 % от годовой нормы [1]. Особенно это существенно, в первую очередь, для южных районов республики, где около 50 % возделываемых площадей сельскохозяйственных культур расположены в недостаточно увлажненных и засушливых зонах. Вследствие недостатка влаги сводится к минимуму действие других факторов, влияющих в итоге на урожайность сельскохозяйственных культур (удобрений, защиты растений, качества семян, обеспеченности техникой и т.д.). Поэтому в нестабильных погодных условиях перспективным направлением является повышение продуктивности производства продукции на основе реализации технологии искусственного полива почвы, позволяющей создать зоны гарантированного производства, увеличить ее количество с единицы площади, снизить себестоимость и повысить качество.

Целью данной работы является оценка эффективности применяемых технологий поливного земледелия и обоснование выбора средств механизации для их реализации.

### Основная часть

Поливное земледелие – это земледелие в зоне с недостаточным количеством сезонных осадков, основанное на искусственном орошении с помощью ирригационных систем. Оросительные системы построены, в основном, в 1980-1990 гг. и к настоящему времени выработали свой нормативный ресурс. Основная их часть не ремонтировалась и не реконструировалась и находится в неудовлетворительном состоянии. Процесс выхода из строя и отказа от эксплуатации систем орошения сельскохозяйственных земель в стране продолжается. По состоянию на 1 января 2010 года в республике насчитывалось около 46,9 тыс. га орошаемых земель, в 1993-1997 годах – около 131 тыс. га, в 1998-2007 гг. – 115 тыс. га [2]. В настоящее время в Республике Беларусь имеется около 30,7 тыс. га орошаемых сельскохозяйственных земель, в том числе на 10,7 тыс. га используются системы для утилизации животноводческих стоков, в то же время, практически орошение используется только на 3,5 тыс. га.

Одним из важнейших факторов применяемых технологий орошения является качество полива. Оно зависит, в основном, от применяемой поливной техники, которая должна отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать расчетные поливные режимы сельскохозяйственных культур;
- равномерно увлажнять почву в пределах корнеобитаемого слоя по всему полю без непроизводительного сброса воды за пределы поля и в более глубокие слои почвогрунтов;
- обеспечивать механизацию и автоматизацию поливов;
- не препятствовать проведению агротехнических мероприятий и других сельскохозяйственных работ.

В мировой практике для увлажнения почвы в засушливых районах используются такие разновидности полива, как внутривредный полив и капельное орошение, дождевание и поверхностный полив, и поэтому наиболее перспективным способом полива является дождевание. Оно наиболее близко к оптимальному попаданию влаги к растению, то есть к природному выпадению осадков. При такой технологии полива увлажняется не только почва, но и листовая поверхность растений и приземный слой воздуха, что оказывает благоприятное воздействие на вегетацию растений, снижает температуру и повышает влажность воздуха в жаркие, засушливые периоды.

Для дождевания могут использоваться следующие технические средства и оборудование:

– дождевальные установки, к которым относятся короткоструйные, среднеструйные и дальнеструйные установки с переносными трубопроводами на колесах или полозьях, перемещаемые вручную, с помощью тракторов или специальных двигателей; установки с разборными трубопроводами, перемещаемыми при помощи специальных трубоукладчиков; стационарные дождевальные системы с трубопроводами, уложенными в землю; полустационарные дождевальные установки с быстроразъемными трубами, устанавливаемые на орошаемом участке на весь период полива;

– дождевальные машины, в которых механическая или гидравлическая энергия используется для полива и перемещения по орошаемому полю: дальнеструйные тракторные прицепные и навесные машины, двухконсольные дождевальные агрегаты, самоходные многоопорные машины с механическими, гидравлическими и электрическими двигателями;

– стационарные насосные станции, монтируемые в специальном помещении, оснащенные специальным оборудованным водозабором с приводом от тепловых или электрических двигателей и стандартным насосным оборудованием;

– передвижные насосные станции, предназначенные для подачи воды в оросительную сеть дождевальных установок и машин, или непосредственно в дождевальные установки и машины: навесные и прицепные тракторные насосные станции, насосные станции с собственными двигателями внутреннего сгорания и электродвигателями, плавучие насосные станции с двигателями внутреннего сгорания или электродвигателями;

– стационарные трубопроводы, выполняющие роль подводящих и оросительных трубопроводов. Их разделяют на трубопроводы из стальных или асбоцементных

труб, уложенные ниже пахотного слоя и работающие только в летний период, и трубопроводы, уложенные ниже уровня промерзания, с гидрантами для присоединения дождевальных установок и машин, или для присоединения дождевальных аппаратов в условиях стационарных дождевальных систем;

– разборные передвижные трубопроводы с быстроразъемными муфтами, подводящие воду к дождевальным установкам и машинам, или подающие ее в каналы, откуда она забирается дождевальными машинами или передвижными насосными станциями для подачи в дождевальные установки.

Дополнительная дождевальная техника классифицируется в зависимости от типа насадок или аппаратов, с помощью которых создается искусственный дождь, а также места установки этих насадок и аппаратов – на поливном трубопроводе, консольной ферме или тракторе; технологии дождевания, т.е. как происходит полив – в движении машины или позиционно; конструкции оросительной сети – открытые каналы или трубопроводы (постоянные или временные), способа перемещения поливного оборудования (механизированного или с применением ручного труда).

По состоянию на 1 января 2019 года в Республике Беларусь насчитывалось 208 ед. дождевальных машин и оборудования, включая морально и физически устаревшие позиционные устройства, которые отслужили нормативный срок, являются материально-емкими и малоэкономичными [2]. Более половины из них – это машины барабанного типа, обеспечивающие площадь полива за сезон до 50 га. Основными отечественными производителями поливной техники, наряду с коммерческими организациями, поставляющими, в основном, зарубежные образцы, являются ОАО «Гомельский радиозавод» и ГП «Экспериментальный завод». Большинство выпускаемых дождевальных машин работают от закрытой оросительной сети, 70 % трубопроводов которой отслужили свой нормативный срок и требуют ремонта или замены. Значительный износ у запорно-регулирующей арматуры, а 60 % открытых каналов, обеспечивающих работу насосных станций и дождевальных машин, требуют восстановления противофильтрационной облицовки. Особого внимания требуют передвижные и стационарные насосные станции, число которых сократилось и им необходим капитальный ремонт или замена. В изношенном состоянии находятся и водозаборные узлы, пристанционные сооружения и др. Поэтому для их восстановления требуются значительные финансовые средства.

За последние десять лет создан комплекс технических средств, позволяющих проводить орошение: установка дождевальная УД-2500 (ГП «Экспериментальный завод», ОАО «Гомельский радиозавод») (рис. 1), трубопровод разборный полевой ТРП-1200, станция дизель-насосная СДН-100/80 и комплект для оборудования капельного полива ККП-1 (ГП «Экспериментальный завод»). Для повышения эффективности применения оросительной техники и реализации удобрительного орошения создано оборудование для

гидроподкормки ОГД-50 (ОАО «Гомельский радиозавод») (рис. 2). Для реализации технологий капельного орошения овощей и корнеклубнеплодов создан комплект оборудования капельного полива в открытом грунте ККП-1, состоящий из песчано-гравийного фильтра грубой очистки, фильтра тонкой очистки, полимерного коллекторного трубопровода и односекционных полимерных лент капельного орошения. Для полива овощных, кормовых, технических культур и

многолетних трав методом дождевания создана дождевальная установка УД-2500, состоящая из передвижной барабан-машины и оросительной тележки с регулируемой шириной колеи. Полив осуществляется по кругу или сектору с перемещением дождевального аппарата вдоль рядков растений с забором воды из закрытой или открытой оросительной сети. Для капельного орошения в садах создан комплект оборудования капельного полива с автоматизированной

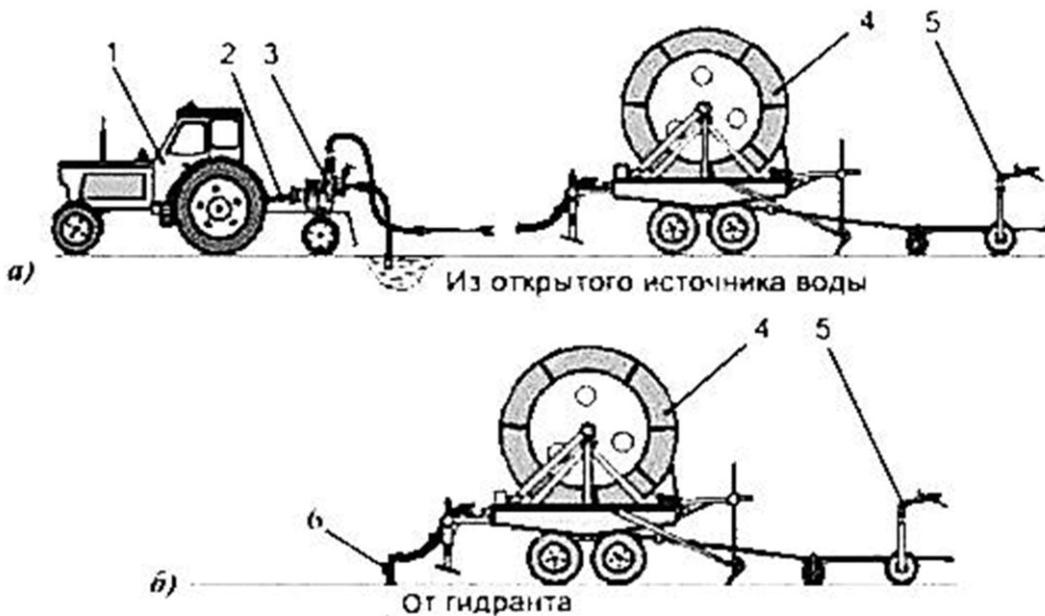


Рис. 1. Конструктивная схема установки дождевальной УД-2500:  
а) из открытого водоема; б) от гидранта закрытой оросительной сети;  
1 – тяговый агрегат; 2 – карданный вал; 3 – водяной насос; 4 – барабан-машина;  
5 – оросительная тележка; 6 – гидрант

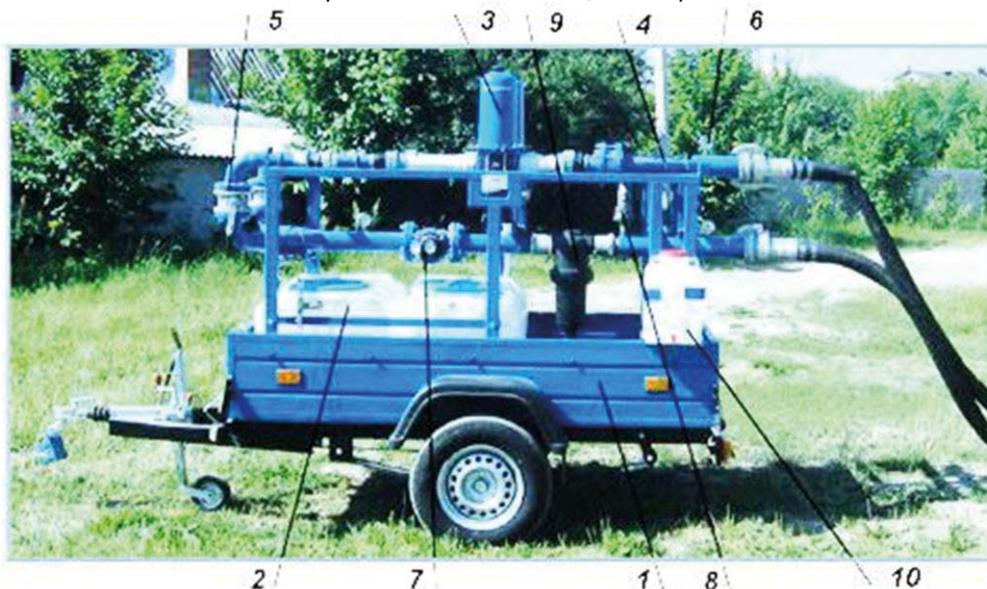


Рис. 2. Оборудование для гидроподкормки к дождевальным установкам ОГД-5:  
1 – прицеп грузовой; 2 – емкость; 3 – дозирующее устройство; 4 – система трубопроводов; 5 – вентили;  
6 – манометры; 7 – расходомер; 8 – предохранительный клапан; 9 – фильтр; 10 – бачок для чистой воды

системой управления КАП-1, выполненный в виде модуля для полива до 2 га. Использование его с автоматизированной системой управления позволяет обеспечить повышение урожайности на 25...30 %, увеличить выход товарных плодов до 90 % и обеспечить на 35...45 % экономию воды по сравнению с дождеванием.

### Заключение

Для реализации технологии поливного земледелия в Республике Беларусь, необходимо определить в каждом регионе республики базовое хозяйство, владеющее передовыми технологиями сельхозпроизводства, предусмотрев первоочередное оснащение его полным комплексом новых технических средств и оросительным оборудованием с учетом региональных особенностей, также требуется переподготовка специалистов, имеющих квалификацию инженера-гидротехника, инженера-мелиоратора и агронома.

Орошение должно сопровождаться соблюдением высокого уровня агротехники и организации сельскохозяйственного производства. При низкой культуре земледелия и отсутствии строгой технологической дисциплины этот прием может стать экономически убыточным даже на овощах.

Орошение сенокосов и пастбищ необходимо осуществлять только на высокопродуктивных, распо-

ложенных недалеко от мест содержания скота, участках с интенсивным использованием травостоя.

Для полива небольших площадей сельскохозяйственных культур в полевых севооборотах (30-50 га) целесообразно использовать дождевальные машины типа УД-2500, ПДМ-2500 и ПДМ-3000 (ОАО «Гомельском радиозавод»).

Для орошения массивов площадью более 50 га необходимо применение широкозахватной дождевальной техники. При разработке и организации мелкосерийного ее производства, следует учесть, что поставка техники на экспорт (Россия, Украина, страны Восточной и Западной Европы) маловероятна из-за конкуренции со странами, где орошение имеет давние традиции, а производство и модернизация оросительной техники осуществляются уже давно.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Охрана окружающей среды в Республике Беларусь: стат. сб. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2019. – С. 84-87.
2. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2018. – С. 38-51.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 06.08.2019

### Мобильная установка для очистки отработанных гидравлических и моторных масел

*Предназначена* для очистки как свежих товарных смазочных материалов, так и ранее использованных масел в ДВС и гидравлических системах, удовлетворяющих техническим требованиям для дальнейшего повторного использования.



Применение установки позволит повысить качество и продлить срок службы моторных и гидравлических масел. Она может использоваться на предприятиях по ремонту и техническому сервису машинно-тракторного парка, а также непосредственно в хозяйствах. Данную установку можно использовать также для профилактической очистки свежих масел, в которых количество загрязнений выше допустимых пределов.

#### Основные технические данные

Производительность установки, л/мин	20
Рабочий объем бака, л	45
Рабочая температура масла, °С	60–90
Мощность маслонагревателя, кВт	6
Время нагрева масла от 10 до 60°С, мин	12
Потребляемая мощность, кВт	1,5
Тонкость очистки, мкм	5–15
Габаритные размеры установки, мм	1250x650x1000
Масса, кг	110

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ТРАКТОРА И СКОРОСТИ МТА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНКРЕТНОЙ ОПЕРАЦИИ С МИНИМАЛЬНЫМ УРОВНЕМ УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ

Ли Цинчжэнь,

соискатель БГАТУ, Китай, Синь Лэ

А.Н. Леонов,

профессор каф. моделирования и проектирования БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

*Методом многофакторного моделирования и многокритериальной оптимизации рассчитаны оптимальные мощность двигателя трактора и скорость движения МТА, обеспечивающие для конкретной операции минимальный уровень удельных затрат  $\gamma_{min}$  при заданной производительности труда  $W \geq W_0$ .*

*Ключевые слова: номинальная мощность двигателя трактора, скорость движения МТА, уровень удельных затрат, производительность труда, многофакторное моделирование, многокритериальная оптимизация.*

*By the method of multifactor modeling and multicriteria optimization, the optimal tractor engine power and MTA speed were calculated, which ensure a minimum level of unit costs  $\gamma_{min}$  for a given labor productivity  $W \geq W_0$ .*

*Keywords: tractor engine rated power, MTA speed, unit cost level, labor productivity, multifactor modeling, multicriteria optimization.*

### Введение

Процесс производства зерна включает в себя операции предпосевной обработки почвы, посева, ухода за посевами и уборки сельскохозяйственных культур, выполняемые различными машинно-тракторными агрегатами (МТА).

Наиболее эффективным методом формирования МТА является математический, заключающийся в моделировании операции с последующей оптимизацией. Математический метод, базирующийся на одновременном знании агротехнологий, средств механизации и методов программирования в недалеком прошлом был достаточно сложным для оперативного применения в аграрных предприятиях. Однако в связи с развитием методов компьютерной математики, моделирование и оптимизация сложных систем аграрно-промышленного комплекса (АПК) существенно упростились.

В работе [1] предложен способ формирования МТА на основе баланса материальных затрат (однотакторное моделирование и однокритериальная оптимизация):

$$C = kpb + \frac{S(L+T+F)}{Vb}, \quad (1)$$

где  $C$  – материальные затраты, у.е.;  
 $k$  – коэффициент амортизации МТА;  
 $p$  – удельная стоимость МТА, у.е./м;  
 $b$  – ширина захвата агрегата, м;  
 $S$  – площадь участка, м<sup>2</sup>;  
 $L$  – стоимость труда, у.е./с;

$T$  – стоимость эксплуатации трактора, у.е./с;

$F$  – стоимость топлива, у.е./с;

$v$  – скорость движения МТА, м/с.

Оптимальная ширина захвата находится из условия  $dC/db = 0$

$$b_{opt} = \sqrt{\frac{S(L+T+F)}{kpv}}. \quad (2)$$

Анализ уравнения (2) показывает, что такой метод не позволяет однозначно рассчитать величину  $b_{opt}$ , так как она зависит от скорости  $v$ .

В работе [2] впервые АПК был исследован как сложная техническая система, всестороннее описание которой реализуется только при наличии конфликтующих между собой параметров оптимизации. В данной работе в качестве таких параметров были приняты: уровень удельных затрат  $\gamma$  и производительность труда  $W$ . Однако использование только одного управляющего фактора – мощности двигателя трактора  $N_{ном}$  не позволяет определить оптимальные значения  $\gamma$  и  $W$ , так как на самом деле оба они зависят от двух независимых факторов –  $N_{ном}$  и  $v$ .

Анализ литературных данных [1, 2], посвященных описанию сложных технических систем, позволяет сделать вывод о том, что в связи с широким внедрением систем компьютерной математики появилась возможность полного изучения систем АПК путем многофакторного моделирования (МФМ) и многокритериальной оптимизации (МКО). В такой постановке проблема определения оптимальной номинальной мощности двигателя трактора и скорости

движения МТА для выполнения конкретной операции с минимальным уровнем удельных затрат при заданной производительности труда является актуальной научно-технической.

Целью настоящей работы является разработка теории для расчета оптимальной мощности двигателя трактора и скорости движения МТА для выполнения конкретной операции с минимальным уровнем удельных затрат при заданной производительности труда.

### Основная часть

Решение поставленной задачи включает в себя 4 этапа.

**Этап I.** Обоснование и выбор параметров оптимизации. В работе в качестве конфликтующих параметров оптимизации выбраны:

1) уровень удельных затрат  $\gamma$ , который является критерием, определяющим интеллект технического решения;

2) производительность труда  $W$ , имеющая большое значение для решения социальных проблем.

Конфликтующий характер этих параметров заключается в том, что увеличение мощности двигателя обуславливает различные тенденции их изменения.

**Этап II.** Обоснование управляющих факторов. Управляющие факторы, характеризующие состояние технической системы, должны быть независимыми и оказывать существенное влияние на параметры оптимизации. В данной работе в качестве таких факторов выбраны:

1) номинальная мощность двигателя трактора  $N_{\text{ном}}$ ;

2) скорость движения агрегата  $v$ .

Интервал их варьирования обусловлен техническими и агротехнологическими требованиями

$$N_{\text{ном}} \in [N_1, N_2], v \in [v_{\text{мин}}^{\text{арп}}, v_{\text{макс}}^{\text{арп}}].$$

Обоснуем выбор управляющих факторов на примере самой энергоемкой операции – вспашки земельного участка. Известно, что мощность на крюке

$$N_{\text{кр}} = k_0 b v, \quad (3)$$

где  $k_0$  – удельное сопротивление сельхозмашины, Н/м.

Из уравнения (3) следует, что в качестве управляющих факторов можно взять 3 комбинации:  $(N_{\text{ном}}, v)$ ;  $(N_{\text{ном}}, b)$ ;  $(b, v)$ . Среди указанных факторов  $N_{\text{ном}}$  является наиважнейшим, так как его значение определяет материальные затраты и производительность труда. Из двух оставшихся факторов  $b$  и  $v$  предпочтительнее отдано  $v$ , так как это непрерывный и легко варьированный фактор (в отличие от  $b$ ). Поэтому в данной статье выбрана пара управляющих факторов –  $N_{\text{ном}}$  и  $v$ .

**Этап III.** Многофакторное моделирование конкретной операции, заключающееся в составлении уравнений, отражающих зависимость параметров оптимизации от управляющих факторов:  $\gamma = \gamma(N_{\text{ном}}, v)$ ,  $W = W(N_{\text{ном}}, v)$ .

$$\gamma = \frac{D}{S}, \quad (4)$$

$$S = L_p C_{\text{уч}}, \quad (5)$$

$$D = D_1 + D_2 + D_3, \quad (6)$$

где  $\gamma$  – уровень удельных затрат, у.е./м<sup>2</sup>;  
 $D, D_1, D_2, D_3$  – затраты: общие, на топливо, труд и амортизацию, у.е.;

$S$  – площадь земельного участка, м<sup>2</sup>;

$L_p$  – длина гона, м;

$C_{\text{уч}}$  – ширина земельного участка, м.

$$D_1 = (1 + k_{\text{смм}}) p_{\text{топ}} (N_{\text{ном}} g_{\text{ном}} t_p + N_{\text{xx1}} g_{\text{xx1}} t_{\text{xx1}} + N_{\text{xx2}} g_{\text{xx2}} t_{\text{xx2}} + G_{\text{ост}} t_{\text{ост}}), \quad (7)$$

где  $k_{\text{смм}}$  – коэффициент использования смазочных материалов;

$p_{\text{топ}}$  – удельная стоимость топлива, у.е./кг;

$g_{\text{ном}}$  – номинальный удельный расход топлива, кг/Дж;

$t_p$  – время работы в загоне, с;

$N_{\text{xx1}}, N_{\text{xx2}}, g_{\text{xx1}}, g_{\text{xx2}}, t_{\text{xx1}}, t_{\text{xx2}}$  – мощность двигателя трактора, удельный расход топлива, время работы в поворотной полосе и при переезде с участка на участок, Вт, кг/Дж, с;

$G_{\text{ост}}$  – расход топлива на остановках, кг/с;

$t_{\text{ост}}$  – время всех остановок на технологические цели, с.

$$t_p = \frac{S}{bv}, \quad (8)$$

$$t_{\text{xx1}} = \left( \frac{l_{\text{xx1}}}{v} \right) \left( \frac{C_{\text{уч}}}{b} - 1 \right), \quad (9)$$

$$t_{\text{xx2}} = \frac{l_{\text{xx2}}}{v}, \quad (10)$$

$$G_{\text{ост}} = \varepsilon N_{\text{ном}} g_{\text{ном}}, \quad (11)$$

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{ост,xx1}} \left( \frac{C_{\text{уч}}}{b} - 1 \right) + t_{\text{ост,xx2}}, \quad (12)$$

$$t_{\text{ост,xx1}} = t_{1,xx1} \frac{N_{\text{ном}}}{N_0} + t_{0,xx1}, \quad (13)$$

$$t_{\text{ост,xx2}} = t_{1,xx2} \frac{N_{\text{ном}}}{N_0} + t_{0,xx2}, \quad (14)$$

где  $b$  – ширина захвата сельхозмашины, м;

$l_{\text{xx1}}$  – длина поворота, м;

$l_{\text{xx2}}$  – длина переезда с участка на участок, м;

$t_{\text{ост,xx1}}, t_{\text{ост,xx2}}$  – время остановок в поворотной полосе, при переезде с участка на участок (на технологические цели), с;

$\varepsilon$  – коэффициент расхода топлива на холостом режиме двигателя;

$t_{1,xx1}, t_{1,xx2}, t_{0,xx1}, t_{0,xx2}$  – технологические константы, характеризующие специфику агротехнологии, с;

$N_0 = 1000$  Вт (для придания  $N_{\text{ном}}/N_0$  безразмерного вида).

$$D_2 = (p_{\text{мех}} n_{\text{мех}} + p_{\text{всп}} n_{\text{всп}})(1 + k_{\text{нак}}) \Delta T, \quad (15)$$

$$p_{\text{мех}} = p_{\text{мех},1} \frac{N_{\text{ном}}}{N_0} + p_{\text{мех},0}, \quad (16)$$

$$p_{\text{всп}} = p_{\text{всп},1} \frac{N_{\text{ном}}}{N_0} + p_{\text{всп},0}, \quad (17)$$

$$\Delta T = (n_{\text{мех}} + n_{\text{всп}}) \Delta t, \quad (18)$$

$$\Delta t = (t_{\text{р}} + t_{\text{хх1}} + t_{\text{хх2}} + t_{\text{ост}}) / k_{\text{см}}, \quad (19)$$

где  $p_{\text{мех}}$ ,  $p_{\text{всп}}$  – удельная оплата труда тракториста и вспомогательного рабочего, у.е./с;

$p_{\text{мех},1}$ ,  $p_{\text{всп},1}$ ,  $p_{\text{мех},0}$ ,  $p_{\text{всп},0}$  – константы, характеризующие специфику оплаты труда, у.е./с;

$n_{\text{мех}}$ ,  $n_{\text{всп}}$  – количество трактористов и вспомогательных рабочих на одном МТА;

$k_{\text{нак}}$  – коэффициент накладных расходов;

$\Delta T$  – суммарное время, затраченное механизаторами на выполнение операции, с;

$\Delta t$  – физическое время выполнения операции, с;

$k_{\text{см}}$  – коэффициент сменности.

$$D_3 = \frac{z_{\text{тр}} C_{\text{тр}} \Delta t (1 + \xi_{\text{тр}})}{\tau_{\text{тр}}} + \frac{z_{\text{схм}} c_{\text{схм}} b \Delta t (1 + \xi_{\text{схм}})}{\tau_{\text{схм}}}, \quad (20)$$

где  $z_{\text{тр}}$ ,  $z_{\text{схм}}$  – коэффициент годовой амортизации трактора и сельхозмашины;

$C_{\text{тр}}$  – стоимость трактора, у.е.;

$c_{\text{схм}}$  – удельная стоимость сельхозмашины, у.е./м;

$\xi_{\text{тр}}$ ,  $\xi_{\text{схм}}$  – коэффициенты затрат на ремонт и техническое обслуживание трактора и сельхозмашины;

$\tau_{\text{тр}}$ ,  $\tau_{\text{схм}}$  – годовая загрузка трактора и сельхозмашины, с.

Уравнения (4)-(20) являются математической моделью параметра оптимизации – уровень удельных затрат  $\gamma$ .

С учетом уравнений (5), (18), (19), (8)-(10), (12)-(14) создадим модель  $W = W(N_{\text{ном}}, v)$

$$W = \frac{S}{\Delta T}, \quad (21)$$

где  $W$  – производительность труда, м<sup>2</sup>/с.

Уравнения (5), (18), (19), (8)-(10), (12)-(14), (21) являются математической моделью параметра оптимизации – производительность труда  $W$ .

Оба параметра оптимизации являются функциями:

1) управляющих факторов  $N_{\text{ном}}$ ,  $v$ ;

2) некоторого количества констант, независимых от  $N_{\text{ном}}$  и  $v$ , например,  $L_{\text{р}}$ ,  $C_{\text{уч}}$ ,  $l_{\text{хх2}}$ ,  $\varepsilon$ ,  $z_{\text{тр}}$ ,  $z_{\text{схм}}$ ,  $f_{\text{тр}}$ ,  $m_{\text{схм}}$  и т.п.;

3) вспомогательных параметров, зависящих от  $N_{\text{ном}}$ ,  $v$ , таких как  $b(N_{\text{ном}}, v)$ ,  $N_{\text{хх1}}(N_{\text{ном}}, v)$ ,  $N_{\text{хх2}}(N_{\text{ном}}, v)$ ,  $g_{\text{хх1}}(N_{\text{ном}}, v)$ ,  $g_{\text{хх2}}(N_{\text{ном}}, v)$ .

Для придания моделям  $\gamma$  и  $W$  законченного вида, вышеуказанные вспомогательные параметры необходимо представить функциями от  $N_{\text{ном}}$  и  $v$  в явном виде.

Для представления  $b$ ,  $N_{\text{хх1}}$ ,  $N_{\text{хх2}}$  функциями от  $N_{\text{ном}}$  и  $v$  воспользуемся балансом мощности МТА [3-5]:

$$N_e = N_{\text{трм}} + N_{\delta} + N_f + N_{\alpha} + N_{\text{кр}} + N_{\text{вом}}; \quad (22)$$

$$N_{\text{трм}} = (1 - \eta_{\text{мг}}) N_e; \quad (23)$$

$$N_{\delta} = \delta N_e \eta_{\text{мг}}; \quad (24)$$

$$\begin{cases} \delta = \delta_{\text{max}} \left[ 1 - (1 - F_{\text{к}} / F_{\text{к max}})^m \right] \\ F_{\text{к max}} = M_{\text{тр}} g (\varphi_{\text{кр max}} + f_{\text{тр,р}}) \\ F_{\text{к}} = N_e \eta_{\text{мг}} (1 - \delta) / v \end{cases} \quad (25)$$

$$N_f = f_{\text{тр}} v \left[ M_{\text{тр}} g + (m_{\text{схм}} b g - F_{\text{оп}}) \right]; \quad (26)$$

$$F_{\text{оп}} = \begin{cases} m_{\text{схм}} b g, & \text{при контакте с почвой,} \\ 0, & \text{в навесном варианте,} \end{cases} \quad (27)$$

$$N_{\alpha} = (M_{\text{тр}} + m_{\text{схм}} b) v g \sin \alpha; \quad (28)$$

$$N_{\text{кр}} = k_{0v} b v = k_0 [1 + \Delta_c (v - v_1)] b v. \quad (29)$$

$$k_0 = k_{\text{пл}} h; \quad (\text{для плугов}) \quad (30)$$

$$N_{\text{вом}} = k_{\text{вом}} N_e, \quad (31)$$

где  $N_e$ ,  $N_{\text{трм}}$ ,  $N_{\delta}$ ,  $N_f$ ,  $N_{\alpha}$ ,  $N_{\text{кр}}$ ,  $N_{\text{вом}}$  – эффективная мощность двигателя трактора, потери мощности в трансмиссии, на буксование, затраты мощности на качение трактора, на преодоление уклона, мощность на крюке, мощность на ВОМ, Вт;

$\eta_{\text{мг}}$  – механический КПД трансмиссии;

$\delta$  – коэффициент потерь мощности на буксование;

$F_{\text{к}}$  – тяговая сила трактора, Н;

$m$  – коэффициент;

$\varphi_{\text{кр max}}$  – коэффициент, равный отношению максимальной тяговой силы на крюке к весу трактора;

$f_{\text{тр}}$  ( $f_{\text{тр,р}}$ ,  $f_{\text{тр,хх1}}$ ,  $f_{\text{тр,хх2}}$ ) – коэффициент сопротивления качению трактора (в загоне, поворотной полосе и при переезде с участка на участок);

$M_{\text{тр}}$  – масса трактора, кг;

$m_{\text{схм}}$  – удельная масса сельхозмашины, кг/м;

$g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;

$F_{\text{оп}}$  – реакция опоры сельхозмашины, Н;

$\alpha$  – угол уклона местности, рад;

$k_{0v}$  – удельное сопротивление сельхозмашины при скорости  $v$ , Н/м;

$k_0$  – удельное сопротивление сельхозмашины при скорости  $v \leq v_1 = 1,4$  м/с, Н/м;

$\Delta_c$  – темп нарастания удельного тягового сопротивления, с/м;

$k_{\text{пл}}$  – удельное сопротивление почвы при вспашке, Н/м<sup>2</sup>;

$h$  – глубина вспашки, м;

$k_{\text{вом}}$  – коэффициент мощности на ВОМ.

Система уравнений (25) задает зависимость  $\delta = \delta(N_{\text{ном}}, v)$  в неявном виде. Если подставить в эту систему значения констант  $\delta_{\text{max}}, m, f_{\text{тр}}, \Phi_{\text{кр max}}, \eta_{\text{мг}}, M_{\text{тр}} = M_{\text{тр}}(N_{\text{ном}})$ , характерных для конкретной торговой марки тракторов, то методом наименьших квадратов (МНК) можно получить уравнение  $\delta = \delta(N_{\text{ном}}, v)$  в явном виде.

Параметр  $b$  рассчитывается из уравнений (22) – (31) при движении МТА в загоне, причем  $N_e = N_{\text{ном}}, F_{\text{оп}} = m_{\text{схм}}bg, f_{\text{тр}} = f_{\text{тр,р}}$

$$b = \frac{(\eta_{\text{мг}} - \delta\eta_{\text{мг}} - k_{\text{вом}})N_{\text{ном}}}{\{k_0[1 + \Delta_c(v - v_0)] + m_{\text{схм}}g \sin \alpha\}v} - \frac{M_{\text{тр}}gv(f_{\text{тр,р}} + \sin \alpha)}{\{k_0[1 + \Delta_c(v - v_0)] + m_{\text{схм}}g \sin \alpha\}v} \quad (32)$$

Мощности двигателя при движении МТА в поворотной полосе ( $j = 1$ ) и при переезде с участка на участок ( $j = 2$ )  $N_{\text{xyj}}$  рассчитываются из уравнений (22) – (31), причем  $N_e = N_{\text{xyj}}, \delta \approx 0, F_{\text{оп}} = 0, f_{\text{тр}} = f_{\text{тр,xyj}}, N_{\text{кр}} = 0, N_{\text{вом}} = 0$

$$N_{\text{xyj}} = (1 - \eta_{\text{мг}})N_{\text{ном}} + (f_{\text{тр,xyj}} + \sin \alpha)(M_{\text{тр}} + m_{\text{схм}}b)gv. \quad (33)$$

Для расчета параметров  $g_{\text{xx1}}, g_{\text{xx2}}$  как функции  $N_{\text{ном}}$  можно воспользоваться параметрическими уравнениями Лейдермана [8]:

$$\frac{g_e}{g_{\text{ном}}} = c_0 - c_0 \left( \frac{n}{n_{\text{ном}}} \right) + \left( \frac{n}{n_{\text{ном}}} \right)^2, \quad (34)$$

$$\frac{N_e}{N_{\text{ном}}} = c_1 \left( \frac{n}{n_{\text{ном}}} \right) + (2 - c_1) \left( \frac{n}{n_{\text{ном}}} \right)^2 - \left( \frac{n}{n_{\text{ном}}} \right)^3, \quad (35)$$

где  $g_e$  – удельный расход топлива при мощности двигателя  $N_e$ , кг/Дж;

$c_0, c_1$  – константы для конкретной марки дизельного двигателя;

$n, n_{\text{ном}}$  – угловая скорость и номинальная угловая скорость коленчатого вала,  $\text{с}^{-1}$ ;

$N_{\text{ном}}$  – номинальная мощность двигателя, Вт;

интервал варьирования  $n/n_{\text{ном}} \in [0,3; 1,0]$ .

Из уравнений (34) и (35) следует, что при  $n/n_{\text{ном}} = 1$ ,  $g_e = g_{\text{ном}}, N_e = N_{\text{ном}}$ .

Минимальное значение  $g_e = g_{\text{мин}}$  получается из уравнения (34) и условия  $dg_e/dn = 0$ :

$$n = n_{\text{гмин}} = c_0 n_{\text{ном}} / 2. \quad (36)$$

Подставляя уравнение (36) в уравнения (34) и (35), получаем

$$g_{\text{мин}} / g_{\text{ном}} = c_0 - c_0^2 / 4, \quad (37)$$

$$N_{\text{гмин}} / N_{\text{ном}} = (4c_1c_0 + 2(2 - c_1)c_0^2 - c_0^3) / 8. \quad (38)$$

Рассчитав значения  $c_0, c_1$  по паспортным данным  $g_{\text{мин}}/g_{\text{ном}}$  и  $N_{\text{гмин}}/N_{\text{ном}}$  для конкретной марки дизельного двигателя, по уравнениям (37), (38), затем методом МНК, используя уравнения (34), (35), получим  $g_e = g_e$

( $N_e$ ) в явном виде, которая позволяет рассчитать удельный расход топлива  $g_{\text{xx1}}$  и  $g_{\text{xx2}}$  при известных значениях  $N_{\text{xx1}}$  и  $N_{\text{xx2}}$ .

**Этап IV.** Многокритериальная оптимизация (метод  $\epsilon$ -ограничений [7]). В качестве целевой функции приняли  $\gamma$  – уровень удельных затрат ( $\text{у.е./м}^2$ )

$$\gamma \rightarrow \min, \quad (39)$$

и наложим ряд функциональных и факторных ограничений:

– социальное требование

$$W \geq W_0, \quad (40)$$

– условие движения МТА

$$P_{\text{сц}} \geq P_{\text{т}} + P_{\text{ф}} + P_{\alpha} \rightarrow, \quad (41)$$

$$\rightarrow \mu M_{\text{тр}}g \geq k_{0v}b + (f_{\text{тр}} + \sin \alpha)M_{\text{тр}}g,$$

где  $P_{\text{сц}}$  – сила сцепления трактора с почвой, Н;

$P_{\text{т}}$  – сила тяги, Н;

$P_{\text{ф}}$  – сопротивление качению трактора, Н;

$P_{\alpha}$  – сопротивление движения трактора на местности с уклоном, Н;

$\mu$  – коэффициент сцепления трактора с почвой.

– экологическое требование

$$\delta \leq \delta_0, \quad (42)$$

– диапазон мощности двигателя тракторов

$$N_1 \leq N_{\text{ном}} \leq N_2, \quad (43)$$

– агротехнологическое требование

$$v_{\text{мин}}^{\text{арп}} \leq v \leq v_{\text{макс}}^{\text{арп}}. \quad (44)$$

Детерминированная многофакторная модель, включающая в себя уравнения (4) – (38) и условия многокритериальной оптимизации, заданные уравнениями (39) – (44), позволяют оптимизировать любую операцию с участием трактора.

Полученную теорию МФМ и МКО проиллюстрируем на примере самой энергоемкой операции – вспашки земельного участка с учетом природно-производственных условий среднего Китая (рис.1).

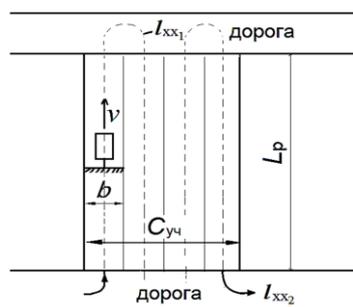


Рис. 1. Структурные параметры земельного участка

Траектории движения МТА в поворотной полосе, различающиеся по своим параметрам, оказывают влияние на энергетический и временной баланс конкретной операции. В данной статье в качестве примера выбрана траектория, часто применяемая в среднем Китае, которая в зависимости от соотношения  $R_0$  и  $b$ ,

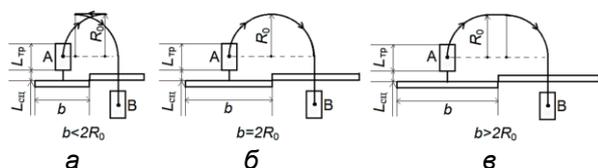


Рис. 2. Схема движения МТА в поворотной полосе  $l_{xx1} = l_{AB}$

состоит из 3-х частей: грибовидная с закрытой петлей (рис. 2а), беспетлевая круговая (рис. 2б), беспетлевая с линейным участком (рис. 2в), описываемая единым

уравнением

$$l_{xx1} = \pi R_0 + |b - 2R_0| + L_{тр} + 2L_{цт}, \quad (45)$$

где  $R_0$  – радиус поворота трактора, м;

$L_{тр}$  – длина трактора, м;

$L_{цт}$  – длина сцепки, м.

В данной статье в качестве энергетических средств выберем линейку тракторов торговой марки «БЕЛАРУС», технико-экономические параметры которых с двигателями Д-260 (ММЗ) и плугами ПЛН приведены в таблицах 1 – 4.

**Таблица 1. Техничко-экономические параметры тракторов торговой марки «БЕЛАРУС» [10 – 12]**

Марка	$N_{ном}$ , кВт	$R_0$ , м	$L_{тр}$ , м	$M_{тр}$ , т	$g_{ном}$ , кг/(кВт·ч)	$10^4 C_{тр}$ , у.е.
«БЕЛАРУС-622»	46	3,9	3,45	2,41	0,319	1,33
«БЕЛАРУС-892.2»	66	4,5	4,13	4,25	0,285	1,97
«БЕЛАРУС-923.3»	70	4,5	4,06	4,50	0,260	3,01
«БЕЛАРУС-1021»	77	4,4	4,19	4,64	0,254	2,76
«БЕЛАРУС-1220.3»	90	5,0	4,60	5,50	0,254	–
«БЕЛАРУС-1221»	96	5,3	4,95	5,30	0,242	3,64
«БЕЛАРУС-1523.3»	116	5,5	4,71	6,00	0,250	–
«БЕЛАРУС-2022.3»	156	5,8	5,23	7,22	0,250	6,49
«БЕЛАРУС-3022»	223	–	6,10	11,5	0,248	12,1
«БЕЛАРУС-3522»	261	6,5	6,10	12,3	0,240	14,5

**Таблица 2. Техничко-экономические константы тракторов торговой марки «БЕЛАРУС» [5]**

$\eta_{мг}$	$\Phi_{кр\ max}$	$\delta_{max}$	$m$	$\xi_{тр}$	$\tau_{тр}$ , ч	$Z_{тр}$
0,85	0,60	0,30	0,20	1,5	1300	0,1

**Таблица 3. Технические константы двигателей ММЗ с турбонаддувом [9]**

Марка двигателя	$N_{g\ мин} / N_{ном}$	$g_{мин} / g_{ном}$	$\epsilon$
Д-260.1, Д-260.2S2, Д-260.4S2	0,87	0,96	0,25

**Таблица 4. Технические константы плугов торговой марки ПЛН [2, 5, 13]**

$K_{смз}$	$K_{вом}$	$L_{цт}$ , м	$m_{схм}$ , кг/м	$p_{схм}$ , у.е./м	$\xi_{схм}$	$\tau_{схм}$ , ч	$Z_{схм}$
0,05	0	2,0	585	1500	0,8	500	0,125

Структурные характеристики земельного участка, технологические и экономические параметры, характерные для среднего Китая, приведены в таблицах 5, 6 и 7.

**Таблица 5. Структурные константы земельного участка**

$L_p$ , м	$C_{уч}$ , м	$L_{xx2}$ , м	$\alpha$ , рад	$\mu$
100–1500	$L_p/2$	500	0	0,7

**Таблица 6. Технологические константы операции «вспашка» [4]**

$f_{тр,р}$	$f_{тр,xx1}$	$f_{тр,xx2}$	$K_{пл}$ , Н/м <sup>2</sup>	$h$ , м	$\Delta_c$ , с/м	$t_{0,xx1}$ , с	$K_{ост,xx1}$ , с	$t_{0,пр}$ , с	$K_{ост,пр}$ , с	$v_{min}^{agr}$ , м/с	$v_{max}^{agr}$ , м/с
0,10	0,10	0,06	35000	0,23	0,02	37	0,32	66	0,36	1,3	3,3

**Таблица 7. Природно-производственные константы для среднего Китая**

$p_{топ}$ , у.е./кг	$K_{нак}$	$K_{см}$	$W_0$ , га/ч	$n_{мех}$	$n_{всп}$	$p_{мех1}$ , \$/с	$p_{мех0}$ , \$/с	$p_{всп1}$ , \$/с	$p_{всп0}$ , \$/с
1	0,35	0,75	1,10	1	0	$2,53 \cdot 10^{-6}$	$7,32 \cdot 10^{-4}$	$2,89 \cdot 10^{-6}$	$6,19 \cdot 10^{-4}$

Для осуществления многокритериальной оптимизации, на базе данных табл. 1, методом МНК получены зависимости вспомогательных параметров  $R_0$ ,  $L_{тр}$ ,  $M_{тр}$ ,  $g_{ном}$ ,  $C_{тр}$  от управляющего фактора  $N_{ном}$  в явном виде (рис. 3 и 4).

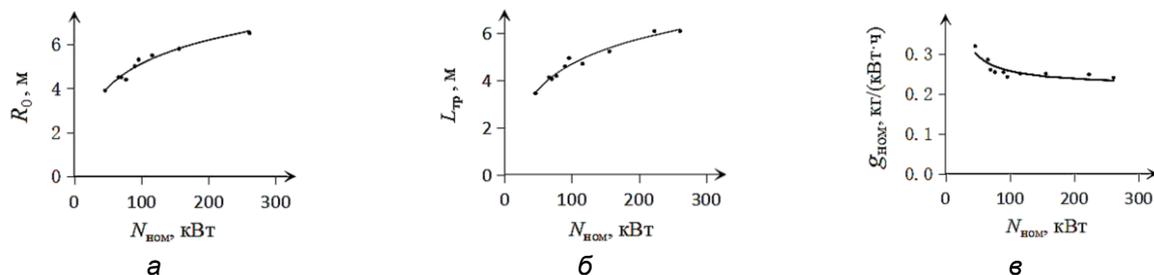


Рис. 3. Графики зависимости радиуса поворота  $R_0$  (а), длины трактора  $L_{тр}$  (б), номинального удельного расхода топлива  $g_{ном}$  (в) от номинальной мощности трактора  $N_{ном}$

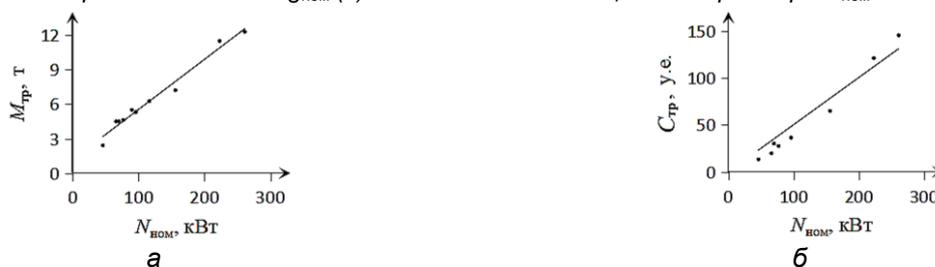


Рис. 4. Графики зависимости  $M_{тр}$  (а) и  $C_{тр}$  (б) от номинальной мощности трактора  $N_{ном}$

$$R_0 = k_R \ln(N_{ном}/N_0) + a_R, R^2 = 0,962, \quad (46)$$

$$L_{тр} = k_L \ln(N_{ном}/N_0) + a_L, R^2 = 0,966, \quad (47)$$

$$g_{ном} = k_g N_0/N_{ном} + a_g, R^2 = 0,538, \quad (48)$$

$$M_{тр} = k_M N_{ном}/N_0 + M_0, R^2 = 0,977, \quad (49)$$

$$C_{тр} = k_C N_{ном}/N_0, R^2 = 0,940, \quad (50)$$

где  $k_R = 1,55$  м;

$a_R = -2,04$  м;

$k_L = 1,55$  м;

$a_L = -2,43$  м;

$k_g = 1,06 \cdot 10^{-6}$  кг/Дж;

$a_g = 6,07 \cdot 10^{-8}$  кг/Дж;

$k_M = 43,7$  кг;  $M_0 = 1170$  кг;

$k_C = 503$  у.е.;

$R^2$  – коэффициент детерминации уравнения регрессии.

На базе данных табл. 2 для  $\eta_{трм}$ ,  $\varphi_{кр\ max}$ ,  $\delta_{max}$ ,  $m$  и системы уравнений (25) методом МНК получено уравнение для коэффициента буксования  $\delta$  в явном виде (рис. 5)

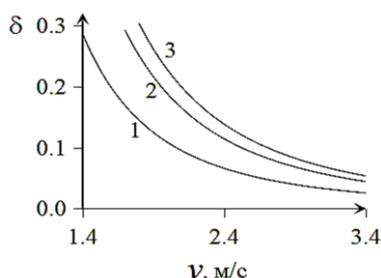


Рис. 5. Графики зависимости  $\delta = \delta(N_{ном}, v)$  от скорости  $v$ : 1 –  $N_{ном} = 60$  кВт; 2 –  $N_{ном} = 160$  кВт; 3 –  $N_{ном} = 260$  кВт

$$\delta = \left[ a_\delta \ln \left( \frac{N_{ном}}{N_0} \right) + b_\delta \right] \left( \frac{v}{v_0} \right)^c, R^2 = 0,971, \quad (51)$$

где  $a_\delta = 0,537$ ;  $b_\delta = -1,48$ ;  $c = -2,73$ ;  $v_0 = 1$  м/с (вводится для придания выражению  $v/v_0$  безразмерного вида).

На базе данных табл. 3 и уравнений (36) и (37) рассчитаны константы  $c_0 = 1,60$ ;  $c_1 = 0,638$ , а затем методом МНК было получено  $g_e = g_e(N_e)$  в явном виде

$$\frac{g_e}{g_{ном}} = 1,70 - 2,79 \left( \frac{N_e}{N_{ном}} \right) + 5,25 \left( \frac{N_e}{N_{ном}} \right)^2 - 5,53 \left( \frac{N_e}{N_{ном}} \right)^3 + 2,37 \left( \frac{N_e}{N_{ном}} \right)^4, R^2 = 1,000. \quad (52)$$

С помощью уравнения (51) для  $N_e = N_{xx1}$ ,  $N_e = N_{xx2}$  (уравнение (33)) рассчитываются удельный расход топлива  $g_{xx1}$  и  $g_{xx2}$ .

Уравнения (46) – (52) статистически значимы по критерию Фишера [6], так как

$$F_3 = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - k - 1}{k} > F_{k, n-k-1; 0,95}, \quad (53)$$

где  $n$  – количество опытов;

$k$  – число переменных факторов;

$F_{k, n-k-1; 0,95} \in (5, 9)$ .

#### Результаты многокритериальной оптимизации

Установлено, что для любого участка с длиной гона  $L_p$ , существуют  $(N_{ном})_{опт}$  и  $v_{опт}$ , которые при  $W \geq W_0$  обеспечивают  $\gamma = \gamma_{min}$ . Например, для  $L_p = 400$  м,  $C_{уч} = 200$  м,  $W \geq 1,10$  га/ч –  $\gamma_{min} = 21,6$  у.е./га,  $W = 1,19$  га/ч, достигаемое при  $(N_{ном})_{опт} = 121$  кВт,  $v_{опт} = 2,38$  м/с (рис. 6). С увеличением  $L_p$  увеличивается не только  $(N_{ном})_{опт}$ ,

но и  $v_{\text{опт}}$  (рис. 6а). Одновременно с этим снижается  $\gamma_{\text{мин}}$  и увеличивается  $W$  (рис. 6б).

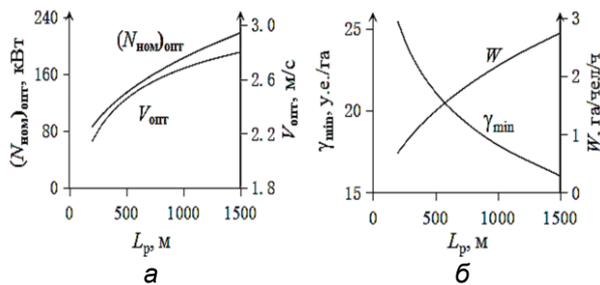


Рис. 6. Графики зависимостей: оптимальной мощности и скорости трактора (а) и минимального уровня удельных затрат и производительности (б) от длины гона

Отметим, что работа при  $W < W_{\text{мин}}$  бессмысленна. В точке «а», например, и уровень удельных затрат высокий и производительность труда низкая. Поэтому работа целесообразна только при  $W \geq W_{\text{мин}}$  (участок б – в). При  $W \geq W_{\text{мин}}$  – налицо конфликтующий характер изменения параметров оптимизации  $\gamma$  и  $W$ : увеличение производительности труда  $W$  возможно только за счет увеличения уровня удельных затрат  $\gamma$ . Например, для участка  $L_p = 400$  м,  $C_{\text{уч}} = 200$  м, увеличение  $W$  с величины 1,19 до 2,19 га/ч возможно только за счет увеличения  $\gamma_{\text{мин}}$  с величины 21,6 до 23,5 у.е./га (рис. 7).

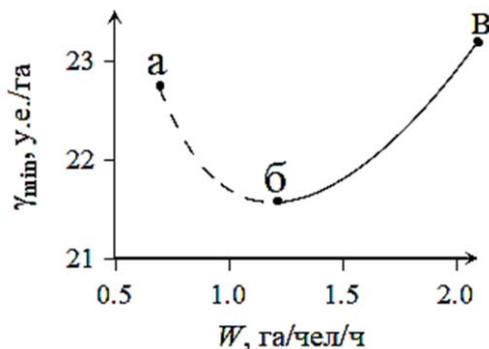


Рис. 7. График зависимости минимального уровня удельных затрат  $\gamma_{\text{мин}}$  от производительности труда  $W$  при  $L_p = 400$  м,  $C_{\text{уч}} = 200$  м,  $v_{\text{опт}} = 2,38$  м/с

### Заключение

1. В результате многофакторного моделирования впервые получена математическая модель, описывающая зависимость двух конфликтующих между собой параметров оптимизации (уровень удельных затрат  $\gamma$  и производительность труда  $W$ ) от двух независимых управляющих факторов (номинальная мощность трактора  $N_{\text{ном}}$  и скорость машинотракторного агрегата  $v$ ).

2. В результате многокритериальной оптимизации впервые рассчитаны оптимальная мощность трактора  $(N_{\text{ном}})_{\text{опт}}$  и скорость движения  $v_{\text{опт}}$  МТА для любой операции, обеспечивающие минимальный уровень удельных затрат  $\gamma_{\text{мин}}$  при заданной производительности труда  $W \geq W_0$ . Показано, что увеличение производительности труда  $W$  достигается только за счет увеличения уровня удельных затрат  $\gamma$ .

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Hunt, D.R. Farm power and machinery management 4th ed. / D.R. Hunt. – Iowa State University Press, 1964. – 156 p.
- Зангиев, А.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка / А.А. Зангиев, А.В. Шпилюк, А.Г. Глевшин. – М.: Колос, 2008. – С. 88-102.
- Техническое обеспечение производства продукции растениеводства / А.В. Новиков [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2011. – 408 с.
- Савочкин, В.А. Тяговый расчет трактора / В.А. Савочкин. – М.: МГТУ, 2001. – 48 с.
- Тверсков, Б.М. Тяговый расчет трактора / Б.М. Тверсков. – Курган: КГУ, 2016. – С. 11.
- Себер, Дж. Линейный регрессионный анализ / Дж. Себер. – М.: Мир, 1980. – 456 с.
- Sawaragi, Y. Theory of Multiobjective Optimization / Y. Sawaragi // J. of Mathematics in Science and Engineering. – Orlando, FL: Academic Press Inc, 1985. – Vol. 176. – 296 p.
- Удельный эффективный расход топлива [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://www.belstu.by/Portals/0/userfiles/217/lekcii/8-Lekciya-Tipi-tractorov-i-avtomobilej--Klassifikaciya.pdf>. – Дата доступа: 25.03.2019.
- Каталог двигателей ММЗ [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <http://www.pomz.minsk.by/catalogue/3>. – Дата доступа: 26.03.2019.
- Цена тракторов МТЗ [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <http://beltrakt.ru/traktory/mtz-800/traktor-belarus-mtz-821>. – Дата доступа: 28.03.2019.
- Технические характеристики тракторов МТЗ [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <http://htz.ru/catalog/mtz/detal/id/208>. – Дата доступа: 28.03.2019.
- Минский тракторный завод [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <http://www.belarus-tractor.com/catalog/tractors>. – Дата доступа: 28.03.2019.
- Плуги ПЛН [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://deal.by/Plug-pln.html>. – Дата доступа: 28.03.2019.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 30.04.2019

УДК 636.2.087.72.37

## ПРОДУКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ РАЦИОНОВ БЫЧКАМИ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ В СОСТАВ КОМБИКОРМОВ ОРГАНИЧЕСКОГО МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО КОМПЛЕКСА

**В.А. Люндышев,**

*доцент каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ, канд. с.-х. наук, доцент*

**В.Ф. Радчиков,**

*зав. лабораторией кормления и физиологии питания молодняка крупного рогатого скота РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству», докт. с.-х. наук, профессор*

**В.П. Цай,**

*ведуц. науч. сотр. лаборатории кормления и физиологии питания молодняка крупного рогатого скота РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству», канд. с.-х. наук, доцент*

*Использование органического микроэлементного комплекса (ОМЭК) или хелатных соединений микроэлементов в составе комбикормов повышает коэффициент продуктивного использования обменной энергии с 0,30-0,71 до 0,35-0,75 и, тем самым, способствует повышению среднесуточных приростов на 9,5-12,3 %.*

*Ключевые слова: комбикорма, хелатные соединения микроэлементов, рационы, энергия, бычки, кровь, приросты.*

*The use of organic microelement complex (OMEC) or chelated trace elements as part of compound feedstuff increases the coefficient of productive use of exchange energy from 0.30-0.71 to 0.35-0.75 and thereby increases the average daily weight gains by 9.5- 12.3 %.*

*Keywords: compound feedstuff, chelated trace elements, rations, energy, bull-calves, blood, weight gains.*

### Введение

Основным источником минералов для животных являются корма. Однако минеральный состав их подвержен значительным колебаниям и зависит от типа почв, климатических условий, вида растений, фазы вегетации, агрохимических мероприятий, технологии уборки, хранения и подготовки кормов к скармливанию и других факторов. Знание естественного содержания микроэлементов в кормах и рационах является обязательным условием для организации рационального питания и получения высокой продуктивности животных [1, 4].

Беларусь относится к Нечерноземной зоне, где в рационах всегда недостает таких микроэлементов, как Zn, Si, Co, I, Mn. Биологическая роль этих элементов исключительно важна не только для обеспечения высокой молочной и мясной продуктивности, но и для здоровья животных и нормальных функций воспроизводства [1].

При несбалансированности минерального питания у животных ухудшается аппетит, снижаются воспроизводительная функция и продуктивность, нарушается структура волосяного покрова. Дефицит микроэлементов может быть вторичным или комплексным, а также возможно одновременное проявление недостатка одного элемента и избытка другого. Например, аналогичные или очень близкие поражения скелета бы-

вают при недостатке Ca, P, Cu, Mn, Zn, витаминов A и D, а также при избытке Mo, F, витамина D. Анемию может вызывать недостаток Fe, Cu, Co, некоторых витаминов или избыток в рационе Mn, Mo, Zn, Cu. Снижение и извращение аппетита отмечено при дефиците Ca, P, Na, Co, Cu, Zn и при избытке многих элементов. В связи с этим при оценке статуса минеральных веществ основное внимание должно быть уделено оперативному и своевременному выявлению субклинических стадий их недостаточности, токсикоза и организации профилактических мероприятий.

В этом направлении одной из важных задач научного поиска является повышение биодоступности микроэлементов. На протяжении последних лет в животноводстве для восполнения дефицита в микроэлементах, как правило, применяют их неорганические формы. Однако установлено, что соли минеральных веществ не полностью усваиваются в желудочно-кишечном тракте животных [1-3].

Такое положение дел вызывает необходимость в разработке и применении добавок микроэлементов к рационам животных в виде органической формы. Многочисленные исследования, проведенные в нашей стране и за рубежом, подтверждают более эффективное положительное влияние на продуктивность животных микроэлементов в органической форме по сравнению с неорганической [1-4].

Необходимые микроэлементы, такие как Zn, Cu, Mn и Co, участвуют в огромном количестве биологических и физиологических процессов, обеспечивая развитие и здоровье животных. Важность микроэлементов в сельском хозяйстве уже доказана и принята, и теперь практически ни один рацион не обходится без их включения.

Установлено, что использование органических соединений повышает усвоение Zn, Cu, Mn, Fe и Co, позволяет более точно нормировать эти микроэлементы и поддерживать продуктивные и воспроизводительные качества животных, увеличение содержания жира и белка в молоке, снижение содержания соматических клеток, процесс формирования иммунного статуса и снижение заболеваемости животных.

Однако до настоящего времени накоплено недостаточно экспериментального материала, позволяющего широко использовать органические формы микроэлементов в составе премиксов в зависимости от типа и структуры рационов, уровня продуктивности и возраста животных.

### **Основная часть**

Для решения поставленных задач был отобран клинически здоровый молодняк крупного рогатого скота с учетом его живой массы, возраста, упитанности и интенсивности роста телят.

Исследования проводились в ГП «ЖодиноАгро-ПлемЭлита» Смолевичского района Минской области.

В первом научно-хозяйственном опыте бычки контрольной группы получали комбикорм КР-1 с премиксом стандартной рецептуры, молоко, ЗЦМ, сено, сенаж, плющенное зерно кукурузы. Молодняк II группы – комбикорм КР-1 с премиксом, включающий кормовую добавку органический микроэлементный комплекс (ОМЭК), помимо основного рациона. В эксперименте использовались бычки в возрасте одного месяца.

Во втором научно-хозяйственном опыте в состав основного рациона телят входили: комбикорм КР-2, сено, сенаж, цельное молоко, ЗЦМ. Различия в кормлении состояли в том, что молодняку II опытной группы в состав комбикорма КР-2 вводили премикс с кормовой добавкой ОМЭК. В исследованиях использовались бычки в возрасте 3-х месяцев.

В третьем научно-хозяйственном опыте в состав основного рациона бычкам были включены: комбикорм КР-3, зеленая масса из злаково-бобовой смеси и сенаж разнотравный. Различия в кормлении животных состояли в том, что животным II опытной группы вводили органический микроэлементный комплекс в состав комбикорма КР-3. Для исследований был отобран молодняк в возрасте шести месяцев.

В процессе научно-хозяйственного опыта изучены:

- общий зоотехнический анализ кормов по общепринятым методикам;
- поедаемость кормов рациона бычками (методом учета заданных кормов и их остатков), проведением контрольных кормлений один раз в декаду в два смежных дня;

- морфологический состав крови: эритроциты, лейкоциты, гемоглобин (прибором Medonic SA 620);
- макро- и микроэлементы в крови: калий, натрий, магний, железо, цинк, марганец и медь (на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-3 производства Германии);

– биохимический состав сыворотки крови: общий белок, альбумины, глобулины, мочевины, глюкоза, кальций, фосфор, магний, железо (прибором CORMAY LUMEN);

- резервная щелочность крови (по Неводову);
- живая масса и среднесуточные приросты (путем индивидуального взвешивания животных в начале и конце опыта);

Отбор проб кормов проводился по ГОСТ 27262-87. Химический анализ кормов проводили в лаборатории биохимических анализов РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству» по схеме общего зоотехнического анализа:

- первоначальная, гигроскопическая и общая влага (ГОСТ 13496.3-92);
- общий азот, сырая клетчатка, сырой жир, сырая зола (ГОСТ 13496.4-93; 13496.2-91; 13496.15-97; 26226-95);
- кальций, фосфор (ГОСТ 26570-95; 26657-97);
- каротин (ГОСТ 13496.17-95);
- сухое и органическое вещество, БЭВ.

Цифровой материал научно-хозяйственных и физиологических опытов обработан методом вариационной статистики. Статистическая обработка результатов анализа проведена по методу Стьюдента, на персональном компьютере, с использованием пакета статистики Microsoft Office Excel 2007.

Вероятность различий считалась достоверной при уровне значимости  $P < 0,05$ .

В процессе проведения опытов осуществлялся контроль клинических показателей за подопытными животными в начале и в конце опытов: частота пульса, количество дыхательных движений и температура тела.

Среднесуточный рацион подопытного молодняка 10-75-ти дневного выращивания представлен во всех группах в основном молочными кормами (ЗЦМ, молоко) с включением сена, сенажа и концентрированных кормов.

Потребление сухого вещества подопытными животными было на уровне 1,71-1,75 кг/сутки. Концентрация обменной энергии в сухом веществе рационов II опытной группы составила 14,6 МДж, против 14,7 – в I контрольной. Сырой протеин в сухом веществе (СВ) рациона контрольной группы занимал 24,5 %, в опытной – 24,3. На 1 МДж, обменной энергии (ОЭ) рациона контрольной и опытной групп приходилось 14,1 г переваримого протеина. Концентрация легкопереваримых углеводов (крахмал и сахар) в СВ рациона I контрольной группы составила 33,5 %, против 32,9 % – во II опытной группе. Соотношение кальция и фосфора в рационе I контрольной группы находилось на уровне 1,3:1, во II опытной – 1,31:1.

Морфо-биохимический состав в научно-хозяйственном опыте характеризовался следующими величинами

ми: эритроциты –  $7,2-7,4 \times 10^{12}/л$ ; гемоглобин – 93-95 г/л; общий белок – 71,3-75,9 г/л; резервная щелочность – 410-425 ммоль/л; глюкоза – 3,1-3,5 ммоль/л; кальций – 2,6-2,9 ммоль/л; фосфор – 2,0-2,3 ммоль/л; каротин – 0,011-0,012 мкмоль/л.

В то же время, в сыворотке крови телят отмечено повышение концентрации общего белка на 6,5 %, снижение количества мочевины на 11%.

В наших исследованиях установлено положительное влияние скармливания в составе комбикорма КР-1 телятам в период выращивания их с 10 до 75-дневного возраста премикса, содержащего в своем составе неорганические соли элементов, и премикса с заменой этих солей органической формой элементов железа, марганца, меди, кобальта, цинка на живую массу и среднесуточные приросты бычков (табл. 1).

Съемная живая массы в конце опыта различалась

**Таблица 1. Живая масса и продуктивность**

Показатель	Группа	
	I контрольная	II опытная
Живая масса в начале опыта, кг	42,5±0,6	41,9±0,64
Живая масса в конце опыта, кг	86,3±1,05	91,1±1,36
Среднесуточный прирост, г	674±21,85	757±18,46*
Увеличение среднесуточного прироста, г	-	83
Увеличение среднесуточного прироста, %	-	12,3
Дополнительный прирост живой массы от 1 животного за опыт, кг	-	5,40
Затраты кормов на 1кг прироста, к. ед.	4,29	3,86
Снижение затрат кормов, к. ед.	-	0,43
%	-	10,0
Затраты обменной энергии на 1 кг прироста, МДж	37,4	33,7
Затраты переваримого протеина на 1 кг прироста живой массы, г	623,3	561,7
Дополнительная условная прибыль в расчете на 1 голову за опыт, у. е.	-	37,2
<i>Примечание: здесь и далее - *P&lt;0,05</i>		

между группами в соответствии с интенсивностью роста телят. Так, наиболее высокое повышение продуктивности на 12,3 % отмечено во II опытной группе.

Сравнительный анализ наглядно показал, что животные II опытной группы наиболее эффективно использовали корма, затраты которых были ниже, чем в контроле на 10,0 %. Затраты обменной энергии на 1 кг прироста составили 33,7 МДж против 37,4 МДж в контрольной группе или на 9,9 % ниже. Такая же тенденция установлена и по затратам переваримого протеина – на 9,8 %.

В расчете на 1 кормовую единицу во втором научно-хозяйственном опыте приходилось 126-127 г сырого протеина. Концентрация обменной энергии в 1 кг сухого вещества рациона составила 10,2-10,3 МДж. Содержание клетчатки было в пределах 13,1-13,2 % при норме 16 % от сухого вещества рациона. Сахаро-протеиновое отношение находилось на уровне 0,89-

0,90:1. Отношение кальция к фосфору составило 1,72-1,76:1, что соответствует норме.

Во втором научно-хозяйственном опыте показатели были следующими: эритроциты –  $6,97-7,13 \times 10^{12}/л$ ; гемоглобин – 96,5-98,2 г/л; общий белок – 72,4-78,0 г/л; резервная щелочность – 429-435 ммоль/л; мочевины – 3,9-3,4 ммоль; глюкоза – 3,2-3,4 ммоль/л; кальций – 2,6-3,1 ммоль/л; фосфор – 2,2-2,3 ммоль/л; каротин – 0,013-0,014 мкмоль/л.

В сыворотке крови молодняка крупного рогатого скота установлено увеличение уровня общего белка на 8,0 %, снижение содержания мочевины на 14 %.

В результате изучения динамики среднесуточного прироста за весь период исследований во втором научно-хозяйственном опыте (табл. 2) установлено, что замещение неорганического микроэлементного комплекса органическим комплексом ОМЭК в количестве 10 % от норм ввода неорганического способствовало повышению среднесуточного прироста на 10,0 %.

Комбикорма в структуре рационов в третьем научно-хозяйственном опыте занимали 47-49 %, трава из злаково-бобовой смеси – 20-23 %, сенаж разнотравный – 30-31 % по питательности. Содержание обменной энергии в расчете на 1 кг сухого вещества рациона составило в контрольной группе 8,0 МДж, а в опытной – 8,4 МДж.

В расчете на 1 кормовую единицу в контрольной группе приходилось 110 г переваримого протеина, а в опытной – 111 г. Содержание кормовых единиц в 1 кг сухого вещества рациона составило в контрольном варианте 0,9 к. ед., а в опытном – 1,0 к. ед., сырого протеина, соответственно, 160 и 161 г. Концентрация клетчатки в сухом веществе рациона находилась на уровне 21,0 и 20,7 % в контрольном и опытных вариантах. Содержание крахмала+сахар в сухом веществе рациона в контрольной группе составило 23 %, а в опытной – 22,8 %. Количество крахмала+сахар по отношению к сырому протеину в рационе молодняка обеих групп находилось на уровне 1,4. Отношение крахмала к сахару составило в рационах животных 1,4:1, сахара к протеину – 0,88-0,90:1, кальция к фосфору – 1,5-1,6:1, что соответствует норме.

В третьем научно-хозяйственном опыте морфо-биохимический состав характеризовался следующими показателями: эритроциты –  $7,9-8,3 \times 10^{12}/л$ ; гемоглобин – 8,4-8,6 г/л; общий белок – 70,4-76,7 г/л; глюкоза – 74,1-74,8 ммоль/л; мочевины – 4,9-4,1 ммоль; резервная щелочность – 495-512 мг%; кальций – 3,0-3,2 ммоль/л; фосфор – 2,2-2,4 ммоль/л; каротин – 0,014-0,016 мкмоль/л.

**Таблица 2. Продуктивность подопытных животных при скармливании кормовой добавки ОМЭК в составе комбикорма КР-2**

Показатель	Группа	
	I контрольная	II опытная
Живая масса, кг		
в начале опыта	89,8±3,59	89,1±3,07
Живая масса в конце опыта, кг	140,8±2,18	145,2±3,12
Прирост живой массы:		
валовой, кг	51,0±1,73	56,1±2,39
среднесуточный, г	823±6,2	905±6,7*
% к контролю	100,0	110,0
Затраты кормов на 1кг прироста, к. ед.	4,5	4,2
Затраты обменной энергии на 1 кг прироста, МДж	55,9	52,6
Затраты переваримого протеина на 1 кг прироста живой массы, г	607,8	556,1
Дополнительная условная прибыль в расчете на 1 голову за опыт, у. е.	-	27,7

У молодняка крупного рогатого скота отмечено повышение содержания общего белка на 9,0 %, снижение уровня мочевины на 16 %.

В результате исследований установлено, что среднесуточные приросты бычков II опытной группы повышались на 9,5 %. Затраты кормов на 1 кг прироста снизились с 6,2 к. ед. в контроле до 5,9 в опытной группе или 6,5 % при включении в состав комбикорма КР-3 премикса с ОМЭК, а затраты обменной энергии с 52,0 МДж до 50,7 МДж или на 4,5% (табл. 3).

Данные по эффективности использования энергии корма на образование прироста живой массы свидетельствуют о том, что у бычков, которым скармливали комбикорм КР-1 с хелатными соединениями микроэлементов (опыт 1), энергия отложения

повысилась на 4,0 % по отношению к обменной энергии. В расчете на 100 кг живой массы энергия отложения составила в контрольной группе 9,8 МДж, а в опытной – 11,1 МДж или на 13,3 % выше, что обеспечило повышение коэффициента продуктивного использования энергии с 0,55 до 0,64, среднесуточного прироста – на 12,3 % (табл. 4).

Включение в состав комбикорма КР-2 органических соединений микроэлементов (опыт 2) обеспечило повышение отложения чистой энергии в расчете на 100 кг живой массы с 8,8 до 9,9 МДж или на 13 %, а коэффициента продуктивного использования обменной энергии с 0,30 до 0,35, что позволило увеличить среднесуточные приросты с 823 до 905 г или на 10 %.

**Таблица 3. Живая масса и среднесуточные приросты бычков при скармливании комбикормов КР-3 с ОМЭК**

Показатель	Группа	
	I контрольная	II опытная
Живая масса, кг		
в начале опыта	175,0±6,5	176,0±5,5
Живая масса в конце опыта, кг	252,8±5,9	261,3±7,1
Прирост живой массы:		
валовой, кг	77,8±6,1	85,3±4,8
среднесуточный, г	828±5,0	907±6,1*
% к контролю	100,0	109,5
Затраты кормов на 1кг прироста, к. ед.	6,2	5,9
Затраты обменной энергии на 1 кг прироста, МДж	52,0	50,7
Затраты переваримого протеина на 1 кг прироста живой массы, г	682,6	647,9
Дополнительная условная прибыль в расчете на 1 голову за опыт, у. е.	-	19,7

**Таблица 4. Эффективность использования энергии корма подопытными бычками**

Группа	Среднесуточный прирост, г	Энергия отложения, %			Отложено на 100 кг живой,	Коэффициент продуктивного использования обменной энергии (КПИ)
		к валовой	к переваримой	к обменной		
Первый научно-хозяйственный опыт						
I	674	13,8	21,1	25	9,8	0,55
II	757	15,9	24,5	29	11,1	0,64
Второй научно-хозяйственный опыт						
I	823	10,6	16,4	19,3	8,8	0,30
II	905	11,6	17,8	21,0	9,9	0,35
Третий научно-хозяйственный опыт						
I	828	14,3	22,0	26	5,3	0,71
II	907	15,9	24,5	29	5,9	0,75

Скармливание комбикорма КР-3 с хелатами молочно-крупного рогатого скота позволило увеличить отложение чистой энергии в расчете на 100 кг живой массы с 5,3 до 5,9 МДж или на 11,0 %, а коэффициент продуктивного использования обменной энергии корма с 0,71 до 0,75, что обеспечило повышение среднесуточных приростов на 9,5 %.

#### Заключение

Установлено положительное влияние органического микроэлементного комплекса на поедаемость кормов, морфо-биохимический состав крови, баланс и использование энергии в организме, продуктивность животных и экономическую эффективность выращивания и откорма.

Скармливание ОМЭК в составе комбикормов КР-1, КР-2 и КР-3 для молодняка крупного рогатого скота оказывает положительное влияние на окислительно-восстановительные процессы в организме бычков, при этом повышается концентрация общего белка на 6,5-9,0 ( $P < 0,05$ ), снижается количество мочевины на 11-16 % ( $P < 0,05$ ), что обеспечивает увеличение среднесуточных приростов животных в зависимости от возраста на 9,5-12,3 % ( $P < 0,05$ ), при снижении затрат кормов на 1 кг прироста на 7-10 %.

Применение органического микроэлементного комплекса позволяет снизить себестоимость прироста в зависимости от возраста молодняка на 7,0-9,0 % и

получить дополнительную прибыль в размере 19,7-37,2 у.е. на голову за период опыта.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Люндышев, В.А. Минеральные добавки в кормлении молодняка крупного рогатого скота / В.А. Люндышев. – Минск: БГАТУ, 2013. – 208 с.
2. Эффективность использования различных доз селена в составе комбикорма КР-2 для бычков / В.Ф. Радчиков [и др.] // Ученые записки ВГАВМ. – 2010. – Т. 46. – № 1-2. – С. 190-194.
3. Радчиков, В.Ф. Физиологическое состояние и продуктивность ремонтных телок при использовании в рационах местных источников белка, энергии и биологически активных веществ / В.Ф. Радчиков, В.Н. Куртина, В.К. Гурин // Зоотехническая наука Беларуси: сб. науч. тр.: ч. 2. – Жодино: РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», 2012. – Т. 47. – С. 207-214.
4. Люндышев, В.А. Эффективность использования органического микроэлементного комплекса в составе комбикорма КР-3 в III периоде выращивания молодняка крупного рогатого скота на мясо / В.А. Люндышев, В.Ф. Радчиков, В.К. Гурин, В.П. Цай // Агропанорама. – 2014. – №5. – С. 21-24.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 12.07.2019

УДК 636.4.082.22

## ОЦЕНКА ПЛЕМЕННЫХ КАЧЕСТВ ЖИВОТНЫХ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД И СОЧЕТАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕЛЕКЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ

И.Н. Казаровец,

ст. преподаватель каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ,  
аспирант лаборатории гибридизации в свиноводстве РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству»

*В статье представлены результаты оценки родительских форм свиней пород БКБ, БМ, БКБхБМ, Й, Л, ЙхЛ, ЛхЙ по репродуктивным качествам, а также проанализирована племенная ценность животных на основе использования селекционных индексов, что позволило выявить генетический потенциал животных и прогнозировать продуктивные качества их потомства.*

*Ключевые слова: селекция, породы: белорусская крупная белая, белорусская мясная, ландрас, йоркшир, репродуктивные качества, собственная продуктивность, селекционные индексы, племенная ценность.*

*The article presents the results of reproductive quality assessment of parental forms БКБ, БМ, БКБхБМ, Y, L, YxL, LxY. The breeding value of animals based on the use of breeding indices, allowing identifying the genetic potential of animals and predicting the productive qualities of their offspring is also analyzed.*

*Keywords: breeding; breeds: Belarusian large white, Belarusian meat breed, Landrace, Yorkshire; reproductive qualities; own productivity; breeding indices; breeding value.*

#### Введение

Свиноводство в Республике Беларусь – одна из значимых отраслей животноводства, которая выступает гарантом продовольственной безопасности,

обеспечивая население страны высококачественной свининой и продуктами ее переработки [1, 2, 5, 7].

Основными породами, разводимыми в республике, остаются белорусская крупная белая, белорусская черно-пестрая и белорусская мясная, которые по при-

чине не соответствия мировым аналогам по уровню мясных качеств, не в состоянии обеспечить современные потребности рынка [7].

Для увеличения производства свинины на данном этапе, приобретает актуальность внедрение более прогрессивных методов разведения, а также привлечение лучших специализированных мясных пород западноевропейской селекции, адаптированных к промышленным технологиям республики [4, 6].

Особое значение имеет оценка племенной ценности животных, которая в большинстве случаев основана на субъективном представлении о роли селекционных признаков в системах отбора. Так, существующие традиционные методы оценки племенных качеств животных за последнее десятилетие позволили повысить продуктивность животных не более чем на 5-7 %, а многоплодие, например, всего на 0,6-0,8 поросенка [2, 4].

В большинстве развитых стран одним из приоритетных направлений, определяющих эффективность и темпы в прогнозировании племенной ценности животных, являются методы оценки племенной ценности свиней с использованием селекционных индексов. Исключительно важное значение для повышения продуктивности отрасли имеет оценка и использование более эффективных кроссов вновь создаваемых материнских линий и специализированных мясных пород и типов [1, 3, 5].

Целью настоящей работы является оценка племенных качеств родительских форм свиноматок (БКБ, БМ, БКБхБМ, Й, Л, ЙхЛ, ЛхЙ) по репродуктивным качествам родительских форм с использованием селекционных индексов.

### Основная часть

Исследования проводились на базе РСУП «ЖодиноАгроПлемЭлита» Минской области и СГЦ «Заднепровский» Витебской области. Объектом исследования являлись высокопродуктивные чистопородные животные: белорусской крупной белой породы (БКБ), белорусской мясной (БМ), а также завезенные в 2016 году из Дании племенные животные пород ландрас (Л) и йоркшир (Й). Группы были сформированы с учетом возраста, находились в одинаковых условиях содержания и кормления согласно технологии, принятой в хозяйствах, и с соблюдением оптимальных зоогигиенических параметров микроклимата.

В условиях хозяйств были сформированы семь групп молодняка, по 30 голов в каждой. В качестве контроля использовались чистопородные животные: БКБхБКБ, БМхБМ и двухпородные, полученные от скрещивания БКБхБМ. В опытных группах оценивался молодняк при чистопородном разведении ЛхЛ, ЙхЙ и полученный в результате двухпородного скрещивания ЙхЛ, ЛхЙ. Отбор молодняка с последующей оценкой по развитию проводился согласно ОСТ 102-86.

Племенную ценность свиней осуществляли по следующим показателям: многоплодие (гол); крупноплодность (кг); масса гнезда при рождении (кг); молочность (кг); масса гнезда при отъеме в 30 дней (кг); среднесуточный прирост животного от рождения до достижения массы 100 кг (г); содержание постного мяса (%).

Все результаты исследований обработаны биометрически на персональном компьютере с применением пакета программы Microsoft Excel.

В наших исследованиях на первом этапе оценивались уровень воспроизводительных способностей свиноматок и откормочных качеств молодняка отечественных и импортных пород, а также их сочетаний [8].

Полученные материалы дали возможность использовать на втором этапе исследований селекционные индексы для оценки как племенной ценности подбираемых животных по селекционируемому признаку, так и эффект сочетаемости по достоверному увеличению показателей продуктивности.

Использование селекционных индексов свидетельствует о качественно новом подходе к оценке животных. Именно они представляют собой ту шкалу отбора, на основании которой можно количественно дифференцировать животных по племенной ценности. Необходимость их использования состоит еще в том, что в настоящее время при создании новых пород и типов отбор ведется по многим количественным признакам, имеющим различное селекционное и экономическое значение [1, 2].

Проведенная оценка племенной ценности свиноматок по продуктивности с использованием селекционных индексов представлена в таблице 1.

Индекс среднесуточного прироста от рождения до 100 кг определяли по формуле:

$$\text{Исп} = h_{\text{сп}}^2 \frac{P_{\text{сп}} - \bar{P}_{\text{сп}}}{\bar{P}_{\text{сп}}} \times 100 + 100, \quad (1)$$

где  $h_{\text{сп}}^2$  – коэффициент наследуемости среднесуточного прироста от рождения до живой массы 100 кг – (0,35);

$P_{\text{сп}}$  – среднесуточный прирост от рождения до живой массы 100 кг;

$\bar{P}_{\text{сп}}$  – среднесуточный прирост от рождения до живой массы 100 кг по популяции.

Индекс многоплодия рассчитывали по следующей формуле:

$$\text{Им} = h_{\text{м}}^2 \frac{P_{\text{м}} - \bar{P}_{\text{м}}}{\bar{P}_{\text{м}}} \times 100 + 100, \quad (2)$$

**Таблица 1. Оценка племенной ценности свиноматок по репродуктивным качествам с использованием селекционных индексов, баллы (n=30)**

Индексы	Сочетание генотипов ♀х♂						
	контрольные группы			опытные группы			
	БКБхБКБ	БМхБМ	БКБхБМ	ЙхЙ	ЛхЛ	ЙхЛ	ЛхЙ
Среднесуточный прироста	97,2	98,4	99,3	100,5	99,8	102,5	101,7
Многоплодия	99,9	98,9	99,5	100,3	100,0	100,8	100,0
Массы гнезда при отъеме	100,2	97,4	100,9	100,3	99,3	101,3	100,1
Содержания постного мяса	97,0	98,7	98,1	99,8	102,4	101,6	102,0

где  $h_m^2$  – коэффициент наследуемости многоплодия – (0,15);

$P_m$  – среднее многоплодие свиноматок;

$\bar{P}_m$  – среднее многоплодие по популяции.

Для расчета индекса массы гнезда при отъеме применяли формулу:

$$\text{ИмГ} = h_{\text{мГ}}^2 \frac{P_{\text{мГ}} - \bar{P}_{\text{мГ}}}{\bar{P}_{\text{мГ}}} \times 100 + 100, \quad (3)$$

где  $h_{\text{мГ}}^2$  – коэффициент наследуемости массы гнезда при отъеме – (0,20);

$P_{\text{мГ}}$  – средняя масса гнезда при отъеме свиноматки;

$\bar{P}_{\text{мГ}}$  – средняя масса гнезда при отъеме по популяции.

На основании полученных данных был рассчитан комплексный индекс племенной ценности основных свиноматок для материнских линий по формуле:

$$\text{КИс} = 0,30 \times \text{Исп} + 0,50 \times \text{Им} + 0,20 \times \text{ИмГ}, \quad (4)$$

где КИс – комплексный индекс основных свиноматок;

Исп – частный индекс по среднесуточному приросту от рождения до 100 кг;

Им – частный индекс многоплодия;

ИмГ – частный индекс массы гнезда при отъеме; 0,30; 0,50; 0,20 – относительные весовые коэффициенты частных индексов.

Индекс содержания постного мяса в теле рассчитывали по формуле:

$$\text{Испм} = h_{\text{спм}}^2 \frac{P_{\text{спм}} - \bar{P}_{\text{спм}}}{\bar{P}_{\text{спм}}} \times 100 + 100, \quad (5)$$

где  $h_{\text{спм}}^2$  – коэффициент наследуемости содержания мяса в теле – (0,60);

$P_{\text{спм}}$  – содержание мяса в теле у свинок;

$\bar{P}_{\text{спм}}$  – среднее содержание мяса в теле по популяции.

На основе отдельных индексов по среднесуточному приросту, многоплодию, массе гнезда при отъеме и по содержанию постного мяса рассчитан комплексный индекс племенной ценности основных свиноматок для отцовских линий:

$$\text{КИс} = 0,30 \times \text{Исп} + 0,15 \times \text{Испм} + 0,30 \times \text{Им} + 0,25 \times \text{ИмГ}, \quad (6)$$

где КИс – комплексный индекс основных свиноматок для отцовских линий;

Исп – частный индекс среднесуточного прироста от рождения до 100 кг;

Им – частный индекс многоплодия;

Испм – частный индекс содержания постного мяса;

ИмГ – частный индекс массы гнезда при отъеме; 0,30; 0,15; 0,30; 0,25 – относительные весовые коэффициенты частных индексов.

Результаты оценки свиноматок по репродуктивным качествам с использованием комплексных индексов племенной ценности представлены на рисунке 1.

Проведя анализ полученных данных, можно сделать выводы о том, что величина

на баллов селекционных индексов свиноматок импортных генотипов имеет преимущество по сравнению с отечественными животными. Лучшими при оценке племенной ценности были свиноматки опытных групп родительских форм генотипов ЙхЛ и ЛхЙ, комплексный индекс которых составил 101,4-101,6 и 100,5-100,8 баллов.

Академик И.П. Шейко подчеркивает, что высокую продуктивность хряков и маток в стаде удается удерживать из года в год только в том случае, если ремонт стада осуществляется за счет свинок и хрячков, полученных от лучших по продуктивности животных с высокой племенной ценностью. Используемая в нашей стране комплексная оценка по классам (баллам) не предусматривает количественного подхода к изменению всех селекционных показателей, в результате чего в одном классе могут оказаться разные по племенной ценности животные [2]. Поэтому использование селекционных индексов позволило рационально ранжировать свиноматок и отобрать 10 лучших в ведущие подгруппы по каждой породе и их сочетаний для дальнейшего разведения (табл. 2).

В результате сравнительной оценки репродуктивных качеств свиноматок опытных групп, выделенных в ведущие подгруппы, установлено, что наиболее высокими репродуктивными качествами отличались свиноматки финальных родительских форм генотипа ЙхЛ, у которых многоплодие составило 13,0 голов, крупноплодность – 1,6 кг, молочность – 66,4 кг, количество поросят при отъеме в 30 дней – 11,0 голов, масса поросенка при отъеме в 30 дней – 10,6 кг и масса гнезда при отъеме – 112,4 кг, и превосходили своих сверстников из подопытных подгрупп на 3,1%; 6,3; 6,0; 11,3; 3,8 и 11,1% соответственно.

В контрольных группах можем выделить свиноматок генотипа БКБхБМ, соответствующие показатели которых составили: многоплодие – 11,9 голов; крупноплодность – 1,6 кг; молочность – 63,0 кг; количество поросят при отъеме в 30 дней – 10,9 гол; масса поросенка при отъеме – 10,3 кг; масса гнезда при отъеме в 30 дней – 108,2 кг, что выше в сравне-

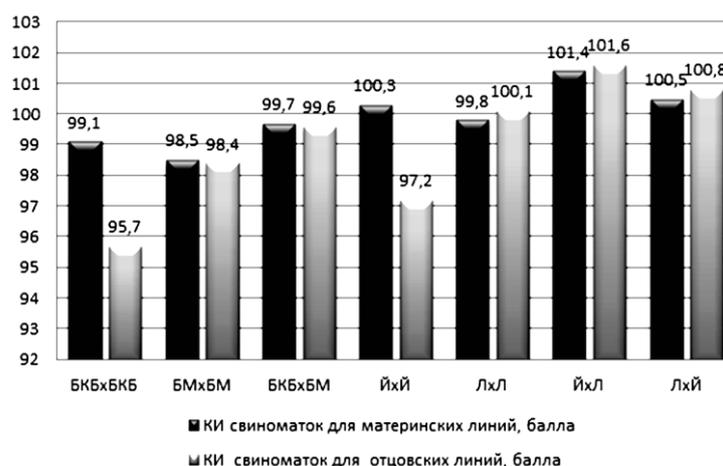


Рис. 1. Оценка репродуктивных качеств свиноматок с использованием комплексных индексов племенной ценности (n=30)

**Таблица 2. Репродуктивные качества свиноматок различных пород и сочетаний, подопытные подгруппы (n-30 голов), ведущие подгруппы (n-10 голов)**

Группы, подгруппы Показатели	Сочетание генотипов ♀х♂						
	контрольные группы			опытные группы			
	БКБхБКБ	БМхБМ	БКБхБМ	ЙхЙ	ЛхЛ	ЙхЛ	ЛхЙ
<b>Многоплодие, гол</b>							
подопытные	11,8±1,3	10,9±2,0	11,3±1,8	12,1±1,3	12,3±1,7	12,6±1,4	12,3±1,7
ведущие	12,2±1,4	11,3±1,5	11,9±1,4	12,8±1,5	12,9±1,7	13,0±1,8	12,9±1,9
<b>Масса поросят при рождении, кг</b>							
подопытные	1,5±0,2	1,5±0,3	1,4±0,2	1,4±0,3	1,4±0,4	1,5±0,2	1,5±0,3
ведущие	1,6±0,3	1,6±0,2	1,6±0,3	1,6±0,4	1,5±0,5	1,6±0,5	1,5±0,8
<b>Молочность свиноматок, кг</b>							
подопытные	59,4±4,8	56,8±5,4	60,0±4,4	59,8±5,4	58,2±6,0	62,4±4,8	59,0±5,5
ведущие	60,8±5,6	57,8±7,5	63,0±6,8	61,8±7,8	62,8±8,4	66,4±6,9	60,3±7,9
<b>Количество поросят при отъеме в 30 дней, голов</b>							
подопытные	9,8±0,4	9,0±0,6	9,5±0,5	9,7±0,5	9,6±0,7	9,8±0,8	9,4±0,4
ведущие	10,7±0,6	9,8±0,5	10,9±0,7	10,5±0,7	10,2±0,6	11,0±0,7	10,5±0,8
<b>Масса поросенка при отъеме, кг</b>							
подопытные	9,8±0,21	9,0±0,32	9,9±0,24	10,1±0,23	9,8±0,33	10,2±0,29	9,8±0,31
ведущие	10,2±0,19	9,8±0,17	10,3±0,21	10,4±0,32	10,1±0,30	10,6±0,29	10,2±0,31
<b>Масса гнезда при отъеме, кг</b>							
подопытные	96,0±11,0	81,0±10,2	94,1±12,4	98,0±18,1	94,1±15,9	99,9±14,8	92,1±17,0
ведущие	104,5±8,9	96,5±5,4	108,2±7,6	103,5±17,0	98,8±18,6	112,4±15,9	101,6±18,6

нии с аналогами из подопытных подгрупп на 5,0%; 12,5; 4,8; 7,5; 3,9 и 13,0% соответственно.

Таким образом, оценивая комбинационную сочетаемость породно-линейных гибридов при спаривании родительских исходных форм (табл. 2), определено, что использование маток породы йоркшир с хряками породы ландрас имели значительно лучшие репродуктивные показатели в сравнении со свиноматками генотипа БКБхБМ. Так, по показателям многоплодия превосходство свиноматок генотипа (ЙхЛ) над свиноматками (БКБхБМ) составило – 1,1 гол или 8,5 %, молочности – 3,4 кг или 5,1 %, количеству поросят при отъеме в 30 дней – 0,1 гол или 0,9 %, массе поросенка при отъеме – 0,3 кг или 2,8 % и массе гнезда при отъеме – 4,2 кг или 3,7 %.

Использование селекционных индексов дает возможность выделять в группах лучших в племенном отношении животных и способствует выявлению специфической комбинационной способности по репродуктивным качествам свиноматок. Так, по показателям многоплодия в среднем по опытным группам превосходство ведущих подгрупп составило – 0,6 голов или 4,7 %, крупноплодности – 0,1 кг или 6,3 %, молочности – 3,0 кг или 4,8 %, количеству поросят при отъеме в 30 дней – 1,0 гол или 9,4 %, массе поросенка при отъеме в 30 дней – 0,4 кг или 3,9 % и массе гнезда при отъеме – 8,1 кг или 7,8 %. По контрольным группам превосходство ведущих подгрупп в среднем составило 0,4 голов или 3,4 %, 0,1 кг или 6,3 %, 1,8 кг – 3,0 %, 1,1 голов или 10,5 %, 0,5 кг или 5,0 %, 12,7 кг или 12,4 % соответственно.

Экономия денежных средств от реализации свинины в живой массе в расчете на одну свиноматку, выделенную в ведущие группы с использованием селекционных индексов, по отношению к сверстникам подопытных групп составила: ЛхЛ – 242,2 руб.

или 6,5 %; БМхБМ – 314,8 или 9,1%; ЙхЙ – 335,8 или 8,9%; БКБхБКБ – 382,9 или 11,1%; ЙхЛ– 527,5 или 12,6%; ЛхЙ – 580,0 руб. или 16,1 %.

#### Заключение

1. Проведена оценка животных родительских форм пород БКБ, БМ, БКБхБМ, Л, Й, ЙхЛ и ЛхЙ по репродуктивным качествам, у которых многоплодие варьировалось в пределах 10,9-12,6 голов; молочность – 56,8-62,4 кг; количество поросят, масса поросенка и масса гнезда при отъеме – 9,0-9,8 голов; 9,0-10,2 и 81,0-99,9 кг соответственно.

2. Комплексный индекс племенной ценности свиноматок финальных родительских форм отцовских и материнских линий ЙхЛ составил – 101,4-101,6; ЛхЙ – 100,5-100,8; ЛхЛ – 99,6-100,1; ЙхЙ – 100,3-97,2; БКБхБМ – 99,7-99,6; БМхБМ–98,5-98,4; БКБхБКБ – 99,1-95,7 баллов соответственно.

3. Использование селекционных индексов позволило выделить в группах лучших в племенном отношении свиноматок по репродуктивным качествам.

4. Животные ведущих подгрупп генотипа ЙхЛ, отобранные при помощи комплексных селекционных индексов, превосходили свиноматок генотипа БКБхБМ по многоплодию на 1,1 гол или 8,5 %, молочности – 3,4 кг или 5,1 %, количеству поросят при отъеме в 30 дней – 0,1 гол или 0,9 %, массе поросенка при отъеме – 0,3 кг или 2,8 % и массе гнезда при отъеме – 4,2 кг или 3,7 %.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шейко, Р.И. Оценка племенных качеств родительских форм свиноматок с использованием селекционных индексов / Р.И. Шейко // Вес. Нац. акад.

наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2019. – № 2. – С. 216-229.

2. Шейко, И.П. Продуктивность маток, откормочные и мясные качества молодняка при скрещивании узкоспециализированных мясных пород / И.П. Шейко, Н.В. Приступа // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сб. науч. тр. Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки, 2006. – Вып. 9. – Ч. 2. – С. 187-191.

3. Барановский, Д.И. Мировой генофонд свиней и производство свинины / Д.И. Барановский, В.И. Герасимов, А.М. Хохлов // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: матер. 10-й Междунар. науч.-практ. конф. / Белорус. гос. с.-х. акад.; редкол.: М.В. Шалак [и др.]. – Горки, 2007. – С. 156-159.

4. Казаровец, И.Н. Воспроизводительные качества свиней материнских пород / И.Н. Казаровец // Молодежная наука – гарант инновационного развития АПК: матер. 10-й Всероссийской (национальной) науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, 19-21 декабря 2018 г. – Курск, 2018. – Ч. 3. – С. 82-87.

5. Лобан, Н.А. Эффективность селекции материнских пород свиней / Н.А. Лобан // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: матер. науч.-практ. конф., 29-30 мая 2014 г. – Горки, 2014. – С. 144-153.

6. Гридюшко, Е.С. Оценка племенной ценности свиней белорусского заводского типа породы йоркшир с использованием селекционных индексов / Е.С. Гридюшко // Зоотехническая наука Беларуси: сб. науч. тр. / Научн.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по животноводству. – Жодино, 2013. – Т. 48. – Ч. 1. – С. 59-67.

7. Лобан, Н.А. Эффективность использования в пороодообразовательном процессе в свиноводстве методов классической и маркерной селекции / Н.А. Лобан // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сб. научных трудов / гл. редактор Н.И. Гавриченко. – Горки: БГСХА, 2015. – Вып. 18. – Ч. 2. – С. 201-208.

8. Казаровец, И.Н. Репродуктивные качества чистопородных и двухпородных свиноматок / И.Н. Казаровец // Агропанорама. – Минск, 2019. – № 1. – С. 21-24.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 24.06.2019

### Вакуумная станция для доильных установок

*Предназначена* для создания вакуумметрического давления в системах машинного доения коров. Может применяться в отраслях промышленности, технологические процессы которых требуют создания вакуума.



#### Основные технические данные

Станция вакуумная водокольцевая	ВВН-75
Тип	передвижная
Быстрота действия при вакууме 50%, м <sup>3</sup> /ч	75
Предельное вакуумметрическое давление, кПа	90
Потребляемая мощность, кВт	3,9
Расход рециркуляционной воды, литров в минуту	8
Габаритные размеры, мм	1500x600x1500
Масса, кг, не более	35

Применение установки обеспечивает снижение энергоемкости процесса доения коров до 0,052 кВт/ч/м<sup>3</sup> при стабильном вакуумном режиме.

УДК 621.35: 637.146.4

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ В МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКЕ

Д.И. Кривовязенко,

ст. преподаватель каф. электротехнологии БГАТУ

Е.М. Заяц,

профессор каф. электротехнологии БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

*В статье установлена связь между параметрами электрического поля и основным действующим фактором коагуляции – потенциалом  $\varphi_0$ .*

*Ключевые слова: молочная сыворотка, коагуляция, изоэлектрическая точка, концентрация ионов.*

*The article establishes the relationship between the parameters of the electric field and the main active factor of coagulation – the potential  $\varphi_0$ .*

*Keywords: whey, coagulation, isoelectric point, ion concentration.*

### Введение

Согласно теории агрегативной устойчивости лиофобных дисперсных систем ДЛФО [1, 2], коллоидные частицы интенсивно коагулируют в изоэлектрической точке, когда потенциал поверхности частицы  $\varphi_0=0$ . Однако эта теория не раскрывает механизм воздействия электрического поля на коагуляцию частиц коллоидной среды, к которой относятся и белки молочной сыворотки, рассматриваемой авторами.

Цель работы – установить физическую и математическую связь между параметрами электрического поля и основным действующим фактором коагуляции – потенциалом на поверхности коллоидной частицы  $\varphi_0$ .

### Основная часть

Как известно, концентрацию ионов в водном растворе можно изменить внесением химических реагентов, что и делают при химических способах коагуляции, или электролизом воды, входящей в состав сыворотки.

Электролиз коллоидного раствора в двухкамерном электролизере с неактивной разделительной мембраной и нерастворимыми электродами (рис. 1) изменяет концентрацию катионов и анионов в катодной и анодной зонах. Если система содержит  $a$  различных катионов и  $b$  анионов, то предположим, что в начальный момент времени в анодном пространстве концентрация  $i$ -го катиона –  $C_{K_i}^{A_0}$ ,  $j$ -го аниона –  $C_{a_j}^{A_0}$  и в катодном пространстве соответственно концентрация  $i$ -го катиона –  $C_{K_i}^{K_0}$  и  $j$ -го аниона –  $C_{a_j}^{K_0}$ .

Для простоты примем, что изменение концентрации происходит только в результате переноса ионов по истечении времени  $\tau$ . Тогда концентрация ионов в момент времени  $\tau_0+d\tau$  [3]:

$$C_{K_i}^K(\tau) = C_{K_i}^{K_0} + dC_{K_i}^K, \quad (1)$$

$$C_{a_j}^K(\tau) = C_{a_j}^{K_0} + dC_{a_j}^K, \quad (2)$$

в анодной зоне

$$C_{K_i}^A(\tau) = C_{K_i}^{A_0} + dC_{K_i}^A, \quad (3)$$

$$C_{a_j}^A(\tau) = C_{a_j}^{A_0} + dC_{a_j}^A. \quad (4)$$

Начальная концентрация катионов  $H^+$  и анионов  $OH^-$  может быть определена из начального значения  $pH_{нач}$ , которое измеряют:

$$C_{H^+}^{K_0} = 10^{-pH_{нач}^K + 3}, \quad (5)$$

$$C_{H^+}^{A_0} = 10^{-pH_{нач}^A + 3}, \quad (6)$$

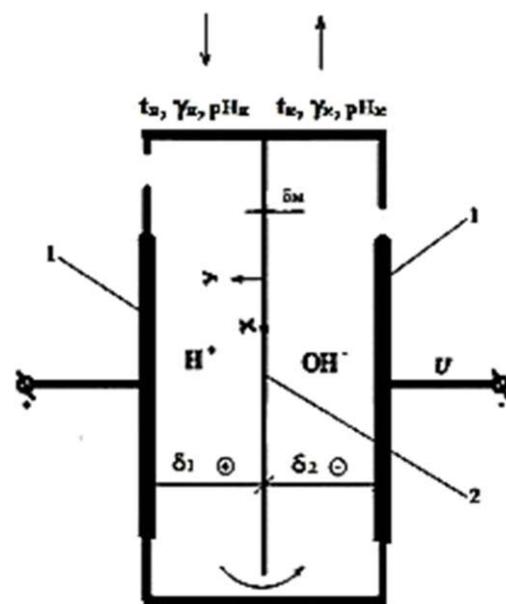


Рис. 1. Принципиальная схема электролизера: 1 – токопроводящие электроды; 2 – мембрана;  $t_n, \gamma_n, pH_n$ ,  $t_k, \gamma_k, pH_k$  – начальные и соответственно конечные значения температуры, удельной электрической проводимости и кислотности → – направления движения сыворотки;  $U$  – напряжение питания, В

$$C_{OH^-}^{K_0} = \frac{10^{-14}}{10^{-pH_{нач}^K}} * 10^3, \quad (7)$$

$$C_{OH^-}^{A_0} = \frac{10^{-14}}{10^{-pH_{нач}^A}} * 10^3. \quad (8)$$

В естественном состоянии молочная сыворотка имеет  $pH=4,5 \pm 0,5$  и концентрацию ионов водорода  $C_{H^+}=3,16 * 10^{-5}$  г-ион/дм<sup>3</sup>.

Изменение концентрации вещества  $dC_{\kappa_i(a_j)}^{A(K)}$  за бесконечно малое время  $d\tau$  в среде, в которой течет ток [3]:

$$dC_{\kappa_i(a_j)}^{A(K)} = \frac{I}{V_p^{A(K)} F} \int_0^t I(\tau) n_{\kappa_i(a_j)}(\tau) d\tau, \quad (9)$$

где  $I(\tau)$  – мгновенная сила тока, протекающего через среду в момент времени  $d\tau$ , А;

$n_{\kappa_i(a_j)}(\tau)$  – число переноса  $i$ -го катиона ( $j$ -го аниона) в каждый момент времени  $d\tau$ ;

$V_p^{A(K)}$  – объем обрабатываемой среды в анодной (катодной) зоне, м<sup>3</sup>.

Мгновенное число переноса [3]:

$i$ -го катиона

$$n_{\kappa_i}(\tau) = \frac{C_{\kappa_i}^A(\tau) \lambda_{\kappa_i}}{\sum_{\kappa_i=1}^a C_{\kappa_i}^A(\tau) \lambda_{\kappa_i} + \sum_{a_j=1}^b C_{a_j}^A(\tau) \lambda_{a_j}}; \quad (10)$$

$j$ -го аниона

$$n_{a_j}(\tau) = \frac{C_{a_j}^K(\tau) \lambda_{a_j}}{\sum_{a_j=1}^b C_{a_j}^K(\tau) \lambda_{a_j} + \sum_{\kappa_i=1}^a C_{\kappa_i}^K(\tau) \lambda_{\kappa_i}}, \quad (11)$$

где  $\lambda_{\kappa_i}, \lambda_{a_j}$  – подвижность  $i$ -го катиона и  $j$ -го аниона,  $\frac{m^2}{c \cdot B}$ ;

$a, b$  – количество видов, соответственно катионов и анионов, шт.

Отметим, что подвижность ионов  $H^+$  ( $\lambda_{H^+} = 31,26 \cdot 10^{13}$  См · м<sup>2</sup>) больше подвижности ионов  $OH^-$  ( $\lambda_{OH^-} = 17,17 \cdot 10^{13}$  См · м<sup>2</sup>).

Концентрация ионов влияет не только на  $pH$  сыворотки, но и на ее электрическую проводимость, силу тока и количество электричества при заданной напряженности электрического поля.

Обозначим через  $\delta_1, \delta_2, \delta_m$  – толщину слоя соответственно сыворотки в анодной, катодной зонах и мембраны (рис. 1). Эквивалентная электрическая проводимость в этих зонах с учетом концентрации ионов:

$$\gamma^A(\tau) = \{\gamma_0^A + A_1 [T^A(\tau) - 293]\} \frac{C_{OH^-}^A(\tau)}{C_{OH^-}^{A_0}}; \quad (12)$$

катодная зона

$$\gamma^K(\tau) = \{\gamma_0^K + A_2 [T^K(\tau) - 293]\} \frac{C_{H^+}^K(\tau)}{C_{H^+}^{K_0}}; \quad (13)$$

мембрана

$$\gamma^M(\tau) = \gamma_0^M + A_M [T^M(\tau) - 293], \quad (14)$$

где  $\gamma_0^A, \gamma_0^K, \gamma_0^M$  – эквивалентная удельная электрическая проводимость сыворотки соответственно в анодной и катодной зонах, мембраны при температуре 293 К, См/м;

$T^A(\tau), T^K(\tau), T^M(\tau)$  – текущая температура сыворотки в анодной, катодной зонах и мембране, К;

$A_1, A_2, A_M$  – температурный коэффициент проводимости сыворотки в анодной, катодной зонах и мембране, См/см·К;

$C_{H^+}^A(\tau), C_{OH^-}^K(\tau)$  – текущая концентрация катионов  $H^+$  в анодной и анионов  $OH^-$  в катодной зоне, г-ион/м<sup>3</sup>.

Эквивалентная удельная электрическая проводимость среды:

анодная зона

$$\gamma_0^A = \frac{\delta_1}{\delta_1 / \gamma_v^A + 2\rho_K^A}; \quad (15)$$

катодная зона

$$\gamma_0^K = \frac{\delta_2}{\delta_2 / \gamma_v^K + 2\rho_K^K}; \quad (16)$$

и мембрана

$$\gamma_0^M = \gamma_v^M; \quad (17)$$

где  $\gamma_v^A, \gamma_v^K, \gamma_v^M$  – удельная объемная электрическая проводимость среды, в анодной, катодной зоне и мембране, См/м;

$\rho_K^A, \rho_K^K$  – удельное контактное сопротивление сыворотки в анодной и катодной зонах, Ом·м<sup>2</sup>.

С учетом равенств (10 ... 17) уравнение (9) примет вид:

$$dC_{\kappa_i(a_j)}^{A(K)} = \frac{U}{\delta_{1(2)} F} \int_0^{\tau} \frac{n_{\kappa_i(a_j)}(\tau) d\tau}{\frac{\delta_1}{\gamma^A(\tau)} + \frac{\delta_2}{\gamma^K(\tau)} + \frac{\delta_m}{\gamma^M(\tau)}}; \quad (18)$$

где  $U$  – напряжение на электродах, В.

Уравнение (18) связывает концентрацию ионов с напряженностью электрического поля  $U/\delta_{1(2)}$  и удельной проводимостью сыворотки.

Используя удельное количество электричества в анодной (катодной) зоне [3]

$$Q_{\tau}^{A(K)} = \frac{I\tau}{V_p^{A(K)}} = \frac{\gamma^{A(K)} E_{a(k)} \tau}{\delta_{1(2)}}, \quad (19)$$

где  $E_{a(k)}$  – напряженность электрического поля, В/м.

Преобразуем (18), получим [3]:

$$dC_{\kappa_i(a_j)}^{A(K)} = \frac{1}{F} \int_0^{Q_{\tau}^{A(K)}} n_{\kappa_i(a_j)}(\tau) dQ_{\tau}^{A(K)}. \quad (20)$$

Уравнение (20) показывает, что концентрация ионов в анодной (катодной) зонах электролизера и в сыворотке зависит от количества электричества, протекающего через сыворотку.

Применительно к катионам  $H^+$  оптимальное количество электричества для коагуляции белков, из уравнения (20)

$$Q_{\tau_{опт}}^{A(K)} = \frac{dC_{\kappa_i(a_j)}^{A(K)} F \tau}{\int_0^{\tau} n_{\kappa_i(a_j)} d\tau} = \frac{(\sqrt{\frac{K_a K_b}{K_b}} (\pm C_{H^+}^{A_0(K_0)}) F \tau)}{\int_0^{\tau} n_{\kappa_i(a_j)} d\tau}, \quad (21)$$

где  $K_a, K_b, K_b$  – константы кислотности, основности и диссоциации воды соответственно.

В формуле (21) знак (–) соответствует коагуляции в анодной зоне, а знак (+) – в катодной зоне.

Таким образом, полный потенциал поверхности белковой клетки зависит от плотности поверхностного заряда клетки, которая, в свою очередь, определяется концентрацией ионов в сыворотке и в первую очередь ионов  $H^+$  и  $OH^-$ . Концентрация ионов  $H^+$  и  $OH^-$  при электролизе воды зависит от количества электричества, протекающего через сыворотку. Количество электричества можно регулировать силой

тока, временем обработки. Имеет место сочетание вышеперечисленных факторов, соответствующее оптимальным условиям коагуляции белков сыворотки.

На основе вышеприведенных уравнений рассмотрим влияние количества электричества на ионный состав сыворотки. Поскольку, как указано выше, плотность поверхностного заряда клетки определяется в первую очередь ионами  $H^+$  и  $OH^-$ , то проведем расчет изменения их концентрации согласно (9) в зависимости от времени обработки (количества электричества в анодной и катодной зоне (19)).

Рассмотрим только катион  $H^+$  и анион  $OH^-$  (это означает, что в вышеприведенных формулах  $a = 1$ ,  $b = 1$ ). Концентрации этих ионов обозначим в анодной зоне  $C_K^A$  и  $C_A^A$  и в катодной зоне  $C_K^K$  и  $C_A^K$  с соответствующими начальными значениями  $C_K^{A_0}$  и  $C_A^{A_0}$  и в катодной зоне  $C_K^{K_0}$  и  $C_A^{K_0}$ . Числа переноса задаются как:

$$n_K = \frac{C_K^A \lambda_K}{C_K^A \lambda_K + C_A^A \lambda_A} \text{ и } n_A = \frac{C_A^A \lambda_A}{C_K^A \lambda_K + C_A^A \lambda_A}.$$

Тогда интегральное уравнение (18) рассмотрим через систему соответствующих дифференциальных уравнений для расчета концентраций ионов:

для анодной зоны

$$-\frac{dC_K^A}{d\tau} = \frac{I}{V_p^A F} n_K,$$

$$\frac{dC_A^A}{d\tau} = \frac{I}{V_p^A F} n_A,$$

для катодной зоны

$$\frac{dC_K^K}{d\tau} = \frac{I}{V_p^K F} n_K,$$

$$-\frac{dC_A^K}{d\tau} = \frac{I}{V_p^K F} n_A.$$

Знак минус указывает на убыль ионов в соответствующих зонах.

Для удобства дальнейшего анализа введем параметры обезразмеривания концентрации и времени  $C_0$  и  $\tau_0$ . Выбор этих параметров обоснуем позже, и станет ясно введение безразмерных концентраций как

$$Y_K^A = C_K^A / C_0, \quad Y_A^A = C_A^A / C_0, \quad Y_K^K = C_K^K / \Omega C_0, \quad Y_A^K = C_A^K / \Omega C_0,$$

где отношение объемов  $\Omega = V_p^A / V_p^K$ .

Безразмерное время  $t = \tau / \tau_0$ .

Числа переноса могут быть выражены как:

$$n_K = \frac{Y_K^A}{Y_K^A + Y_A^K \Lambda} \text{ и } n_A = \frac{Y_A^A \Lambda}{Y_K^A + Y_A^K \Lambda},$$

где  $\Lambda = \Omega \lambda_A / \lambda_K$ .

Тогда необходимо решить систему уравнений вида с начальными условиями при  $t = t_0$ ,  $Y_K^A = Y_K^{A_0}$ ,  $Y_A^A = Y_A^{A_0}$ ,  $Y_K^K = Y_K^{K_0}$ ,  $Y_A^K = Y_A^{K_0}$ :

$$\begin{cases} \frac{dY_K^A}{dt} = -B_a n_K, \\ \frac{dY_A^A}{dt} = B_a n_A, \\ \frac{dY_K^K}{dt} = B_a n_K, \\ \frac{dY_A^K}{dt} = -B_a n_A. \end{cases} \quad (22)$$

$$\text{где } B_a = \frac{I \tau_0}{V_p^A F C_0}.$$

Таким образом, если принять, что  $\tau_0 = V_p^A F C_0 / I$ , то  $B_a = 1$ . В то же время при предположении

$C_0 = C_K^{A_0} + C_K^{K_0} + C_A^{A_0} + C_A^{K_0}$ , зависящих от начального значения  $pH$ , согласно (5-8), получаем связь параметров обезразмеривания  $C_0$  и  $\tau_0$  с начальными условиями по электричеству,  $pH$  и геометрическим размерам электролизера. Тем самым введенное безразмерное время  $t$  указывает на изменение концентрации ионов, как во времени, так и в зависимости от количества электричества одновременно.

Решение вышеприведенной системы осуществляется в несколько шагов:

1. Следует заметить, что в силу закона сохранения ионов, т. е. мы рассматриваем перенос ионов, сумма первого и третьего уравнений системы приводит к следующей зависимости:

$$\frac{d(Y_K^A + Y_K^K)}{dt} = -B_a n_K + B_a n_K = 0, \quad \text{а значит}$$

$$Y_K^A + Y_K^K = const = Y_K^{A_0} + Y_K^{K_0} \text{ или } Y_K^K - Y_K^{K_0} = -Y_K^A + Y_K^{A_0}.$$

2. Аналогично рассматривая второе и четвертое уравнения, получим

$$\frac{d(Y_A^A + Y_A^K)}{dt} = B_a n_A - B_a n_A = 0, \quad \text{а значит}$$

$$Y_A^A + Y_A^K = Y_A^{A_0} + Y_A^{K_0} \text{ или } Y_A^K - Y_A^{K_0} = -Y_A^A + Y_A^{A_0}.$$

3. Таким образом, неизвестными являются концентрации  $Y_K^K$  и  $Y_A^K$ . Для их нахождения просуммируем первое и четвертое уравнения:

$$-\frac{d(Y_K^A + Y_A^K)}{dt} = B_a (n_K + n_A) = B_a.$$

4. Решением этого уравнения является  $-(Y_K^A + Y_A^K) = B_a t + C_1$ ;  $C_1 = const$ .

5. Из начальных условий следует, что  $-(Y_K^{A_0} + Y_A^{K_0}) = B_a t_0 + C_1 \Rightarrow C_1 = -(Y_K^{A_0} + Y_A^{K_0}) - B_a t_0$ .

6. Тогда, согласно пункту 4,  
 $-(Y_{\kappa}^A + Y_a^K) = B_a(t - t_0) - (Y_{\kappa}^{A_0} + Y_a^{K_0})$  и  
 $Y_a^K = -B_a(t - t_0) + Y_{\kappa}^{A_0} - (Y_{\kappa}^A - Y_a^{K_0})$ .

7. После подстановки последнего выражения в первое уравнение, необходимо решить следующее дифференциальное уравнение для определения  $Y_{\kappa}^A$  при начальном условии  $t = t_0$   $Y_{\kappa}^A = Y_{\kappa}^{A_0}$ :

$$\frac{dY_{\kappa}^A}{dt} = \frac{-B_a Y_{\kappa}^A}{Y_{\kappa}^A + Y_{\kappa}^K \Lambda} = \frac{-B_a Y_{\kappa}^A}{Y_{\kappa}^A(1 - \Lambda) + \Lambda[Y_{\kappa}^{A_0} + Y_{\kappa}^{K_0} - B_a(t - t_0)]}$$

8. Без ограничения общности предположим, что  $B_a = 1$  и  $t_0 = 0$ . Тогда рассмотрим уравнение вида:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{-y}{y(1 - \Lambda) + \Lambda[a - t]}$$

с начальным условием  $y = y_0$ .

Используя метод интегрирующего множителя, можно показать, что решением данного уравнения является зависимость:

$$-y^{-\Lambda} t + y^{-\Lambda} [a - y] = C_2, \text{ где константа интегрирования } C_2 = y_0^{-\Lambda} [a - y_0].$$

9. Окончательно,  $y^{-\Lambda} [a - y] - y_0^{-\Lambda} [a - y_0] = y^{-\Lambda} t$

или  $\frac{a - y}{a - y_0} - \left(\frac{y}{y_0}\right)^{\Lambda} = \frac{t}{a - y_0}$ .

10. В рассматриваемых переменных

$$Y_{\kappa}^{A_0} + Y_{\kappa}^{K_0} - Y_{\kappa}^A - Y_a^K \left(\frac{Y_{\kappa}^A}{Y_{\kappa}^{A_0}}\right)^{\Lambda} = t$$

Таким образом, изменение концентрации ионов необходимо определять последовательно из системы:

$$\begin{cases} Y_{\kappa}^{A_0} - Y_{\kappa}^A + Y_a^{K_0} \left[1 - \left(\frac{Y_{\kappa}^A}{Y_{\kappa}^{A_0}}\right)^{\Lambda}\right] = t, \\ Y_a^K = -t - Y_{\kappa}^A + Y_{\kappa}^{A_0} + Y_a^{K_0}, \\ Y_{\kappa}^K = -Y_{\kappa}^A + Y_{\kappa}^{K_0} + Y_a^{A_0}, \\ Y_n^A = -Y_n^K + Y_n^{K_0} + Y_n^{A_0} = t + Y_{\kappa}^A - Y_{\kappa}^{A_0} + Y_n^{A_0}. \end{cases}$$

при  $B_a = 1$  и  $t_0 = 0$ .

На рисунке 2 представлены результаты моделирования для случая  $B_a = 1$ ,  $\Omega = 1$  и  $\Lambda = 0,5493$  при подвижности ионов  $\lambda_{H^+} = 31,26 \cdot 10^{13} \text{ См} \cdot \text{м}^2$  и  $\lambda_{OH^-} = 17,17 \cdot 10^{13} \text{ См} \cdot \text{м}^2$ . Величина

$C_0 = C_{\kappa}^{A_0} + C_{\kappa}^{K_0} + C_a^{A_0} + C_a^{K_0}$  и ее слагаемые рассчитаны при начальном  $pH=4,5$  по формулам (5)-(8):  $C_{\kappa}^{A_0} = C_{\kappa}^{K_0} = 3,16 \cdot 10^{-2}$ ,  $C_a^{A_0} = C_a^{K_0} = 3,16 \cdot 10^{-7} \text{ г-ион/м}^3$ ,  $C_0 = C_{\kappa}^{A_0} + C_{\kappa}^{K_0} + C_a^{A_0} + C_a^{K_0}$ .

Как видно, полученные результаты расчета не противоречат общим представлениям о процессе переноса ионов (убыль катионов в анодной зоне и анионов в катодной). При переходе к размерным величинам по представленной модели можно проводить оценки изменения концентрации в зависимости от количества электричества, начальной  $pH$ , объема католита и анолита, степени подвижности ионов и т.д.

Моделирование вышеперечисленных уравнений подтверждают наши предположения о влиянии количества электричества на ионный состав сыворотки (рис. 2). На рисунке представлены теоретические, расчетные зависимости, требующие экспериментального подтверждения.

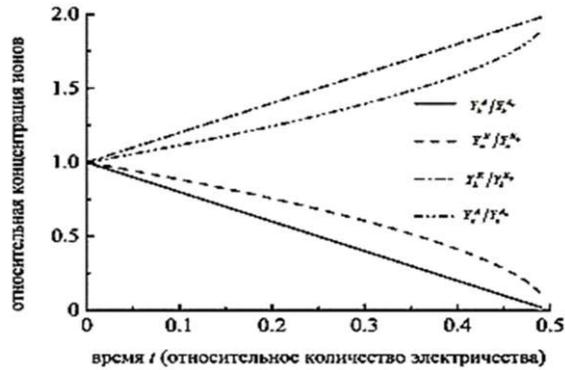


Рис. 2. Изменение во времени относительной концентрации ионов

### Заключение

Полный потенциал поверхности белковой клетки молочной сыворотки зависит от плотности поверхностного заряда клетки, которая определяется концентрацией ионов в сыворотке и, главным образом, ионов  $H^+$  и  $OH^-$ . Концентрация ионов  $H^+$  и  $OH^-$  при электролизе зависит от количества электричества, протекающего через сыворотку. Изменяя количество электричества, возможно получить оптимальные условия для коагуляции белков сыворотки.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эстрела-Льюпис, В.Р. Об энергии взаимодействия двух сферических коллоидных частиц во внешнем электрическом поле [Текст] / В.Р. Эстрела-Льюпис, В.Н. Шилов, С.С. Духин // Коллоидный журнал. – 1974. – № 6. – С. 7-21.
2. Робертсон, Дж. Д. Ультраструктура клеточных мембран и их производных [Текст] / Дж. Робертсон // Симпозиум Биохимического Общества. – 1959. – № 16. – С. 3-43.
3. Рогов, В.М. Электрохимическое изменение свойств воды / В.М. Рогов, В.Л. Филипчук. – Львів: Высшая школа, 1989. – 128 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 26.06.2019

УДК 631.16:637.5

## АНАЛИЗ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ГОВЯДИНЫ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИКО- ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЙ

**Н.Ф. Корсун,**

*доцент каф. информационных технологий и моделирования экономических процессов БГАТУ,  
канд. экон. наук, доцент*

**М.М. Кондровская,**

*ст. преподаватель каф. информационных технологий и моделирования экономических процессов БГАТУ*

*В условиях перехода страны к рыночным отношениям снижение себестоимости продукции является важным фактором развития экономики предприятия, так как она отражает эффективность использования ресурсов, результаты внедрения новой техники и прогрессивной технологии, совершенствование организации труда, производства, управления. Основными факторами эффективно развития скотоводства в Республике Беларусь являются повышение продуктивности скота при одновременном росте поголовья и снижении себестоимости единицы продукции.*

*Ключевые слова: оптимизация, сбалансированность, продуктивность, экономия, кормопроизводство, ресурсосбережение, генетический потенциал, новейшие технологии.*

*In the context of the country's transition to market relations, reducing cost of production is an important factor of the enterprise economy development, as it reflects the efficiency of resource use, the results of introduction new equipment and advanced technology, improving organization of labor, production and management. In the Republic of Belarus, the main factor in the effective cattle breeding development is the increase in livestock productivity while herd expansion and reducing costs of production.*

*Keywords: optimization, equation, productivity, economy, forage production, resource saving, genetic potential, up-to-date technologies.*

### Введение

Одной из приоритетных задач Республики Беларусь на 2016-2020 годы является повышение конкурентоспособности мясо-молочной продукции на внутреннем и внешнем рынках за счет внедрения современных технологий производства, снижения издержек, расширения ассортимента [1].

В настоящее время производство говядины в Беларуси осуществляется в основном путем выращивания и откорма крупного рогатого скота молочного и молочно-мясного направлений.

Необходимо отметить, что производство говядины в большинстве сельскохозяйственных организаций является убыточным. Снижение себестоимости продукции является одним из ключевых факторов повышения экономической эффективности и конкурентоспособности данной отрасли.

Себестоимость продукции животноводства складывается под влиянием многих факторов. Важнейшим из них является продуктивность скота и размер затрат на его содержание. На продуктивность, в свою очередь, оказывает влияние уровень кормления и условия содержания животных, породный состав, возраст и другие факторы, а на размер затрат – уровень механизации трудоемких процессов в животно-

водстве, производительность и оплата труда рабочих, их квалификация, себестоимость кормов [2].

Чем выше продуктивность скота, меньше затраты на его содержание, тем ниже при прочих равных условиях себестоимость единицы продукции. Также на себестоимость продукции животноводства оказывают влияние такие факторы, как объем валовой продукции, урожайность культур, сохранность продукции, трудо-, земле- и материалоемкость производства. Важнейшую роль играет материальная заинтересованность работников, технология, специализация и концентрация производства продукции, экономия и бережливость, которая проявляется в ликвидации перерасхода кормов путем полноценного и сбалансированного кормления.

Цель настоящей работы – провести анализ себестоимости производства говядины в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь с использованием статистико-экономического метода исследований и определить факторы и основные направления ее снижения.

### Основная часть

Влияние различных факторных признаков на себестоимость 1 ц мяса крупного рогатого скота на выращивании и откорме определим с помощью метода

экономической группировки, построенной по данным годовой отчетности за 2017 год по 200 сельскохозяйственным организациям Минской области с развитым скотоводством молочного-мясного направления [3].

Группировка – это процесс образования однородных групп наблюдений по существенным признакам с последующим их изучением.

Для выявления связи между отдельными экономическими показателями обычно используется аналитическая группировка. При построении аналитической группировки выделяется, как правило, не менее трех групп. В нашем случае количество групп равно 5. Число наблюдений достаточно велико, и информация является довольно однородной, поэтому целесообразно проводить группировку с равными интервалами [4, 5].

В качестве группировочного признака авторами была выбрана себестоимость 1 ц прироста молодняка КРС, руб./ц. Показателями, характеризующими группы, являются: плотность поголовья животных, гол./100 га сельскохозяйственных угодий; среднесуточный прирост, г/сут.; производство продукции в расчете на 100 га сельскохозяйственных угодий, ц; расход кормов на 1 голову и на 1 ц продукции, ц к. ед.; расход концентрированных кормов на 1 голову и на 1 ц продукции, ц к. ед.; затраты труда на 1 голову, чел./ч; затраты труда на 1 ц прироста молодняка КРС, чел./ч.

Результаты построения группировки приведены в таблице 1.

Анализ полученных результатов (табл. 1) показал, что снижение себестоимости 1 ц продукции мясного скотоводства достигается за счет большей плотности поголовья (в первой группе эффективных предприятий она выше, по сравнению с пятой, на 26 гол./100 га, или на 156,5%), более высокого среднесуточного прироста (в первой группе он выше, по сравнению с пятой, на 146 г, или на 28,3%), более низкого расхода кормов на 1 голову и на 1 ц продукции (в первой группе они ниже, по сравнению с пятой, на 7,1% и 25,4% соответственно), но при этом более высокого расхода концентрированных кормов на 1 голову и на 1 ц продукции (в первой группе они выше,

по сравнению с пятой, на 106,8% и 62,7% соответственно), меньших затрат труда на 1 голову (в первой группе они ниже, по сравнению с пятой, на 32,2%, или на 14,6 чел./ч), меньших затрат труда на 1 ц прироста молодняка КРС (в первой группе они ниже, по сравнению с пятой, на 48,5%, или на 12,1 чел./ч). Объем производства продукции в расчете на 100 га сельскохозяйственных угодий в первой группе предприятий превосходит соответствующий показатель в пятой группе на 247,8 %, или на 104,7 ц.

Результаты исследования показывают, что высокая себестоимость производства говядины в сельскохозяйственных организациях в настоящее время связана с относительно малой плотностью поголовья скота и еще недостаточно высокой продуктивностью (табл. 1). Так, плотность поголовья в лучшей группе хозяйств достигает в среднем 59 голов, что в 2,5 раза превышает данный показатель в группе хозяйств с наибольшей себестоимостью продукции. Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что при росте продуктивности животных значительно сокращаются все издержки в расчете на единицу продукции. Так, в наиболее эффективной группе организаций среднесуточный привес КРС на выращивании и откорме в среднем выше на 28,3%, расход кормов на 1 ц прироста КРС снижается на 25,4 %, а себестоимость 1 ц мяса КРС уменьшается в 2,3 раза по сравнению с наихудшей группой хозяйств.

#### Заключение

Существенное снижение себестоимости производства говядины в первой группе более эффективных хозяйств по сравнению с пятой наблюдается в результате значительного снижения затрат труда в среднем на 1 голову до 30,67 чел./ч и на 1 ц продукции до 12,84 чел./ч (на 32 % и 48 % соответственно), что возможно за счет комплексной механизации и автоматизации всех производственных процессов в животноводстве, внедрения новых передовых технологий и снижения доли трудоемкого ручного труда.

Факторами, значительно влияющими на уровень

**Таблица 1. Влияние различных факторов на себестоимость 1 ц прироста молодняка КРС**

Группа наблюдений по себестоимости 1 ц прироста молодняка КРС, руб./ц	Число предприятий	Плотность поголовья на 100 га с/х угодий, гол.	Среднесуточный прирост, г/сут.	Производство продукции на 100 га с/х угодий, ц	Расход кормов на 1 голову, ц к. ед.	Расход кормов на 1 ц продукции, ц к. ед.	Расход концентратов на 1 голову, ц к. ед.	Расход концентратов на 1 ц продукции, ц к. ед.	Затраты труда на 1 гол, чел./ч	Затраты труда на 1 ц, чел./ч
1) 216,47 - 298,87	22	59	662	147,0	25,14	10,82	7,3	2,93	30,67	12,84
2) 298,88 - 381,28	86	43	609	97,03	26,6	12,22	5,61	2,48	30,79	14,32
3) 381,29 - 463,69	59	33	555	66,93	27,09	13,54	5,02	2,46	37,63	18,92
4) 463,7 - 546,1	24	25	534	47,9	26,54	13,98	4,8	2,37	41,77	23,23
5) 546,11 - 628,51	9	23	516	42,26	26,75	14,51	3,53	1,8	45,24	24,93

себестоимости производства говядины в сельхозорганизациях, являются качество и цена кормов. Корм, как известно, основа здоровья животных, продуктивности и экономики скотоводства. Проблема с количеством кормов не стоит так остро, как с качеством. Так, в первой группе более эффективных организаций расход кормов на 1 голову и на 1 ц продукции ниже аналогичных показателей предприятий пятой группы, однако доля концентрированных кормов выше на 15%. Поэтому обеспечение животных полноценными и качественными кормами собственного производства и увеличение удельного веса концентрированных кормов в рационе позволят значительно повысить продуктивность КРС.

Проведенные исследования показали, что эффективное ведение скотоводства возможно только при использовании интенсивной технологии производства продукции, выращивания и откорма крупного рогатого скота:

- расход кормов на 1 ц продукции – не более 10-12 ц к. ед.;
- затраты труда на 1 ц продукции – не более 12-14 чел./ч;
- среднесуточный привес – не менее 600-700 г/сут.;
- плотность поголовья – не менее 43-59 гол. на 100 га сельскохозяйственных угодий.

Единственным путем выведения данной отрасли из состояния убыточности в настоящее время является интенсификация и концентрация производства. Необходимо дальнейшее совершенствование кормовой базы, улучшение качественного состава рационов, ликвидация перерасхода кормов за счет составления сбалансированных рационов кормления животных, а также внедрение интенсивных методов откорма, оптимальное соотношение между поголовьем животных и ресурсами кормов, применение новых, более современных технологий, внедрение высокопроизводительных машин и оборудования. Использование прогрессивных методов селекционно-

племенной работы позволит сегодня снизить себестоимость продукции и повысить эффективность молочно-мясного скотоводства в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2016-2020 гг.: утв. Указом Президента Республики Беларусь, 15 дек 2016 г., № 466: в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 30.11.2017 г.
2. Бусел, И.П. Организация сельскохозяйственного производства / И.П. Бусел. – Минск: Літаратура і Мастацтва, 2011. – 272 с.
3. Бизнес, стартапы и технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bel.biz/>. – Дата доступа: 14.05.2019.
4. Орехов, А.М. Методы экономических исследований: учеб. пос. для студентов вузов, обучающихся по направлению: 080100 «Экономика» / А.М. Орехов. – 2-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 344 с.
5. Едророва, В.Н. Статистическая методология в системе научных методов финансовых и экономических исследований: учебник / В. Н. Едророва, А.О. Овчаров; под ред. В.Н. Едроровой. – М.: Магистр: ИНФРА-М, 2015. – 464 с.
6. Кундиус, В.А. Экономика агропромышленного комплекса: учеб. пос. для системы дополнительного профессионального образования / В.А. Кундиус. – М.: КНОРУС, 2014. – 539 с.
7. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pravo.by>. – Дата доступа: 14.05.2019.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 16.05.2019

### Микропроцессорная система кормления свиней

*Предназначена* для оперативного изменения доз кормления, контроля процесса кормления, учета расхода сухого и жидкого корма.

Разработанная система позволяет автоматизировать процесс кормления свиней, повысить эффективность и снизить издержки производства свинины.

#### Основные технические данные

1. Полная совместимость с типовым технологическим оборудованием КПС-54, КПС-108.
2. Нормированное кормление, оперативное изменение норм кормления.
3. Расчет фактических объемов замеса и раздачи жидкого корма без остатков.
4. Сокращение времени кормления в 1,5...2 раза.
5. Значительно дешевле и лучше западных аналогов.



# Правила для авторов

1. Журнал «Агропанорама» помещает достоверные и обоснованные материалы, которые имеют научное и практическое значение, отличаются актуальностью и новизной, способствуют повышению экономической эффективности агропромышленного производства, носят законченный характер. Статьи публикуются на русском языке.

Приказом ВАК от 4 июля 2005 г. № 101 (в редакции приказа ВАК от 2.02.2011 г. № 26) журнал «Агропанорама» включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным (зоотехния) наукам.

2. Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять, как правило, не менее 0,35 авторского листа (14000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.), что соответствует 8 стр. текста, напечатанного через 2 интервала между строками (5,5 стр. в случае печати через 1,5 интервала).

Рукопись статьи, представляемая в редакцию, должна удовлетворять основным требованиям современной компьютерной верстки. К набору текста и формул предъявляется ряд требований:

1) рукопись, подготовленная в электронном виде, должна быть набрана в текстовом редакторе Word версии 6.0 или более поздней. Файл сохраняется в формате «doc»;

2) текст следует сформатировать без переносов и выравнивания правого края текста, для набора использовать один из самых распространенных шрифтов типа Times (например, Times New Roman Cyr, Times ET);

3) знаки препинания (.,!?:;...) не отделяются пробелом от слова, за которым следуют, но после них пробел обязателен. Кавычки и скобки не отделяются пробелом от слова или выражения внутри них. Следует различать дефис«-» и длинное тире «—». Длинное тире набирается в редакторе Word комбинацией клавиш: Ctrl+Shift+«-». От соседних участков текста оно отделяется единичными пробелами. Исключение: длинное тире не отделяется пробелами между цифрами или числами: 1991-1996;

4) при наборе формул необходимо следовать общепринятым правилам:

а) формулы набираются только в редакторе формул Microsoft Equation. Размер шрифта 12. При длине формулы более 8,5 см желательнее продолжение перенести на следующую строчку;

б) буквы латинского алфавита, обозначающие переменные, постоянные, коэффициенты, индексы и т.д., набираются курсивом;

в) элементы, обозначаемые буквами греческого и русского алфавитов, набираются шрифтом прямого начертания;

г) цифры набираются шрифтом прямого начертания;

д) аббревиатуры функций набираются прямо;

е) специальные символы и элементы, обозначаемые буквами греческого алфавита, используются при наборе формул, вставляются в текст только в редакторе формул Microsoft Equation.

ж) пронумерованные формулы пишутся в отдельной от текста строке, а номер формулы ставится у правого края.

Нумеруются лишь те формулы, на которые имеются ссылки в тексте.

3. Рисунки, графики, диаграммы необходимо выполнять с использованием электронных редакторов и вставлять в файл документа Word. Изображение должно быть четким, толщина линий более 0,5 пт, размер рисунка по ширине: 5,6 см, 11,5 см, 17,5 см и 8,5 см.

4. Цифровой материал должен оформляться в виде таблиц. Каждая таблица должна иметь заголовок и номер (если таблиц несколько). Рекомендуется установить толщину линии не менее 1 пт. В оформлении таблиц и

графиков не следует применять выделение цветом, заливку фона.

Фотографии и рисунки должны быть представлены в электронном виде в отдельных файлах формата \*.tif или \*.jpg с разрешением 300 dpi.

Научные статьи, публикуемые в изданиях, включенных в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, должны включать:

индекс УДК;

название статьи;

фамилию и инициалы, должность, ученую степень и звание автора (авторов) статьи;

аннотацию на русском и английском языках;

ключевые слова на русском и английском языках;

введение;

основную часть, включающую графики и другой иллюстративный материал (при их наличии);

заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;

список цитированных источников;

дату поступления статьи в редакцию.

В разделе «Введение» должен быть дан краткий обзор литературы по данной проблеме, указаны не решенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы.

Основная часть статьи должна содержать описание методики, аппаратуры, объектов исследования и подробно осветить содержание исследований, проведенных авторами.

В разделе «Заклучение» должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

Дополнительно в структуру статьи может быть включен перечень принятых обозначений и сокращений.

5. Литература должна быть представлена общим списком в конце статьи. Библиографические записи располагаются в алфавитном порядке на языке оригинала или в порядке цитирования. Ссылки в тексте обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

6. Статьи из научно-исследовательских или высших учебных заведений направляются вместе с сопроводительным письмом, подписанным директором и приложенной экспертной справкой по установленной форме.

7. Статьи принимаются в электронном виде с распечаткой в одном экземпляре. Распечатанный текст статьи должен быть подписан всеми авторами. В конце статьи необходимо указать полное название учреждения образования, организации, предприятия, ученую степень и ученое звание (если есть), а также полный почтовый адрес и номер телефона (служебный или домашний) каждого автора.

8. Авторы несут ответственность за направление в редакцию статей, опубликованных ранее или принятых к печати другими изданиями.

9. Плата за опубликование научных статей не взимается.

10. Право первоочередного опубликования статей предоставляется лицам, осуществляющим послевузовское обучение (аспирантура, докторантура, соискательство), в год завершения обучения.

*Авторские материалы для публикации в журнале «Агропанорама» направляются в редакцию по адресу:*

*220023, г. Минск, пр-т Независимости, 99, корп. 5, к. 602; 608. БГАТУ*

## **Агрегат для безотвальной обработки тяжелых почв АБТ-4и**



Предназначен для безотвальной обработки тяжелых почв на глубину до 35 см, лущения жнивья, обработку почвы на зябь после уборки кукурузы, свеклы и картофеля, мульчирования, выравнивания и прикатывания поверхности поля, а также для подготовки окультуренных почв за 2 прохода под посев озимых зерновых, пожнивных и поукосных культур.

Зона применения – обработка тяжелых суглинистых полей.

### **Основные технические данные**

Наименование показателя	Значение
Рабочая ширина захвата, м.....	4,0±0,1
Рабочая скорость движения, км/ч:	
– при глубине обработки до 35 см.....	6 – 8
– при глубине обработки до 25 см.....	8 – 10
Габаритные размеры, мм, не более:	
– в рабочем положении:	
– длина.....	8800
– ширина.....	4300
– высота.....	1400
Масса агрегата, кг.....	5200±100
Ширина междуследий рыхлительных лап, мм.....	355±25
Глубина рыхления до, см.....	35
Отклонение средней глубины обработки от заданной, см:	
– при глубине обработки до 35 см.....	±2
– при глубине обработки до 25 см.....	±1
Фракции почвы до 4 см в обработанном слое, не менее, %.....	80
Крошение почвы (за 2 прохода), %, размеры фракций, мм:	
– 0-25.....	не менее 80
– 50-100.....	не более 10
Подрезание сорняков и растительных остатков (при установке лап шириной захвата 200 мм).....	Должно быть полным
Поверхность поля после обработки должна быть выровненной, нижние слои почвы уплотнены, верхние – взрыхлены, допускаемые размеры гребней и бороздок, не более, см.....	4 – один проход 2 – два прохода
Плотность почвы в обработанном слое, г/см <sup>3</sup> .....	1,0 – 1,3

