



ISSN 2078-7138 (Print)
ISSN 2078-7146 (Online)
DOI: 10.56619/2078-7138-2023-157-3

АГРОПАНОРАМА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

№ 3
ИЮНЬ
2023

В номере:

Моделирование взаимодействия с почвой ходовых систем колесных транспортно-тяговых машин

Особенности фильтрационных процессов магнитно-абразивной обработки

Применение искусственной нейронной сети для идентификации качества яблок при сортировке

Тенденции развития и пути повышения экономической эффективности производства сахарной свеклы в Республике Беларусь



XXXIII МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА «БЕЛАГРО – 2023»



С 6 по 11 июня на площадке выставочного центра Китайско-Белорусского индустриального парка «Великий Камень» проходила 33-я Международная специализированная выставка «БЕЛАГРО – 2023», на которой новейшие достижения в области сельского хозяйства и сельхозмашиностроения продемонстрировали белорусские и зарубежные аграрии, ученые и промышленники. В работе выставки приняли участие 450 организаций, фирм и компаний из десяти стран.

Белорусский государственный аграрный технический университет постоянный участник выставки. С каждым годом увеличивается количество научных разработок, которые предлагают ученые БГАТУ для предприятий АПК. В этом году на стенде университета были представлены баннеры и мультимедийная презентация с информацией о научно-исследовательской работе БГАТУ, натурные образцы упрочненных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин, образец комплексной кормовой добавки «Протэн», монографии, учебники и учебные пособия, справочники, методические указания, авторами которых являются работники университета.

Наибольший интерес посетителей экспозиции БГАТУ был проявлен к разработкам – «Технология импульсного закалочного охлаждения жидкостью (ТИЗОЖ) сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин» и «Программный комплекс автоматизированного рабочего места (АРМ) специалиста сельского хозяйства».

В рамках «БЕЛАГРО – 2023» совместно с РО «Белагросервис» на базе БГАТУ проведена Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции развития сельскохозяйственного машиностроения, оснащения и технического сервиса в АПК». В конференции приняли участие работники университета, руководители и специалисты предприятий, а также научные работники и преподаватели образовательных и научных организаций Республики Беларусь, Российской Федерации, Республики Казахстан и Республики Узбекистан.

Институт повышения квалификации и переподготовки кадров АПК БГАТУ провел Международную научно-практическую конференцию «Актуальные проблемы и перспективы развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК».

Традиционно, с целью совершенствования профессионального мастерства обучающихся и мастеров производственного обучения, а также с целью выявления и поддержки одаренной и талантливой сельской молодежи, на базе БГАТУ прошел республиканский конкурс профессионального мастерства «Лучший пахарь».

За активное участие, высокий уровень организации и проведения Белорусской агропромышленной недели БГАТУ награжден дипломом первой степени Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь и дипломом ЗАО «МинскЭкспо».

АГРОПАНОРАМА 3 (157) июнь 2023

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

Николай Николаевич Романюк

Заместитель главного редактора
Михаил Александрович Прищепов

Редакционная коллегия:

Л.С. Герасимович	И.С. Крук
П.П. Казакевич	А.С. Сайганов
В.М. Капцевич	В.Н. Тимошенко
А.Н. Карташевич	Н.К. Толочко
Н.В. Киреенко	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:

БГАТУ, пр-т Независимости, 99/1, к. 220
220023, г. Минск, Республика Беларусь,
Тел. (+375 17) 272-47-71
Тел./факс (+375 17) 258-41-16

Прием статей и работа с авторами:

г. Минск, пр-т Независимости, 99/5, к. 602, 608
Тел. (+375 17) 385-91-02, 355-22-14
E-mail: AgroP@bsatu.by

БГАТУ, 2023.

Формат издания 60 x 84 1/8.

Подписано в печать с готового оригинала-

макета 26.06.2023 г. Зак. № 387 от 26.06.2023 г.

Дата выхода в свет 30.06.2023 г.

Печать офсетная. Тираж 100 экз.

Статьи рецензируются.

Отпечатано в ИПЦ БГАТУ по адресу: г. Минск,

пр-т Независимости, 99/2

ЛП № 023330/316 от 30.10.2020 г.

Выходит один раз в два месяца.

Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884.

Стоимость подписки на журнал на 2-е п/г 2023 г.:

для индивидуальных подписчиков - 34,92 руб.;

ведомственная - 36,72 руб.;

Цена журнала в киоске БГАТУ - 10,20 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

- Н.Н. Романюк, И.С. Крук, А.Н. Орда, В.А. Шкляревич,
А.С. Воробей, Н.П. Амельченко**
Моделирование взаимодействия с почвой ходовых систем
колесных транспортно-тяговых машин.....2
- В.А. Шаршунов, А.Н. Карташевич, В.Н. Босак,
Н.С. Сентюрков**
Поисковые эксперименты процесса выделения минеральных
примесей из вороха льнокостры транспортером с волнообразной
колеблющейся сетчатой лентой.....8
- В.А. Шаршунов, А.Н. Карташевич, М.В. Цайц,
С.В. Курзенков**
Теоретическое обоснование радиусов ротора и защитного кольца
роторного бильно-вычесывающего устройства.....14
- В.П. Чеботарев, Г.А. Радишевский, Г.Н. Портянко,
Н.П. Гурнович, В.В. Козловский, Е.Ю. Позняк**
Повышение эффективности обработки почвы рыхлительным
органом глубокорыхлителя.....21
- Н.К. Толочко, К.Л. Сергеев**
Особенности фильтрационных процессов магнитно-абразивной
обработки.....26
- П.П. Казакевич, А.Н. Юрин, В.В. Микульский,
Г.А. Прокопович, Л.А. Ходасевич**
Применение искусственной нейронной сети для идентификации
качества яблок при сортировке.....31

Технический сервис в АПК. Экономика

- Н.Ф. Мамонова**
Эволюция научных теорий адаптивного управления в АПК.....39
- Н.Н. Быков, В.Л. Сельманович, А.Э. Шибeko**
Тенденции развития и пути повышения экономической
эффективности производства сахарной свеклы в
Республике Беларусь.....44

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПОЧВОЙ ХОДОВЫХ СИСТЕМ КОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЯГОВЫХ МАШИН

Н.Н. Романюк,

ректор БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

И.С. Крук,

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

А.Н. Орда,

профессор каф. механики материалов и деталей машин БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

В.А. Шкляревич,

ст. преподаватель каф. механики материалов и деталей машин БГАТУ

А.С. Воробей,

науч. сотр. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук, доцент

Н.П. Амельченко,

доцент БГУИР, канд. техн. наук, доцент

В статье приведены обоснованные критерии подобия взаимодействия колесных ходовых систем с почвой. На основании подобия обоснована конструкция механической модели для проведения исследований слеодообразования и уплотнения почвы в условиях почвенного канала.

Ключевые слова: колесо, почва, уплотнение почвы, глубина следа, механическая модель, трактор-установка.

The article provides reasonable similarity criteria for the interaction of the wheel drive systems with the soil. Based on the similarity, the mechanical model design is justified to carry out soil track and compaction studies in soil channel conditions.

Key words: wheel, soil, soil compaction, track depth, mechanical model, tractor unit.

Введение

Создание и использование средств моделирования взаимодействия с почвой ходовых систем транспортно-тяговых машин базируется на теории подобия. Применение теории подобия позволяет распространить результаты опыта на моделях небольшого размера на другие системы машин, эксплуатируемых в реальных условиях.

Полное подобие процесса взаимодействия ходовых систем машин предполагает учет всех определяющих параметров. Решение такой задачи затруднительно. Поэтому будем решать частные задачи процесса взаимодействия с учетом основных факторов.

На процесс слеодообразования и уплотнения почвы многоосными ходовыми системами влияет множество факторов. Основные из них:

G – вертикальная нагрузка, кН;

N – число осей ходовой системы, шт;

B и D – ширина и диаметр колес, м;

$x_{цм}$ – смещение центра тяжести от оси, м;

p_w – давление воздуха в шинах, кПа;

$p_{кр}$ – величина крюкового усилия, кН;

δ – величина буксования колес, %;

p – несущая способность почвы, кПа;

k – коэффициент объемного смятия почвы, кН/м³.

К критериям отклика, характеризующим процесс слеодообразования и уплотнения почвы, относятся: глубина следа h и плотность почвы ρ :

$$h = \varphi(G, N, B, D, x_{цм}, p_w, p_{кр}, \delta, p_0, k),$$

$$\rho = \varphi(G, N, B, D, x_{цм}, p_w, p_{кр}, \delta, p_0, k).$$

При исследованиях процесса взаимодействия ходовых систем с грунтом теорию подобия применяли В.И. Баловнев [1], Г.Г. Тенчуриин [2], М. Беккер [3], А. Солтинский [4]. В качестве критериев подобия ими предложены следующие выражения:

$$\frac{v^2}{g \cdot l}, \frac{c_n \cdot l}{G}, \varphi_{сц}, f, \frac{\eta \cdot v}{g \cdot l}, \quad (1)$$

где v – скорость движения машины, м/с;

c_n – приведенная жесткость системы, Н/м;

l – определяющий линейный размер системы, м;
 $\varphi_{сц}$ – коэффициент сцепления;
 f – коэффициент сопротивления передвижению;
 η – коэффициент вязкости, Н·с/м²;
 g – ускорение свободного падения, м/с².

Методами теории подобия занимались Г.И. Покровский [5], В.М. Мацелуро [6], Г.И. Кожевников [7] и ряд других ученых. К основным критериям подобия, определенным этими авторами, относятся следующие:

$$\frac{q}{g \cdot \gamma \cdot l}, \frac{v^2}{g \cdot l}, \frac{c}{g \cdot \gamma \cdot l}, \rho_{mp}, \quad (2)$$

где q – давление деформатора на почву, Па;
 γ – объемная масса почвы, кг/м³;
 c – сцепление, Па;

ρ_{mp} – угол внутреннего трения, рад.

Моделировать процесс взаимодействия деформатора с почвой на основании критериев подобия (1) и (2) крайне сложно, так как это связано с одновременным изменением таких физико-механических свойств почвы, как объемная масса и сцепление при постоянстве угла внутреннего трения.

Для исследования процесса слеодообразования на модели определим критерии подобия на основании следующих механических свойств почвы: несущей способности p_0 , коэффициента объемного смятия k , коэффициентов трения покоя f_n и скольжения $f_{ск}$ и коэффициента деформации k_D .

Целью работы является обоснование критериев подобия взаимодействия колес с почвой.

Основная часть

Для установления критериев подобия используют метод анализа системы основных уравнений, а также анализа размерностей. Применение теории размерностей не исключает возможности недоучтенного одного или нескольких существующих факторов. Использование системы основных уравнений гарантирует учет всех существующих условий протекания процесса.

Для того чтобы установить безразмерные комплексы процесса деформации почвы движителями, необходимо проанализировать зависимости напряжения смятия и сдвига от деформации почвы.

Преобразования указанных зависимостей будем проводить на основании теории расширенного подобия [8], согласно которой не обязательно соблюдение геометрического подобия, а коэффициенты подобия линейных размеров и деформации почвы не зависят друг от друга.

Зависимость напряжения смятия σ от деформации почвы h определяется по формуле [9]

$$\sigma = p_0 \cdot th \left(\frac{k}{p_0} \cdot h \right), \quad (3)$$

где k – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м³.

С целью определения критериев подобия обозначим в уравнении (3) коэффициенты подобия

напряжений, несущих способностей, коэффициенты объемного смятия и деформации почвы соответственно k_p, k_{p0}, k_k, k_h .

Тогда напряжение, предел несущей способности, коэффициент объемного смятия и деформации почвы в случае деформации модельным колесом:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_n}{k_p}, p_{0m} = \frac{p_{0n}}{k_{p0}}, k_m = \frac{k_n}{k_k}, h_m = \frac{h_n}{k_h}.$$

Подставив в формулу (3) значения входящих в нее величин и коэффициентов для модельной почвы, получим:

$$\sigma_m \cdot k_p = p_{0m} \cdot k_{p0} \cdot th \left(\frac{k_k \cdot k_m \cdot h_m \cdot k_h}{k_{p0} \cdot p_{0m}} \right),$$

или

$$\sigma_m = \frac{k_{p0}}{k_p} p_{0m} \cdot th \left(\frac{k_k \cdot k_m \cdot h_m}{k_{p0} \cdot p_{0m}} \right). \quad (4)$$

Уравнения (3) и (4) совпадают в том случае, если

$$\frac{k_{p0}}{k_p} = 1 \text{ и } \frac{k_k}{k_{p0}} = 1.$$

При этом

$$\frac{p_{0n}}{\sigma_n} = \frac{p_{0m}}{\sigma_m}; \frac{k_n}{p_{0n}} \cdot h_n = \frac{k_m}{p_{0m}} \cdot h_m.$$

Следовательно, критериями подобия будут следующие зависимости:

$$\frac{p_0}{\sigma} \text{ и } \frac{k}{p_0} \cdot h. \quad (5)$$

Зависимость между напряжением сдвига τ и деформацией почвы S определяется по формуле [9]

$$\tau = f_{ск} \sigma \left[1 + \frac{f_{np}}{ch(S/k_D)} \right] th \left(\frac{S}{k_D} \right), \quad (6)$$

где $f_{ск}$ – коэффициент трения скольжения;
 f_{np} – приведенный коэффициент трения.

$$f_{np} = \frac{4f_n - 3f_{ск}}{2f_{ск}},$$

где f_n – коэффициент трения покоя;
 k_D – коэффициент деформации, м.

$$k_D = \frac{S_0}{Arch \left(1 + \sqrt{\frac{1 + 8f_{np}^2}{2f_{np}} - 1 + 8f_{np}^2} \right)},$$

где S_0 – величина деформации, соответствующая максимальному касательному напряжению, м.

Рассмотрим, как изменяется значение коэффициентов формулы (6) для модели. Безразмерные коэффициенты f_n и $f_{ск}$ принимаем постоянными для натурной и модельной систем. Обозначим коэффициенты подобия напряжений сдвига, размеров колеса, буксо-

вания и коэффициентов деформации соответственно k_{cd} , k_l , k_σ , k_{kd} .

Тогда напряжение сдвига, длина опорной поверхности колеса, буксование и коэффициент деформации почвы при взаимодействии с ней модельного колеса

$$\tau_m = \frac{k_{\tau_n}}{k_{cd}}; l_m = \frac{l_n}{k_l}; \delta_m = \frac{\delta_n}{k_\delta}; k_{dm} = \frac{\tau_n}{k_{kd}}.$$

Уравнение (6) после подстановки значений входящих в него величин для модельных колеса и почвы можно записать:

$$\begin{aligned} \tau_m \cdot k_{cd} &= f_{ck} \cdot \sigma_m \cdot k_p \times \\ &\times \left[1 + \frac{4 \cdot f_n - 3 \cdot f_{ck}}{2 \cdot f_{ck} \cdot ch \left(\frac{k_l \cdot k_\sigma \cdot \delta_m \cdot l_m}{k_{kd} \cdot k_{dm}} \right)} \right] \times \\ &\times th \left(\frac{k_l \cdot k_\sigma \cdot \delta_m \cdot l_m}{k_{kd} \cdot k_{dm}} \right), \\ \text{или} \\ \tau_m &= \frac{k_p}{k_{cd}} \cdot f_{ck} \cdot \sigma_m \times \\ &\times \left[1 + \frac{4 \cdot f_n - 3 \cdot f_{ck}}{2 \cdot f_{ck} \cdot ch \left(\frac{k_l \cdot k_\sigma \cdot \delta_m \cdot l_m}{k_{kd} \cdot k_{dm}} \right)} \right] \times \\ &\times th \left(\frac{k_l \cdot k_\sigma \cdot \delta_m \cdot l_m}{k_{kd} \cdot k_{dm}} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Для того чтобы выражения (6) и (7) были одинаковыми, необходимо выполнить следующие условия:

$$\frac{k_p}{k_{cd}} = 1; \frac{k_l \cdot k_\sigma}{k_{kd}} = 1.$$

Критериями подобия процесса сдвига почвы будут

$$\frac{\sigma}{\tau}, \frac{\delta \cdot l}{k}, f_n, f_{ck}. \quad (8)$$

Рассмотрим изменение давления воздуха в шинах колес при моделировании их воздействия на почву.

Как известно, при передвижении машин по мягким почвам основная часть сопротивления передвижению приходится на колеобразование. Формула, предложенная А.Е. Омеляновым, отражает связь сопротивления качению колеса с давлением воздуха в шинах, свойствами почвы и размерами колеса [10]

$$P_f = c'_1 \cdot G \cdot \sqrt[3]{\frac{P_w}{k} \cdot D} + c' \cdot \sqrt[3]{\frac{G^4}{P_w} \cdot D^2}, \quad (9)$$

где $P_f = f \cdot G$ – сопротивление качению колеса;

c'_1 и c' – безразмерные коэффициенты, зависящие от конструкции шины.

Вторым слагаемым уравнения (9) в случае движения по мягким почвогрунтам можно пренебречь.

Тогда

$$P_f = c'_1 \cdot G \cdot \sqrt[3]{\frac{P_w}{k} \cdot D}.$$

Преобразовав эту формулу для случая качения колеса, получим:

$$G_m \cdot k_m \cdot f = c'_1 \cdot G_m \cdot k_m \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{k_{pw}}{k_k} \cdot k_m \right) \cdot \left(\frac{P_{wm}}{D_m} \cdot k_l \right)},$$

где k_m – коэффициент материального подобия; k_{pw} – коэффициент подобия давлений воздуха в шинах моделируемых колес.

Отсюда критерий подобия

$$\frac{P_w}{k \cdot l}. \quad (10)$$

Основные критерии подобия процесса взаимодействия колесного движителя с деформируемым основанием:

$$\frac{\sigma}{p_0}, \frac{k}{p_0} h, \frac{\tau}{\sigma}, \frac{\delta l}{k_0}, f_n, f_{ck}, \frac{p_w}{k \cdot l} \quad (11)$$

могут быть применены при исследовании слеодообразования колесом и многоосными ходовыми системами, так как процесс деформации почвы при повторных нагружениях зависит от характера ее деформации при первом приложении нагрузки, т.е. обусловлен константами p_0 и k .

Данные экспериментальных исследований процесса вдавливания штампа в почву [9] свидетельствуют о влиянии размеров деформатора на зависимость напряжений от деформаций (рис. 1). Зависимость критериев подобия σ / p_0 от $(k / p_0) \cdot h$ в данном случае выражается одной кривой (рис. 2).

Для нахождения безразмерных показателей оценки уплотнения почвы найдем зависимость плотности почв, деформированной модельным колесом, от величины напряжения. Зависимость плотности верхнего слоя почвы от напряжения имеет следующий вид [10]:

$$\rho_0 = \rho_n \left(1 + \frac{\beta}{k} \cdot \sigma_0 \right), \quad (12)$$

где ρ_n – плотность почвы до деформирования, кг/м^3 ;

β – коэффициент распределения напряжений, м^{-1} .

Плотность почвы после деформации и до нее, коэффициент распределения напряжений, напряжение и коэффициент объемного смятия в случае воздействия на почву модельным колесом равны:

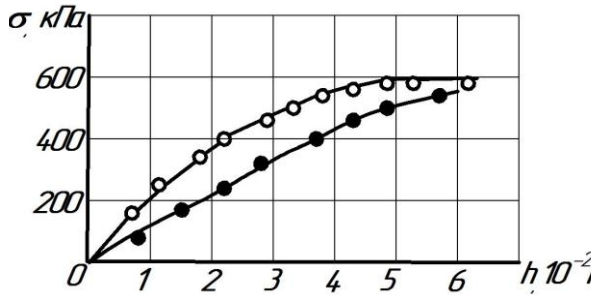


Рисунок 1. Экспериментальные зависимости от деформации почвы [9]:

● – диаметр штампа $D = 0,14$ м;
○ – диаметр штампа $D = 0,11$ м.

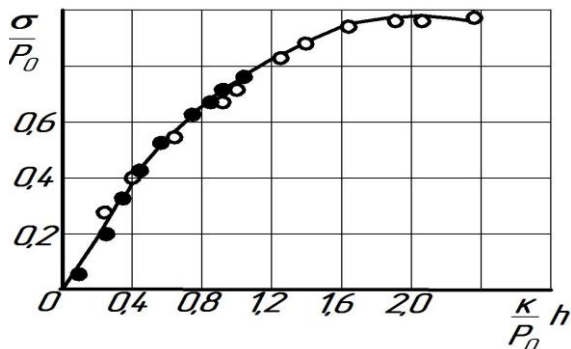


Рисунок 2. Зависимость напряжений смятия от деформации почвы в критериальном виде

$$\rho_{0m} = \frac{\rho_{0n}}{k_{n\lambda_0}}, \quad \rho_{nm} = \frac{\rho_{nn}}{k_{n\lambda_n}}, \quad \beta_m = \frac{\beta_n}{k_\epsilon}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_n}{k_p}, \quad k_m = \frac{k_n}{k_k}$$

где $k_{n\lambda_0}$, $k_{n\lambda_n}$, k_ϵ , k_p и k_k – коэффициенты подобия составляющих зависимости плотности почвы от удельного давления (12).

Подставив в зависимость (12) значения входящих в нее величин и коэффициентов для модельных колеса и почвы, получим:

$$\rho_{0m} \cdot k_{n\lambda_0} = \rho_{nm} \cdot k_{n\lambda_n} \left(1 + \beta_m \cdot k_\epsilon \frac{\sigma_m \cdot k_p}{k_m \cdot k_k} \right),$$

или

$$\rho_{0m} = \frac{k_{n\lambda_n}}{k_{n\lambda_0}} \cdot \rho_{nm} \left(1 + k_\epsilon \frac{k_p}{k_k} \cdot \beta_m \frac{\sigma_m}{k_m} \right). \quad (13)$$

Уравнения (13) идентичны в том случае, если

$$\frac{k_{n\lambda_n}}{k_{n\lambda_0}} = 1 \quad \text{и} \quad k_\epsilon \frac{k_p}{k_k} = 1.$$

При этом

$$\frac{\rho_{nn}}{\rho_{0n}} = \frac{\rho_{nm}}{\rho_{0m}}, \quad \beta_n = \frac{\sigma_n}{k_n}, \quad \beta_m = \frac{\sigma_m}{k_m}.$$

Следовательно, критериями подобия процесса уплотнения почвы будут следующие выражения:

$$\frac{\rho_0}{\rho_n} \quad \text{и} \quad \beta \cdot \frac{\sigma}{k}. \quad (14)$$

В работе [11] обоснована возможность исследования уплотнения почвогрунтов в условиях лабораторных испытаний. Поэтому наряду с изучением механики образования следа в условиях почвенного канала можно также исследовать и уплотнение почвы.

С учетом найденных критериев подобия (11) и (14) зависимости глубины следа и уплотнения почвы примут вид:

$$\frac{k}{\rho_0} \cdot h = \varphi \cdot \left(\frac{q}{P_0}, N, \frac{q_1}{q_{cp}}, \frac{\delta \cdot l}{k_\delta}, \frac{P_{kp}}{G}, \frac{P_w}{k \cdot l} \right), \quad (15)$$

$$\frac{\rho_0}{\rho_{II}} = \varphi \cdot \left(\frac{q}{P_0}, N, \frac{q_1}{q_{cp}}, \frac{\delta \cdot l}{k_\delta}, \frac{P_{kp}}{G}, \frac{P_w}{k \cdot l} \right). \quad (16)$$

С целью выбора размеров колес модели проанализируем влияние размеров опорной поверхности деформатора на деформацию почвы. Величина осадки, осуществляемой за счет уплотнения почвы, возрастает при увеличении опорной площади (рис. 3а), зависимость же пластической деформации от размеров деформатора изображается гиперболой (рис. 3б). В общем виде зависимость осадки штампа от площади его опоры приведена на рис. 3в [10, 11].

Для моделирования процесса слеодообразования необходимо, чтобы ширина колеса и длина опорной поверхности его не были меньше величины l_0 . Согласно исследованиям, критический размер l_0 колеблется в пределах 20-100 мм в зависимости от вида грунта и величины нагрузки. Исходя из этого, принимаем колеса с шинами 5.00-10.00.

Механическая модель для проведения исследований по образованию следа (рис. 4) состоит из четырех ведущих колес, движущихся по следу друг за другом. Привод каждого из них осуществляется от электродвигателя через червячный редуктор и цепную передачу. Колеса снабжены нагрузочными рамами, позволяющими изменять нагрузку, которая вместе с весом колеса составляет от 1 до 4 кН. Параллелограммный механизм обеспечивает вертикальное перемещение колес при изменении нагрузки. Рама модели имеет железнодорожный ход, что позволяет стыковаться через тяговое звено с тележкой почвенного канала. Конструкция модели дает возможность проводить опыты при разных скоростях передвижения и различном буксовании.

При проведении экспериментов, в целях сохранения постоянной опорной площади колеса, давление воздуха в шинах увеличивали для больших нагрузок.

При моделировании процесса деформации почвогрунтов усилия вдавливания сравнивали при относительно одинаковом погружении деформатора h/l , называемом параметрическим критерием. В предла-

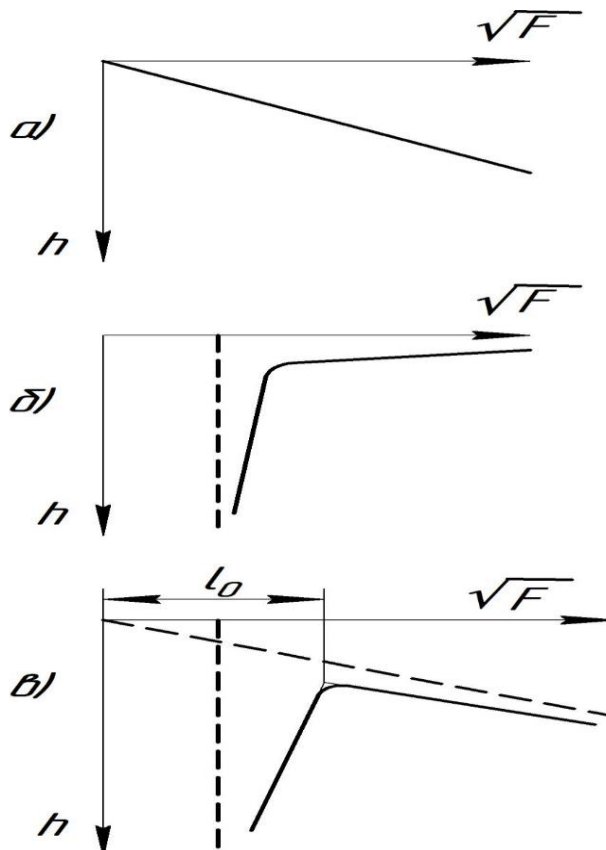


Рисунок 3. Зависимость деформации грунта от площади опоры:
а) – при уплотнении; б) – при сдвиге;
в) – в общем случае

гаемой авторами методике параметрическим критерием служит выражение $(k/P_0)h$, в котором в качестве характерного размера выступает отношение несущей способности почвы P_0 к коэффициенту объемного ее смятия k .

Поскольку критерии подобия f_n и $f_{ск}$ зависят от давления, необходимо добиваться, чтобы разница между давлением модельного и натурального колес на почву была несущественной. Для этого размеры модели могут быть уменьшены не более чем в два-четыре раза по сравнению с натурными. При больших масштабах моделирования труднее осуществить подобие процесса слеодообразования по критерию σ/ρ_0 .

Напряжение сдвига, обуславливающее касательную силу тяги колеса, достигает максимального значения у опорных поверхностей различной длины при неодинаковой величине буксования. Буксование модельного колеса определится из критерия подобия $\delta \cdot l / k_0$. При одинаковом буксовании натурального и модельного колес напряжение сдвига у последнего достигнет меньшего значения. Для осуществления подобия процесса деформации почвы и развития тяги модельным колесом по этому критерию следует увеличить буксование модели. Значение буксования модельного колеса можно установить зная коэффициент k_0 , который определяется в начале опытов.

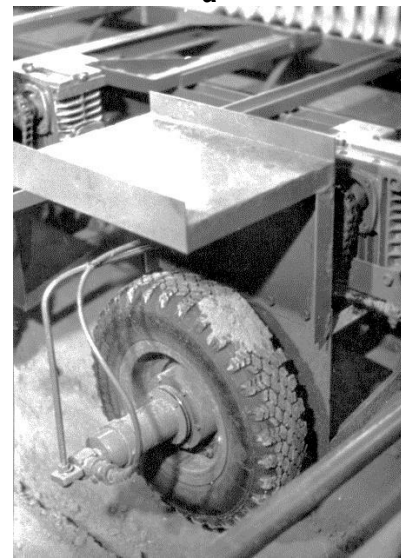
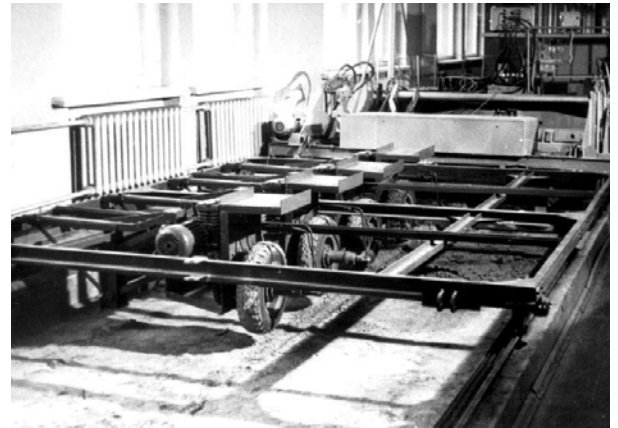


Рисунок 4. Механическая модель многоосного колесного хода: а – общий вид; б – привод колеса

Из условия постоянства критерия $P_w / (k \cdot l)$ давление воздуха в модельном колесе определяем из следующего уравнения:

$$P_{wm} = P_{wn} \frac{k_m}{k_n} \cdot \frac{l_m}{l_n}$$

Поскольку на коэффициент объемного смятия почвы влияет не только диаметр, но и ширина колеса, в качестве параметра l примем выражение $\sqrt{D \cdot B}$.

Тогда, согласно условию (10), давление воздуха в натурном и модельном колесах принимаем одинаковым.

Для проверки сходимости результатов модельных исследований с натурными (в критериальных зависимостях) проанализируем процесс деформации почвы в полевых условиях трактором-установкой 4×4 с колесами равного размера (рис. 5).

Распределение массы трактора по осям было равномерным, что позволило найти экспериментальную зависимость нарастания глубины следа и уплотнения почвы при повторных проходах одинаково нагруженных колес с шинами 10.00-28.00. Опыты проводились



Рисунок 5. Трактор-установка

на рыхлой почве (пахота) с подстилающим более прочным слоем. Нарастание глубины следа для модели и трактора-установки показано на рисунке 6.

В критериальном виде приведенные на рисунке 6 экспериментальные зависимости показаны на рисунке 7.

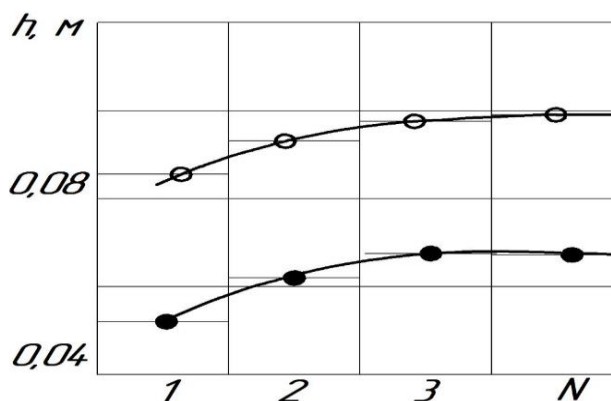


Рисунок 6. Нарастание следа при повторных проходах колес 10-28-0 и колес 5.00-10.00:
o – колеса 10.0-28.00; • – колеса 5.00-10.00

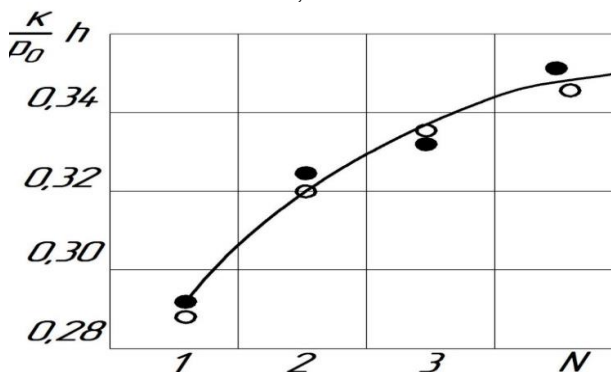


Рисунок 7. Критериальная зависимость процесса следообразования

Из рисунка 7 видно, что результаты опытов, полученные на модели многоосного хода и на тракторе-

установке, совпадают при обработке на основании полученных критериев подобия.

При проведении экспериментов, в целях сохранения постоянной опорной площадки колеса, давление воздуха в шинах увеличивали для больших нагрузок.

Закключение

1. На основании теории взаимодействия с почвой деформаторов обоснованы критерии подобия взаимодействия с почвой колесных ходовых систем.

2. Обоснована конструкция механической модели для проведения исследований по слеодообразованию и уплотнению почвы в условиях почвенного канала.

3. Обработанные в критериальном виде результаты исследований на модели в почвенном канале и на тракторе-установке в полевых условиях совпадают.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баловнев, В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин / В.И. Баловнев. – М.: Высшая школа, 1981. – 336 с.

2. Тенчурин, Г.Г. Механическое моделирование взаимодействия ходовых органов трактора с грунтом: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Г.Г. Тенчурин. – Волгоград, 1969. – 178 с.

3. Беккер, М.Г. Введение в теорию систем местность – машина / М.Г. Беккер. – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.

4. Soltynski, A. Okreslenie wlasnosci trakcyjnych pojazdow terenowych na podstawie badan ich model! Skalamyoh /A. Soltynski // Technikamotoryzacyjna. – 1963. – Т. 3-4. – S. 113-121.

5. Покровский, Г.И. Центробежное моделирование в горном деле / Г.И. Покровский, И.С. Федоров. М.: Недра, 1969. – С.

6. Мацепуро, В.М. Исследование сопротивления почв и грунтов методами теории подобия / В.М. Мацепуро // Вопросы сельскохозяйственной механики. – Минск: Ураджай, 1970. – Т. 19. – С. 3-52.

7. Кожевников, Г.Н. Разработка метода физического моделирования процессов почвообработки в условиях почвенных каналов: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Г.Н. Кожевников; ВИМ и ВИЭСХ. – М., 1971. – 30 с.

8. Экимян, Н.Б. Применение метода расширенного подобия при моделировании осадок фундамента: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.23.02 / Н.Б. Экимян. – М., 1972. – 24 с.

9. Кацыгин, В.В. Основы теории выбора оптимальных параметров мобильных сельскохозяйственных машин и орудий // Вопросы сельскохозяйственной механики. – Минск: Ураджай, 1964. – Т. 13. – С. 5-147.

10. Орда, А.Н. Эколого-энергетические основы формирования машинно-тракторных агрегатов: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.03 / А.Н. Орда; Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т. – Минск, 1997. – 36 с.

11. Романюк, Н.Н. Снижение уплотняющего воздействия на почву вертикальными вибродинамиче-

скими нагрузками пневмоколесных движителей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01; 05.20.03; / Н.Н. Романюк; Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т. – Минск, 2008. – 206 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 19.05.2023

УДК 631.361:633.521

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2023-157-3-8-13>

ПОИСКОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ВОРОХА ЛЬНОКОСТРЫ ТРАНСПОРТЕРОМ С ВОЛНООБРАЗНОЙ КОЛЕБЛЮЩЕЙСЯ СЕТЧАТОЙ ЛЕНТОЙ

В.А. Шаршунов,

*профессор каф. техносферной безопасности и общей физики БГУТ,
докт. техн. наук, профессор, чл.-кор. НАН Беларуси*

А.Н. Карташевич,

*профессор каф тракторов, автомобилей и машин для природообустройства БГСХА,
докт. техн. наук, профессор*

В.Н. Босак,

профессор каф безопасности жизнедеятельности БГСХА, докт. с.-х. наук, профессор

Н.С. Сентюров,

ст. преподаватель каф. тракторов, автомобилей и машин для природообустройства БГСХА

Для создания малоотходного или безотходного производства в Республике Беларусь необходимо перерабатывать отходы сельского хозяйства. Данные отходы имеют повышенную влажность, засоренность и относительно невысокую теплоотдачу, поэтому перед переработкой их необходимо очищать. Ворох льнокостры является наиболее перспективным сырьем для производства пеллет, так как имеет в своем составе большое количество лигнина (21...29 %). С целью достижения высокой степени очистки и снижения потерь вороха льнокостры в отходы, в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии разработан транспортер с волнообразной колеблющейся сетчатой лентой.

В статье представлены результаты экспериментов по выявлению основных факторов процесса выделения примесей из вороха льнокостры транспортером с волнообразной колеблющейся сетчатой лентой и обоснование их границ варьирования. В качестве результирующего параметра были приняты: степень выделения минеральных примесей и уровень потерь вороха льнокостры. По результатам проведенных поисковых экспериментов установлено, что диаметр эксцентрикового вала, а также амплитуду колебаний сетчатой ленты можно зафиксировать на рациональных значениях, обеспечивающих уменьшение металлоемкости конструкции без снижения качества работы.

Анализ проведенных поисковых экспериментальных исследований транспортера с волнообразной колеблющейся сетчатой лентой позволил определить рациональные интервалы варьирования факторов при изучаемом процессе, исходя из обеспечения высокой степени выделения E и низкого уровня потерь вороха льнокостры в отходы P : частота колебаний сетчатой ленты – $30...45 \text{ с}^{-1}$; высота слоя вороха льнокостры – $0,01...0,04 \text{ м}$; расстояние между прутком и эксцентриковым валом – $0,16...0,2 \text{ м}$; скорость движения сетчатой ленты – $0,03...0,11 \text{ м/с}$.

Ключевые слова: ворох льнокостры, транспортер, сетчатая лента, минеральные примеси, степень выделения, уровень потерь, поисковый эксперимент.

In order to create low-waste or waste-free production in the Republic of Belarus, it is necessary to recycle agricultural waste. These wastes are moist, clogged and have a relatively low heat output, so they must be cleaned before they can be processed. The heap of flax waste is the most promising raw material for the production of pellets, as it contains a large amount of lignin (21...29 %). In order to achieve a high degree of purification and to reduce

losses of flax heap to waste, the Belarusian State Agricultural Academy has developed a conveyor with a wave-like oscillating mesh belt.

The article presents the results of experiments to identify the main factors of the impurities extraction process from the flax waste heap by a conveyor with a wavy oscillating mesh belt and the substantiation of the variation limits. The degree of mineral impurities separation and the loss rate of flax waste heap have been taken as the resulting parameter. Based on the results of the search experiments, it has been found that the diameter of the eccentric shaft as well as the vibration amplitude of the mesh belt can be fixed at rational values, which ensures a decrease in the metal consumption of the structure without reducing the quality of work.

The analysis of conducted exploratory experimental researches of the conveyor with a wave-like oscillating mesh belt allowed to determine rational intervals of varying factors in the studied process, based on ensuring a high degree of separation E and a low loss rate of flax heap to waste P : oscillation frequency of mesh belt – $30...45\text{ s}^{-1}$; height of flax waste heap – $0,01...0,04\text{ m}$; distance between rod and eccentric shaft – $0,16...0,2\text{ m}$; speed of mesh belt – $0,03...0,11\text{ m/s}$.

Key words: heap of flax waste, conveyor, mesh belt, mineral impurities, degree of separation, loss rate, search experiment.

Введение

Сельское хозяйство – одна из наиболее проблемных отраслей в плане загрязнения окружающей среды. В результате выращивания сельскохозяйственных культур остается огромное количество растительных отходов, большая часть которых – ценное сырье, пригодное для вторичного использования. Переработка сельскохозяйственных отходов может принести большую выгоду производителям, а современные технологии позволят организовать малоотходное или безотходное производство [1, 2].

Отходы сельского хозяйства имеют повышенную влажность, засоренность и относительно невысокую теплоотдачу [3]. Исходя из этого, они нуждаются в определенной обработке, а именно – в гранулировании, так как гранулирование обладает наиболее высокими потребительскими качествами.

При выборе сырья для производства пеллет существенную роль играет содержание в нем лигнина, так как он выступает связующим элементом в процессе прессования пеллет. Ворох льнокостры получается при первичной переработке льна-долгунца и имеет большую привлекательность для производства пеллет, поскольку в его составе содержится большое количество лигнина (21...29 %). Однако использование вороха льнокостры в качестве материала для производства пеллет ограничивается рядом факторов: содержанием в нем мелкого волокна, минеральных и других примесей. Волокно затрудняет процесс измельчения вороха на этапе подготовки к прессованию, а минеральные и другие примеси увеличивают скорость изнашивания и приводят к отказам рабочих органов прессования из-за абразивного износа [4].

Влияние параметров колеблющихся поверхностей на процесс сепарации исследовали ученые – В.П. Горячкин [5], Г.А. Хайлис [6], С.С. Ямпилев [7], В.И. Коцуба [8] и другие. Ими установлены общие закономерности протекания процессов выделения примесей из исследуемого сырья, а также влияние конструктивных и технологических параметров колеблющихся поверхностей на качество очистки материала.

В результате проведенного анализа способов и устройств для выделения минеральных примесей из

вороха льнокостры [7; 9-11] была предложена конструктивно-технологическая схема транспортера с волнообразной колеблющейся сетчатой лентой [12], которая повышает качество сепарации и снижает уровень потерь вороха льнокостры в отходы.

Целью работы является определение факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на качественные и количественные показатели процесса выделения минеральных примесей из вороха льнокостры, а также уточнение рациональных границ их варьирования.

Основная часть

Для проведения экспериментальных исследований по определению основных факторов процесса выделения минеральных примесей из вороха льнокостры и обоснования их границ варьирования была разработана и изготовлена экспериментальная лабораторная установка, которая представлена на рисунке 1.

Экспериментальная лабораторная установка выполнена из рамы 11, в передней части которой смонтирован приемный бункер 2, оснащенный дозирующим устройством 3. В верхней части рамы установлен ленточный транспортер, состоящий из приводного 5 и натяжного 13 барабанов и бесконечной сетчатой ленты транспортера 4. Рабочая ветвь сетчатой ленты транспортера 4 имела волнообразную поверхность, образованную расположенными под ней эксцентриковыми валами 10, а над ней – цилиндрическими вращающимися прутками 9. Эксцентриковые валы 10 и вращающиеся цилиндрические прутки 9 устанавливались с возможностью регулирования расстояния между ними в горизонтальной и вертикальной плоскостях. На участке между приемным бункером 2 и прутком 9 установлен слоеформирователь 7. Под транспортером размещена скатная доска 8. Для предотвращения забивания ячеек сетчатой ленты на ее холостой ветви установлены чистики.

Привод транспортера осуществлялся от мотор-редуктора 6 и цепной передачи. Привод эксцентриковых валов состоит из электродвигателя и ременной передачи. Эксцентриковые валы соединены между собой цепной передачей. Оба привода включаются

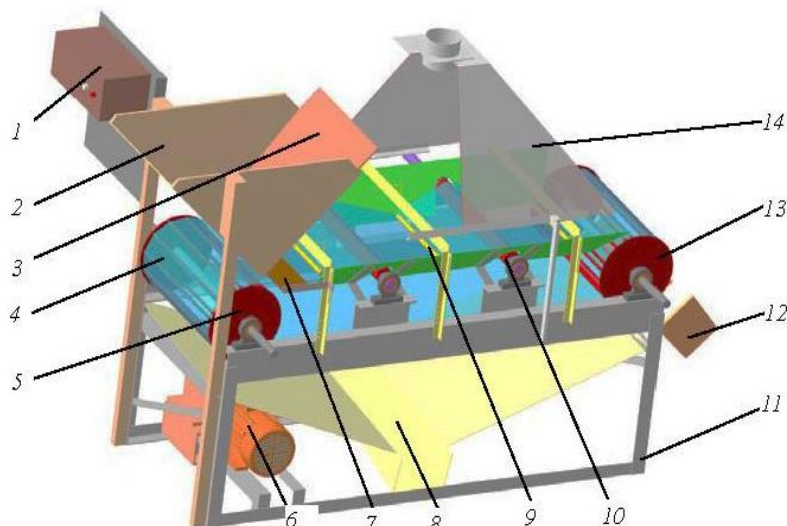


Рисунок 1. Схема экспериментальной лабораторной установки:
1 – пульт управления; 2 – приемный бункер; 3 – дозирующее устройство; 4 – сетчатая лента транспортера; 5 – приводной барабан; 6 – мотор-редуктор; 7 – слоеформирователь; 8 – скатная доска; 9 – вращающиеся цилиндрические прутки; 10 – эксцентриковые вали; 11 – рама; 12 – выгрузное устройство; 13 – натяжной барабан; 14 – система аспирации

при помощи пульта управления 1 и снабжены индивидуальными преобразователями частоты вращения.

Устройство работает следующим образом. В приемный бункер 2 подается ворох льнокостры, дозирующей заслонкой 3 регулируется подача вороха льнокостры на сетчатую ленту транспортера 4. Сетчатая лента транспортера 4 приводится в движение с помощью приводного барабана 5. За счет эксцентриковых валов 10 сетчатая лента транспортера с ворохом льнокостры приводится в колебательное движение, тем самым выделяя из вороха льнокостры минеральные примеси. Минеральные примеси просеиваются через сетчатую ленту, попадают на скатную доску 8 и выводятся из устройства. Система аспирации 14 применяется для снижения уровня запыленности воздуха на рабочем месте транспортера с волнообразной колеблющейся сетчатой лентой и в процессе выделения минеральных примесей не участвует. Очищенный ворох льнокостры, сходящий с сетчатой ленты через выгрузное устройство 12, готов к дальнейшему использованию.

Конструкция экспериментальной лабораторной

установки позволяла в необходимых пределах изменять следующие параметры: диаметр эксцентрикового вала ($d_{\text{экс}}$, м); амплитуду колебаний сетчатой ленты (A , м); частоту колебаний сетчатой ленты ($\omega_{\text{экс}}$, с^{-1}); высоту слоя вороха льнокостры ($H_{\text{в}}$, м); расстояние от цилиндрического прутка до эксцентрикового вала ($l_{\text{рз}}$, м) и скорость движения сетчатой ленты ($v_{\text{л}}$, м/с). В качестве результирующих параметров были приняты: степень выделения минеральных примесей $E_{\text{мп}}$ и уровень потерь вороха льнокостры $\Pi_{\text{л}}$.

Степень выделения минеральных примесей [13] определялась по формуле

$$E_{\text{мп}} = \frac{m_{\text{мп1}}}{m_{\text{мп1}} + m_{\text{мп2}}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{мп}}$ – степень выделения минеральных примесей из вороха льнокостры;

$m_{\text{мп1}}$ – масса минеральных примесей, просеянных через сетчатую ленту, кг;

$m_{\text{мп2}}$ – масса минеральных примесей, непросеянных через сетчатую ленту, кг.

Уровень потерь вороха льнокостры [13] определялся по формуле

$$\Pi_{\text{л}} = \frac{m_{\text{лп}}}{m_{\text{лп}} + m_{\text{лпп}}}, \quad (2)$$

где $\Pi_{\text{л}}$ – уровень потерь вороха льнокостры в отходы;

$m_{\text{лп}}$ – масса просеянного вороха льнокостры через сетчатую ленту, кг;

$m_{\text{лпп}}$ – масса непросеянного вороха льнокостры через сетчатую ленту, кг.

Экспериментальные исследования на лабораторной установке проводились по шести факторам (табл. 1), области изменения которых были заранее определены, исходя из априорной информации и теоретических исследований [14-16], а также конструктивных и технологических соображений. В связи с возможной прямой связью диаметра эксцентрикового вала и амплитуды колебаний сетчатой ленты выполним корреляционный анализ.

Таблица 1. Факторы, диапазон их изменения и значения опорных точек

Наименование фактора	Условное обозначение	Ед. измерения	Опорная точка	Диапазон изменения фактора
Диаметр эксцентрикового вала	$d_{\text{экс}}$	м	0,05	0,045...0,07
Амплитуда колебаний сетчатой ленты	A	м	0,02	до 0,03
Частота колебаний сетчатой ленты	$\omega_{\text{экс}}$	с^{-1}	35	10...60
Высота слоя вороха льнокостры	$H_{\text{в}}$	м	0,04	0,01...0,06
Расстояние от цилиндрического прутка до эксцентрикового вала	$l_{\text{рз}}$	м	0,2	0,1...0,25
Скорость движения сетчатой ленты	$v_{\text{л}}$	м/с	0,1	0,025...1,5

При выполнении экспериментов использовалась схема поисковых исследований, которая представляла собой поэтапное варьирование одного из факторов при фиксированных значениях остальных на уровнях опорных точек. На предварительных этапах исследований были выбраны опорные точки, которые представлены в таблице 1.

При выборе рационального интервала изменения факторов руководствовались тем, что минимальное значение степени выделения минеральных примесей должно быть не ниже 0,85, а значение уровня потерь вороха льнокостры в отходы не должно превышать 0,1.

На первом этапе исследовалась зависимость степени выделения минеральных примесей $E_{мп}$ и уровня потерь вороха льнокостры $\Pi_{л}$ от диаметра эксцентрикового вала $d_{экс}$. Изменение диаметра эксцентрикового вала осуществлялось в диапазоне от 0,045 до 0,070 м с шагом 0,005 м.

Анализ результатов исследований (рис. 2а) показал, что степень выделения минеральных примесей изменяется по некоторой полиномиальной кривой, которая возрастает по мере увеличения диаметра эксцентрикового вала в диапазоне от 0,045 до 0,060 м. Дальнейшее увеличение диаметра эксцентрикового вала не приводит к росту степени выделения примесей. Уровень потерь вороха льнокостры в отходы изменяется по полиномиальной кривой третьей степени и имеет вид вогнутой кривой. В диапазоне изменения диаметра эксцентрикового вала от 0,045 до 0,060 м уровень увеличивается не существенно и не превышает 10 % от общей массы. Дальнейшее увеличение диаметра эксцентрикового вала приводит к значительному росту уровня потерь льнокостры и в диапазоне $d_{экс} = 0,060 \dots 0,070$ м изменяется от 0,09 до 0,25.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод о том, что рациональное значение диаметра эксцентрикового вала, удовлетворяющее требованиям (степень выделения минеральных примесей – не менее 0,85, уровень потерь вороха льнокостры – не более 0,1), составляет 0,060 м.

Далее исследовалась зависимость степени выделения минеральных примесей и уровень потерь вороха льнокостры от амплитуды колебаний сетчатой ленты A , которая изменялась от 0 до 0,03 м с интервалом варьирования – 0,005 м.

Анализ полученных результатов (рис. 2б) позволяет сделать вывод о том, что при увеличении амплитуды колебаний от 0 до 0,02 м происходит увеличение степени выделения минеральных примесей от 0,12 до 0,88, с незначительными потерями вороха льнокостры от 0,01 до 0,086. При дальнейшем увеличении амплитуды колебаний степень выделения минеральных примесей увеличивается незначительно (на 1,4 %), а количество потерь вороха льнокостры значительно возрастает – в 3,2 раза.

Исходя из анализа зависимостей, с учетом обеспечения высокой степени выделения $E_{мп}$ и низким

уровнем потерь вороха льнокостры в отходы $\Pi_{л}$, в дальнейших исследованиях амплитуда колебаний сетчатой ленты A фиксировалась на уровне 0,02 м.

Корреляционный анализ установил сильную прямую связь между факторами: диаметр эксцентрикового вала и амплитуда колебаний сетчатой ленты при оценке влияния на степень выделения минеральных примесей из вороха льнокостры – 0,96 и при оценке влияния на потери вороха льнокостры в отходы – 0,97.

Далее определялась зависимость степени выделения минеральных примесей и количества потерь вороха льнокостры от частоты колебаний сетчатой ленты $\omega_{экс}$. Частота колебаний сетчатой ленты изменялась от 10 до 60 с^{-1} . Анализируя графическую зависимость (рис. 2в), можно сделать вывод о том, что частота колебаний сетчатой ленты оказывает существенное влияние на $E_{мп}$ и $\Pi_{л}$. При частоте колебаний сетчатой ленты 10 с^{-1} наблюдается наихудший показатель степени выделения минеральных примесей, что объясняется недостаточной силой воздействия эксцентрикового вала на ворох льнокостры. При частоте колебаний сетчатой ленты от 20 до 40 с^{-1} происходит интенсивное нарастание функции отклика, а при дальнейшем увеличении частоты колебаний сетчатой ленты происходит незначительное увеличение степени выделения минеральных примесей, однако увеличиваются потери вороха льнокостры. Поэтому рациональное значение частоты колебаний сетчатой ленты находится в границах от 30 до 45 с^{-1} .

Исследование влияния высоты слоя вороха льнокостры $H_{в}$ на функции отклика проводилось в диапазоне от 0,01 до 0,06 м, с интервалом варьирования 0,010 м. На основании полученных результатов построены графические зависимости (рис. 2г).

Анализ графической зависимости показал, что увеличение $H_{в}$ от 0,01 до 0,03 м приводит к несущественному уменьшению степени выделения минеральных примесей, а ее дальнейшее увеличение – к интенсивному снижению степени выделения минеральных примесей. Потери вороха льнокостры в зависимости от высоты слоя вороха льнокостры изменяются по вогнутой полиномиальной кривой. Увеличение $H_{в}$ более чем на 0,04 м значительно увеличивает потери вороха льнокостры. Исходя из анализа зависимостей, видно, что рациональный диапазон высоты слоя вороха льнокостры находится в пределах 0,01...0,04 м.

Следующим исследуемым фактором являлось расстояние между прутком и эксцентриковым валом $l_{рз}$, которое изменялось в пределах от 0,1 м до 0,25 м, с интервалом варьирования 0,025 м. Из построенной по результатам исследований графической зависимости (рис. 2д) видно, что с увеличением расстояния $l_{рз}$ увеличивается и степень выделения примесей из вороха льнокостры. В диапазоне 0,1...0,2 м степень выделения примесей возрастает на 0,14. При дальнейшем увеличении расстояния между прутком и эксцентриковым валом $E_{мп}$ увеличивается незначительно (на 1 %). Изменение количества потерь вороха льно-

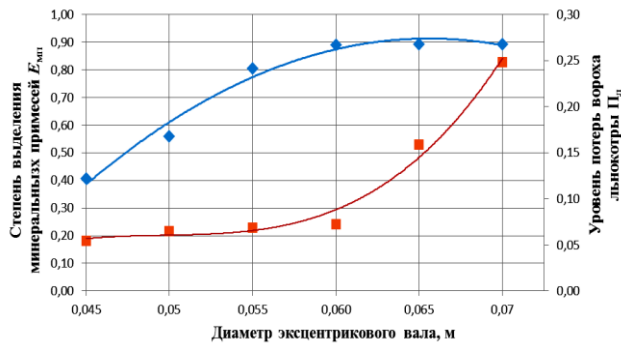
костры в зависимости от расстояния l_{p3} происходит по вогнутой полиномиальной кривой с эксцессом в диапазоне расстояния между прутком и эксцентриковым валом 0,15...0,2 м. На основании изложенного, диапазон рационального значения расстояния между прутком и эксцентриковым валом был принят в пределах от 0,16 до 0,2 м.

На следующем этапе исследовалось влияние скорости движения сетчатой ленты $v_{л3}$, которая изменялась в пределах от 0,025 до 1,5 м/с, с интервалом варьирования 0,025 м/с. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что степень вы-

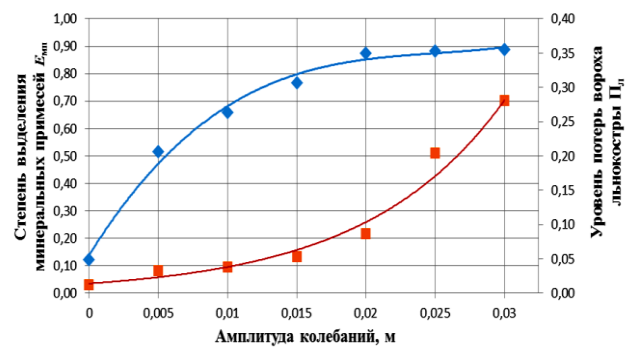
деления E в зависимости от скорости подачи вороха льнокостры в рабочую зону эксцентрика изменяется по выпуклой полиномиальной кривой, с эксцессом в диапазоне $v_{л} = 0,03...0,08$ м/с, а потери вороха льнокостры имеют вид убывающей вогнутой кривой (рис. 2е). На основании анализа графических зависимостей рациональное значение интервала изменения скорости движения ленты принято равным 0,03...0,11 м/с.

Заключение

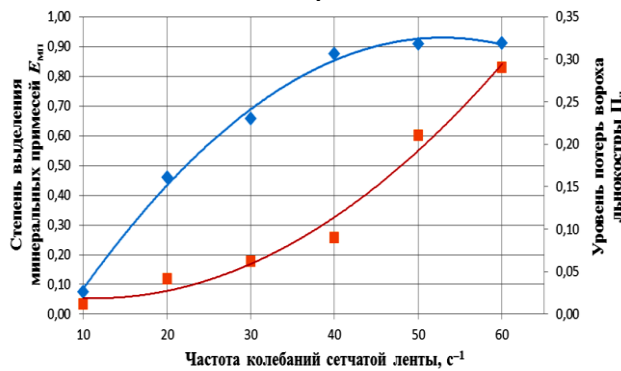
По результатам проведенных поисковых экспериментов процесса выделения минеральных приме-



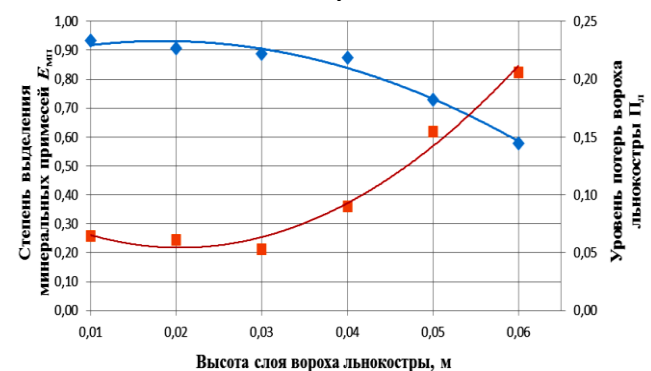
а)



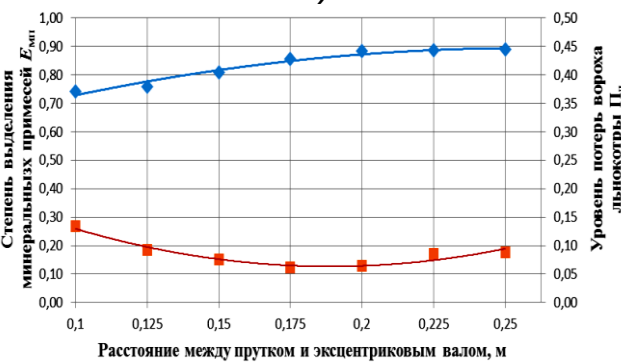
б)



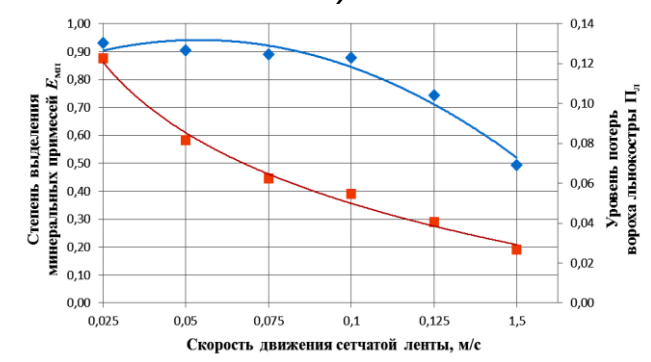
в)



г)



д)



е)

—◆— степень выделения минеральных примесей

—■— уровень потерь вороха льнокостры

Рисунок 2. Зависимость степени выделения минеральных примесей и уровня потерь вороха льнокостры от: а) диаметра эксцентрикового вала; б) амплитуды колебаний; в) частоты колебаний сетчатой ленты; г) высоты слоя вороха льнокостры; д) расстояния между прутком и эксцентриковым валом; е) скорости движения сетчатой ленты

сей из вороха льнокостры транспортером с волнообразной колеблющейся сетчатой лентой и анализа полученных данных были определены рациональные значения диаметра эксцентрикового вала и амплитуда колебаний сетчатой ленты, а также определены границы факторов, оказывающих влияние на процесс выделения минеральных примесей.

Исходя из допустимых значений показателей степени выделения минеральных примесей и уровня потерь льнокостры в отходы, диаметр эксцентрикового вала и амплитуду колебаний сетчатой ленты можно зафиксировать на уровнях 0,060 м и 0,020 м соответственно. При этом установлена сильная прямая связь между факторами: диаметром эксцентрикового вала и амплитудой колебаний сетчатой ленты при оценке влияния на степень выделения минеральных примесей из вороха льнокостры – 0,96 и при оценке влияния на потери вороха льнокостры в отходы – 0,97.

Рациональные интервалы варьирования факторов, оказывающих влияние на процесс выделения минеральных примесей из вороха льнокостры разработанным транспортером, исходя из обеспечения высокой степени выделения $E_{мп}$ и низкого уровня потерь вороха льнокостры в отходы $P_{л}$:

- частота колебаний сетчатой ленты – 30...45 с⁻¹;
- высота слоя вороха льнокостры – 0,01...0,04 м;
- расстояние между прутком и эксцентриковым валом – 0,16...0,20 м;
- скорость движения сетчатой ленты – 0,03...0,11 м/с.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Козловская, И.П. Производственные технологии в агрономии / И.П. Козловская, В.Н. Босак. – М.: ИНФРА-М, 2016. – 336 с.
2. Переработка сельскохозяйственных отходов [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://farm-worm.com/>. – Дата доступа: 17.03.2023.
3. Сентюров, Н.С. Повышение качества сырья для производства топливных пеллет в Республике Беларусь / Н.С. Сентюров, В.Е. Круглень // Наука и молодежь: новые идеи и решения: материалы X Международной науч.-практич. конференции молодых исследователей, г. Волгоград, 15-17 марта 2016 г. – Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ ИПК «Нива», 2016. – Ч. III. – С. 310-313.
4. Шаршунов, В.А. Определение скорости витания компонентов вороха / В.А. Шаршунов, Н.С. Сентюров, М.В. Цайц // Вестник БГСХА. – 2021. – № 2. – С. 171-176.
5. Горячкин, В.П. Собрание сочинений: в 3 т. / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1965. – Т. 3. – 384 с.
6. Хайлис, Г.А. Теория и расчет льноуборочных машин / Г.А. Хайлис // Тр. Великолукского с.-х. института. – Елгава: Великолукский с.-х. ин-т, 1973. – Вып. XXVI. – 334 с.
7. Ямпиров, С.С. Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов очистки и сортирования зерна и семян / С.С. Ямпиров. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003. – 262 с.
8. Коцуба, В.И. Очистка семян льна молотилкой-сепаратором с подпружиненными инерционными качающимися решетками: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В.И. Коцуба. – Горки, 2012. – 215 с.
9. Шаршунов, В.А. Определение засоренности льнокостры минеральными примесями и способы их выделения / В.А. Шаршунов, В.Е. Круглень, Н.С. Сентюров // Вестник БГСХА. – 2013. – № 2. – С. 120-124.
10. Круглень, В.Е. Анализ машин для очистки льнокостры от примесей / В.Е. Круглень, Н.С. Сентюров // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. статей: в 3 кн. X Международной науч.-практич. конференции, г. Барнаул, 4-5 февраля 2015 г. – Барнаул: РИО АГАУ, 2015. – С. 72-74.
11. Никонов, М.В. Совершенствование технологического процесса предварительной очистки семян люцерны / М.В. Никонов // Безотходная технология производства семян люцерны: сб. науч. тр. ВСХИ. – Воронеж, 1989. – С. 122-132.
12. Устройство для очистки льнокостры: пат. 2752475 С1 РФ / М.В. Симонов, В. А. Шаршунов, Н.С. Сентюров, М.В. Цайц. – Опубл. 28.07.2021.
13. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки: ГОСТ 52778-2007. – Введен 01.07.2008.
14. Захаров, С.Е. Параметры и режимы работы горизонтального цилиндрического решета с планетарным вращением: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. / С. Е. Захаров. – Новосибирск, 2017. – 155 с.
15. Черняков, А.В. Интенсификация технологического процесса сепарации зерна на решетках, совершающих бигармонические колебания: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. / А.В. Черняков. – Новосибирск, 2002. – 16 с.
16. Лачуга, Д.Ю. Обоснование процессов и рабочих органов для разделения сырого льновороха: автореф. дис. ... канд. техн. наук. 05.20.01. / Д.Ю. Лачуга. – М., 2007. – 18 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 11.05.2023

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАДИУСОВ РОТОРА И ЗАЩИТНОГО КОЛЬЦА РОТОРНОГО БИЛЬНО-ВЫЧЕСЫВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

В.А. Шаршунов,

*профессор каф. техносферной безопасности и общей физики БГУТ,
докт. техн. наук, профессор, чл.-кор. НАН Беларуси*

А.Н. Карташевич,

*профессор каф. тракторов, автомобилей и машин для природообустройства БГСХА,
докт. техн. наук, профессор*

М.В. Цайц,

ст. преподаватель каф. безопасности жизнедеятельности БГСХА, магистр техн. наук

С.В. Курзенков,

доцент каф. высшей математики и физики БГСХА, канд. техн. наук, доцент

Важным этапом в получении посевного материала является уборка льна. Наиболее распространенный способ уборки льна на семенные цели – однофазная (комбайновая) уборка. К ее существенным недостаткам относят высокую энергоемкость послеуборочной доработки льняного вороха, что связано с наличием большого количества пуганины в нем, потерей семян из-за подсаривания под комбайном, а также повреждение семян и опасность поражения болезнями при несвоевременной переработке.

В целях повышения качества отделения семенной части от стеблей и снижения содержания пуганины в ворохе льна при комбайновой уборке, в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии разработано роторное бильно-вычесывающее устройство. Для определения конструктивных параметров предлагаемого устройства проведен теоретический анализ взаимосвязи радиуса ротора и радиуса защитного кольца с учетом зазора между ротором и передней плоскостью зажимного транспортера, а также предельного угла изгиба стеблей льна.

Ключевые слова: лен, обмолачивающее устройство, лента стеблей льна, зажимной транспортер, ротор, бич, относительное удлинение.

An important phase in the production of flax seed material is the process of harvesting. The most common method of harvesting flax for seed is single-phase (combine) harvesting. Among its serious disadvantages are the high energy intensity of post-harvest handling of flax heap, which is caused by the presence of a large amount of leaves and outer casing in it, combine losses, as well as the damage of the seeds and the risk of diseases in case of late processing.

In order to improve the quality of separation of seed part from the stems and to reduce the amount of leaves and outer casing in the flax heap during combine harvesting, a rotary beater-combing device has been developed at the Belarusian State Agricultural Academy. To determine the design parameters of the device a theoretical analysis of the relationship between the radius of the rotor and the radius of the protective ring was carried out, taking into account the gap between the rotor and the front plane of the clamping conveyor, as well as the limiting bending angle of the flax stalks.

Key words: flax, thresher, flax stalk belt, clamping conveyor, rotor, lunging whip, relative elongation.

Введение

Урожайность льнопродукции напрямую зависит от наличия качественного посевного материала [1, 2]. Основные проблемы семеноводства в Республике Беларусь – отсутствие льносеменных станций, нехватка и высокий процент некондиционных семян, использование семян массовых репродукций, что недопустимо, поскольку это приводит к снижению урожайности и

качества льнопродукции. Уборка льна – важный этап в получении посевного материала [2, 3]. Неоднократно доказано, что для получения семян с высокой всхожестью без искусственной сушки семенного вороха, терление льна и обмолот следует начинать не ранее наступления фазы желтой спелости [1; 4, 5].

При возделывании льна-долгунца используют однофазную (комбайновую) и двухфазную (раздельную) технологии уборки. Двухфазная уборка позво-

ляет получить более качественные семена в сравнении с однофазной, однако она имеет существенную зависимость от погодных условий [6], при этом существует риск недополучения семян. Однофазная технология уборки позволяет гарантированно собрать урожай семян льна, но по сравнению с двухфазной имеет большую энергоёмкость переработки льняного вороха [7], что связано с наличием в нем большого количества путанины. Образование в льняном ворохе путанины связано также с особенностями технологического процесса и применяемого при этом очесывающего аппарата. К сожалению, оба способа уборки являются энергозатратными. В связи с этим производству необходимы менее затратные и надежные технологии получения качественных семян льна-долгунца.

Исследованием свойств стеблей льна при растяжении занимались ученые – Н.М. Чиликин, И.В. Крагельский [8, 9], Г.А. Хайлис [10, 11], Н.Н. Быков [12], М.М. Ибрагим, Г.А. Аверьянова [1]. Исследования отделения семенной части льна от стеблей описаны в работах М.И. Шлыкова [13], Г.А. Хайлиса, Б.П. Можарова, В.Н. Бухаркина [12], П.Ф. Прибыткова [14], П.К. Шрамко [15].

В результате проведенного анализа устройств для отделения семян льна от стеблей [16, 17] была предложена конструктивно-технологическая схема роторного бильно-вычесывающего устройства (рис. 1) [18, 19], отличающегося тем, что оно выполнено в виде диска 2, с одной стороны которого установлены косые бичи 3, а с другой – вычесывающе-транспортирующая щетка 4, что в сочетании с декой обеспечивает комбинированное ударное, вытирающее и вычесывающее воздействие на ленту льна.

Целью данной работы является теоретическое обоснование конструктивных параметров разрабатываемого устройства, исключая излом стеблей льна, а также обеспечивающих технологические параметры процесса обмолота, и определение эмпирического коэффициента удлинения стеблей льна под действием рабочих органов обмолочивающего устройства.

Основная часть

В результате проведенного обоснования рациональной схемы расположения элементов роторного бильно-вычесывающего устройства для отделения семенной части от стеблей льна и его конструктивных параметров была принята схема устройства, обеспечивающего подъем ленты стеблей льна перед вводом их в зону обмолота (рис. 1) [20]. Подъем обеспечивается за счет изгиба ленты относительно плоскости зажатия транспортера на величину предельного угла изгиба стеблей льна $\eta_{пр}$ (в фазу желтой спелости наименьший $\eta_{пр} = \psi/2 = 17^\circ$). В процессе работы ротор, воздействуя на стебли льна бичами, изгибает их вниз. Величина изгиба относительно плоскости зажатия транспортера также не должна превышать $\eta_{пр}$. Данная схема позволит обеспечить и еще один положительный эффект – растягивание слоя ленты льна в молотильном пространстве, т.е. умень-

шение толщины слоя стеблей при их обмолоте и нарушение связей сцепленных между собой семенных коробочек льна.

При такой схеме взаимного расположения рабочих органов устройства положение точки E зажимного транспортера (рис. 1) определяется координатами x_E и y_E .

Абсциссу точки E , т.е. x_E можно определить по формуле

$$x_E = -R - \delta, \quad (1)$$

где R – радиус ротора, м;

δ – технологический зазор между ротором и передней плоскостью зажимного транспортера, м.

С другой стороны, координаты точки $E(x_E, y_E)$ должны удовлетворять уравнениям двух прямых EM_1 (точка M_1 – касательная EM_1 к радиусу защитного кольца) и EM_2 (точка M_2 – касательная EM_2 к радиусу ротора), а значит должны определяться их пересечением. При этом EM_1 описывается уравнением

$$y = (x - x_{M_1}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + y_{M_1}, \quad (2)$$

а EM_2 соответственно

$$y = -(x - x_{M_2}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + y_{M_2}, \quad (3)$$

$$\text{где } x_{M_1} = r \cdot \sin(\eta_{пр}); \quad (4)$$

$$y_{M_1} = -r \cdot \cos(\eta_{пр}); \quad (5)$$

$$x_{M_2} = R \cdot \sin(\eta_{пр}); \quad (6)$$

$$y_{M_2} = -R \cdot \cos(\eta_{пр}). \quad (7)$$

Тогда, приравняв правые части равенств (2) и (3), получим уравнение

$$\begin{aligned} (x - x_{M_1}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + y_{M_1} &= \\ &= -(x - x_{M_2}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + y_{M_2}, \end{aligned} \quad (8)$$

из которого может быть определено положение точки E зажимного транспортера

$$x_E = \frac{(r - R) \cdot \cos(\eta_{пр}) + (R + r) \cdot \sin(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})}{2 \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})}, \quad (9)$$

где r – радиус защитного кольца, м

а y_E путем подстановки результата вычисления x_E вместо x в формулу (2) или (3).

Проанализировав формулы (1) и (9), можно сделать вывод о том, что технологический зазор между ротором и передней плоскостью зажимного транспортера δ может быть определен по формуле

$$\begin{aligned} \delta &= -(x_E + R) = -\left[(r - R) \cdot \cos(\eta_{пр}) + \right. \\ &+ (R + r) \cdot \sin(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) \left. \right] \times \\ &\times \left(2 \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) \right)^{-1} + R \end{aligned} \quad (10)$$

и зависит от радиусов защитного кольца и ротора при принятом значении предельного угла изгиба стеблей.

С другой стороны, в работе [12] было показано, что отношение радиуса ротора к радиусу защитного

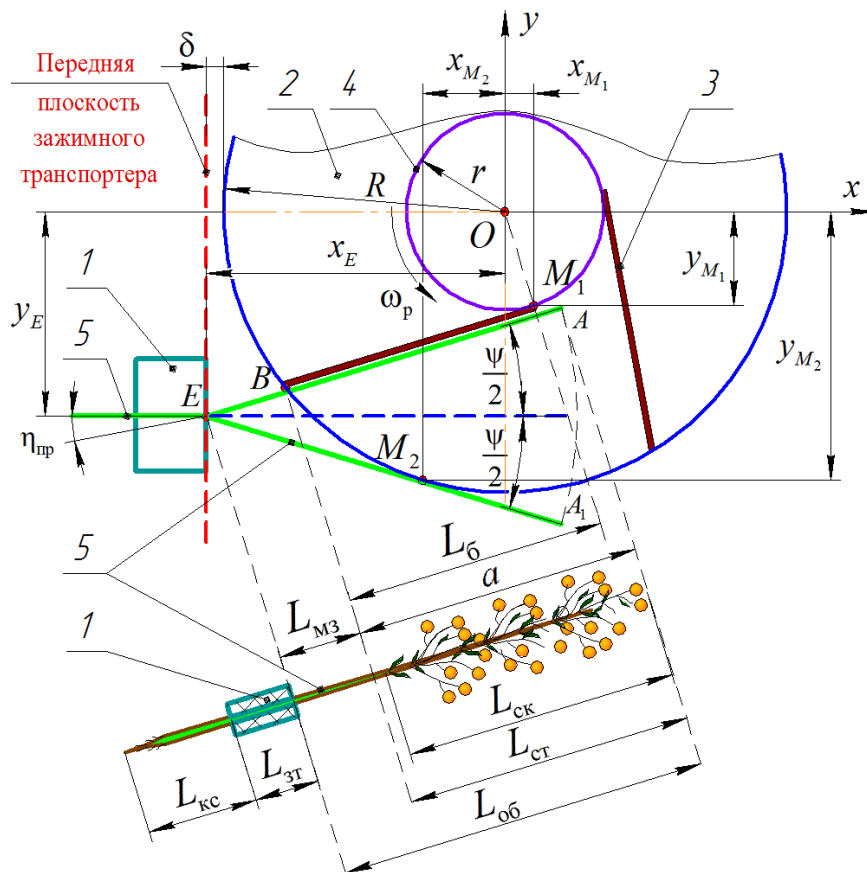


Рисунок 1. Схема к определению параметров роторного бильно-вычесывающего устройства: 1 – зажимной транспортер; 2 – ротор; 3 – бич; 4 – защитное кольцо; 5 – стебли льна; $L_{кк}$ – комлевая часть стебля, м; $L_{зт}$ – участок стебля в зажимном транспортере, м; $L_{мз}$ – участок стебля льна между участками $L_{зт}$ и $L_{ст}$ («мертвая» зона), м; $L_{ст}$ – участок стебля, подверженный воздействию рабочего органа (бича) при обмолоте, м; $L_{об}$ – длина обрабатываемого участка стебля льна, м; $L_{ск}$ – ширина зоны расположения семенных коробочек в ленте, м; $L_{б}$ – длина образующей бича, м; a – ширина активной зоны устройства, м; R – радиус ротора, м; r – радиус защитного кольца, м; ω_p – угловая скорость вращения ротора, c^{-1} ; $\eta_{пр}$ – предельный угол изгиба стеблей льна, рад; ψ – угол изгиба стеблей льна рабочими органами обмолачивающего устройства, рад; δ – технологический зазор между ротором и передней плоскостью зажимного транспортера, м

кольца для принятой схемы взаимного расположения элементов устройства должно определяться формулой

$$\frac{R}{r} = \frac{|x_E \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + y_E|}{|x_E \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) - y_E|}, \quad (11)$$

Это позволяет сделать вывод о том, что безразмерный параметр R/r будет являться параметром подобия обмолачивающих устройств, сконструированных по предлагаемой схеме компоновки оборудования. Если учесть в выражении (11) соотношения (4), (5), (6), (7) и (9), то оно примет вид

$$\frac{R}{r} = \frac{r \cdot \cos(\eta_{пр}) + \operatorname{tg}(\eta_{пр}) \times}{r \cdot \cos(\eta_{пр}) + \operatorname{tg}(\eta_{пр}) \times} \times \frac{(R + \delta + r \cdot \sin(\eta_{пр})) + \operatorname{tg}(\eta_{пр}) \cdot (R + \delta)}{(R + \delta + r \cdot \sin(\eta_{пр})) - \operatorname{tg}(\eta_{пр}) \cdot (R + \delta)}. \quad (12)$$

Выразим из выражения (12) радиус ротора

$$R = \left(r \cdot \cos(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})^2 + 2 \cdot \delta \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + r \cdot \cos(\eta_{пр}) \right) \times \left(\cos(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})^2 - 2 \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + \cos(\eta_{пр}) \right)^{-1}. \quad (13)$$

Поступающая на обмолот лента содержит в верхушечной части растений семенные коробочки (рис. 1). Ширина зоны $L_{ск}$ имеет в стеблестое на корню высоту 0,25–0,45 м, а в ленте льна из-за растянутости и неодинаковой длины растений она составляет 0,35–0,56 м [21].

Отделение семенных коробочек от стеблей осуществляется на участке AB (рис. 1), ширина которого равна a . Длина «мертвой» зоны $L_{мз}$ равна расстоянию от передней границы ручья зажимного транспортера

(точка E) до точки B , наиболее удаленной от оси вращения ротора O . Чем больше a и меньше $L_{МЗ}$, тем полнее будет обмолот, особенно короткостебельного льна. Ширина активной зоны устройства a должна быть больше или равна ширине зоны расположения семенных коробочек в ленте $L_{СК}$, т.е.

$$a \geq L_{СК}. \quad (14)$$

Поскольку ротор 2 с бичами 3 в процессе работы осуществляет вращательное движение вокруг оси ротора O , то при большом значении величины EA , соответствующей длине обрабатываемого участка стебля льна $L_{об}$, стебель может наматываться на защитное кольцо 4, что приведет к нарушению технологического процесса. Условие не наматывания можно записать как

$$(\delta + R + r \cdot \sin(\eta_{пр})) \cdot \cos(\eta_{пр}) + 2 \cdot \pi \cdot r \geq L_{об} \cdot \kappa, \quad (15)$$

где $L_{об}$ – длина стебля льна от места зажима до вершины, м;

κ – коэффициент, учитывающий удлинение стеблей в ленте льна.

Неравенство (15) с учетом (13) примет вид

$$\begin{aligned} & \left[\delta + \left(r \cdot \cos(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})^2 + \right. \right. \\ & + 2 \cdot \delta \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + r \cdot \cos(\eta_{пр}) \left. \right) \times \\ & \times \left(\cos(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})^2 - 2 \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + \right. \\ & \left. \left. + \cos(\eta_{пр}) \right)^{-1} + r \cdot \sin(\eta_{пр}) \right] \times \\ & \times \cos(\eta_{пр}) + 2 \cdot \pi \cdot r \geq L_{об} \cdot \kappa \end{aligned} \quad (16)$$

Для некоторого граничного значения длины обрабатываемого участка стебля льна $L_{об}$ неравенство (16) запишем в виде

$$\begin{aligned} & \left[\delta + \left(r \cdot \cos(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})^2 + \right. \right. \\ & + 2 \cdot \delta \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + r \cdot \cos(\eta_{пр}) \left. \right) \times \\ & \times \left(\cos(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})^2 - 2 \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + \right. \\ & \left. \left. + \cos(\eta_{пр}) \right)^{-1} + r \cdot \sin(\eta_{пр}) \right] \times \\ & \times \cos(\eta_{пр}) + 2 \cdot \pi \cdot r = L_{об} \cdot \kappa \end{aligned} \quad (17)$$

и решим относительно радиуса защитного кольца r

$$\begin{aligned} r = & (L_{об} \cdot \kappa - \cos(\eta_{пр}) \times (\delta + \\ & + (2 \cdot \delta \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})) \times (\cos(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})^2 - \\ & - 2 \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + \cos(\eta_{пр}))^{-1}) / -(2 \cdot \pi + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + \cos(\eta_{пр}) \times (\sin(\eta_{пр}) + \\ & + (\cos(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})^2 + \cos(\eta_{пр})) \times \\ & \times (\cos(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})^2 - 2 \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + \\ & + \cos(\eta_{пр}))^{-1})). \end{aligned} \quad (18)$$

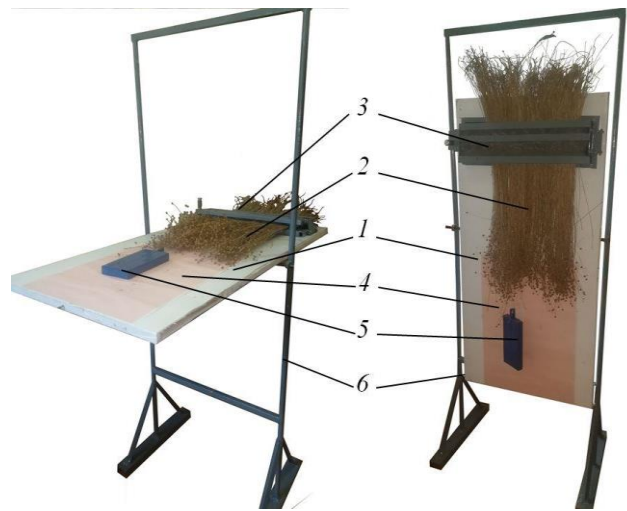
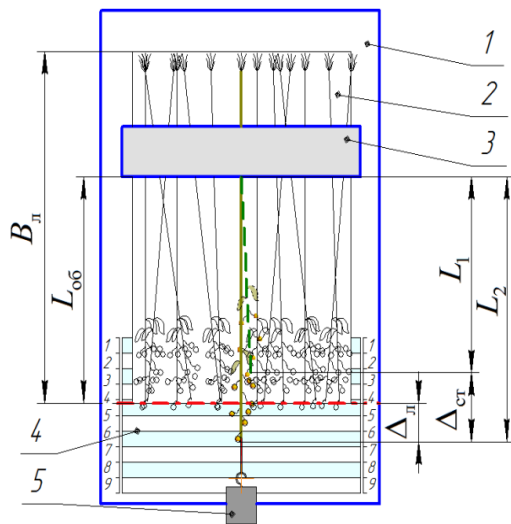
Выражение (18) позволяет определить наименьшее значение радиуса защитного кольца. Для определения минимального значения радиуса защитного кольца для принятой схемы взаимного расположения элементов устройства, обеспечивающего деление угла ψ пополам ($\eta_{пр} = \psi/2$), необходимо установить значение эмпирического коэффициента κ и уточнить параметр δ .

Приведенный в выражении (15) коэффициент κ учитывает возможное увеличение участка стеблей, находящегося в зоне обмолота $L_{об}$, за счет возникающих во время работы устройства сил, действующих на стебли льна в направлении оси Ox . С целью определения параметров κ и Δ_l была изготовлена лабораторная установка, схема и общий вид которой представлены на рисунке 2.

Установка представляет собой сплошную плиту 1, на которой жестко закреплено зажимное устройство 3, имитирующее зажимной транспортер, в которое укладывалась лента льна 2. В нижней части плиты имеется линейная шкала 4. Плита устанавливалась в раму вертикальной конструкции шарнирно, с возможностью поворота на 90° . В качестве растягивающей силы использовался груз 5 массой, исключающей обрыв стебля.

Опыты проводили следующим образом. На расположенную горизонтально плиту 1 в зажимное устройство 3 укладывался и фиксировался отрезок ленты льна 2 длиной 0,5 м, полученный при работе теребильного аппарата льноуборочного комбайна «Двина 4М». Укладка отрезка ленты льна в зажимное устройство проводилась на расстоянии 1/3 от комлевой части ленты. За верхнюю часть стебля, ниже соцветия, закрепляли с помощью зажима груз таким образом, чтобы зажатие было надежным, но без существенного повреждения растения. С помощью шкалы 4 фиксировалось начальное положение верхушки стебля, а затем плита плавно переводилась в вертикальное положение. Стебель под действием груза вытягивался, после чего фиксировалось значение длины стебля в вытянутом состоянии. Разница между верхушкой вытянутого стебля и верхушками стеблей в ленте соответствовала удлинению Δ_l . Испытанию подвергалась лента стеблей льна шириной $B_l = 0,69; 0,82; 0,96$ и $1,09$ м.

Коэффициент, учитывающий удлинение стеблей в ленте льна κ , определим из выражения



а) б)
Рисунок 2. Схема (а) и общий вид (б) лабораторной установки для определения параметров Δ_l и κ : 1 – плита; 2 – лента стеблей льна; 3 – зажимное устройство; 4 – линейная шкала; 5 – груз; 6 – рама; V_l – ширина ленты льна, м; $L_{об}$ – длина участка стебля льна до воздействия на него груза, м; L_1 – длина участка стебля льна после воздействия на него груза, м; Δ_l – величина, на которую вытянулся стебель льна под действием груза, м; $\Delta_{ст}$ – общая величина, на которую вытянулся стебель льна под действием груза, м

$$\kappa = \frac{L_{об} + \Delta_l}{L_{об}}, \quad (19)$$

где Δ_l – величина, на которую вытянулся стебель льна под действием груза, м.

Для определения величины κ были заготовлены опытные образцы свежесобранного льна на полях льнозавода ОАО «Горкилен». Исследуемые образцы стеблей льна имели влажность 43-55 %, значения диаметров стеблей находились в пределах $(0,48-2,37) \cdot 10^{-3}$ м, а их средняя длина – 0,69-1,09 м.

В результате исследований получено 140 значений величины Δ_l и 140 расчетных значений κ при различных значениях $L_{об}$. Практические наблюдения в процессе проведения эксперимента позволили установить основные факторы, влияющие на параметр Δ_l . К ним относятся: перекося стеблей в ленте, кривизна самого стебля и относительное удлинение стебля под действием приложенной силы.

Влияние длины участка ленты льна $L_{об}$ на Δ_l и κ обосновывается связью между перекося стеблей в ленте и работой делителей, теребильного аппарата и скоростного режима льноуборочного комбайна [22-24].

Статистическую обработку полученных данных проводили в программе Microsoft Excel с помощью надстройки «Анализ данных», «Однофакторный дисперсионный анализ» [25]. В результате оценки установлена доля влияния фактора (L_1) на величины Δ_l и $\Delta_{ст}$ соответственно: при величине $L_{об} = 0,46$ м – 33,07

и 68,98 %; $L_{об} = 0,55$ м – 48,62 и 35,40 %; $L_{об} = 0,64$ м – 76,99 и 17,72 %; $L_{об} = 0,73$ м – 90,01 и 2,67 %. Снижение доли влияния параметра L_1 на величины Δ_l и $\Delta_{ст}$ может объясняться наличием относительного сдвига стеблей в ленте льна.

Средние значения показателей величины Δ_l и коэффициента κ для различных величин $L_{об}$ приведены в таблице 1.

Расчитанный коэффициент корреляции между показателями $L_{об}$ и Δ_l составил 0,998, а между показателями $L_{об}$ и $\Delta_{ст}$ – 0,987, что свидетельствует о сильной прямой связи между ними, и при проведении расчетов можно воспользоваться одним из них. Также следует отметить, что изменение параметров коэффициента κ в зависимости от величины $L_{об}$ нелинейно.

Графики зависимостей длины участка Δ_l и коэффициента κ от длины обрабатываемого участка стебля льна $L_{об}$ от места зажима до вершины приведены на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что параметр Δ_l хорошо подчиняется линейной зависимости от $L_{об}$ вида

$$\Delta_l = 0,0092 \cdot L_{об} + 0,0157, \quad (20)$$

с коэффициентом детерминации равным 0,995, а коэффициент κ – квадратичной зависимости

$$\kappa = -0,002 \cdot L_{об}^2 + 0,0162 \cdot L_{об} + 1,0385 \quad (21)$$

с коэффициентом детерминации равным 0,99.

Приведем пример моделирования конструктивных параметров предлагаемого бильно-вычесыва-

Таблица 1. Результаты оценки влияния величины $L_{об}$ на Δ_l и коэффициент κ

Наименование параметра	Величина $L_{об}$, м			
	0,46	0,55	0,64	0,73
Среднее значение величины удлинения стебля льна Δ_l , м	0,020	0,030	0,039	0,047
Значение коэффициента удлинения стеблей в ленте льна κ	1,053	1,063	1,069	1,071

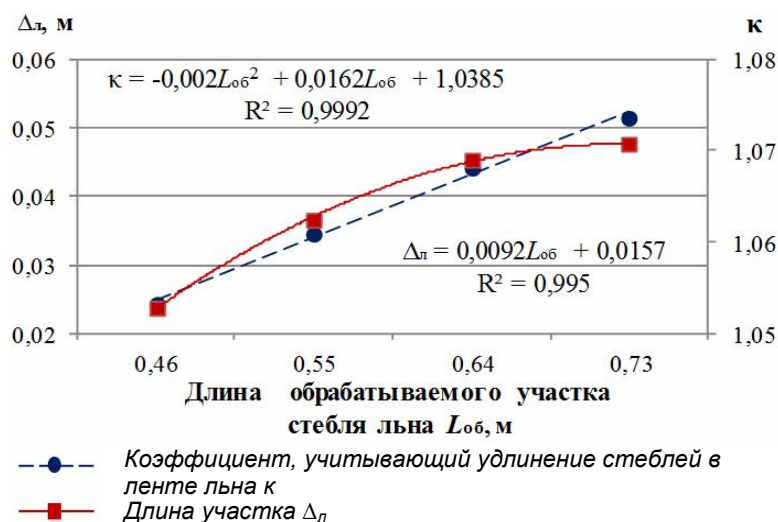


Рисунок 3. Графики зависимости Δ_l и коэффициента удлинения стеблей в ленте льна κ от $L_{об}$

ющего устройства в математическом пакете MathCad (рис. 4). Для этого примем $\delta = 0,04$ м (обусловлено конструктивными особенностями бильно-вычесывающего

является постоянной величиной для принятого значения предельного угла изгиба стеблей льна. Таким образом, полученный безразмерный показатель R/r является параметром подбора обмолачивающих устройств, сконструированных по предлагаемой схеме компоновки и взаимного расположения рабочих органов. Установлены зависимости для определения радиуса ротора и радиуса защитного кольца из условия не наматывания стеблей льна на защитное кольцо с учетом возможного удлинения стеблей в ленте льна за счет продольных сил, действующих на стебли при работе устройства.

Получены эмпирические закономерности изменения величины удлинения стебля льна Δ_l и коэффициента удлинения стеблей в ленте льна κ от длины участка стеблей льна, находящегося в зоне обмола $L_{об}$.

Полученные результаты позволили установить для конструкции предлагаемого роторного бильно-вычесывающего устройства значение минимального радиуса зажимного кольца и радиуса ротора. При максимальной возможной ширине ленты стеблей льна, находящейся в зоне обмола 1,09 м, радиус защитного кольца должен составлять не менее 0,12 м. Расчетный диаметр ротора при радиусе защитного кольца 0,12 м и предельном угле изгиба стеблей льна 17° должен составлять не менее 0,346 м.

Рисунки 3 и 4 иллюстрируют полученные зависимости и расчеты параметров устройства.

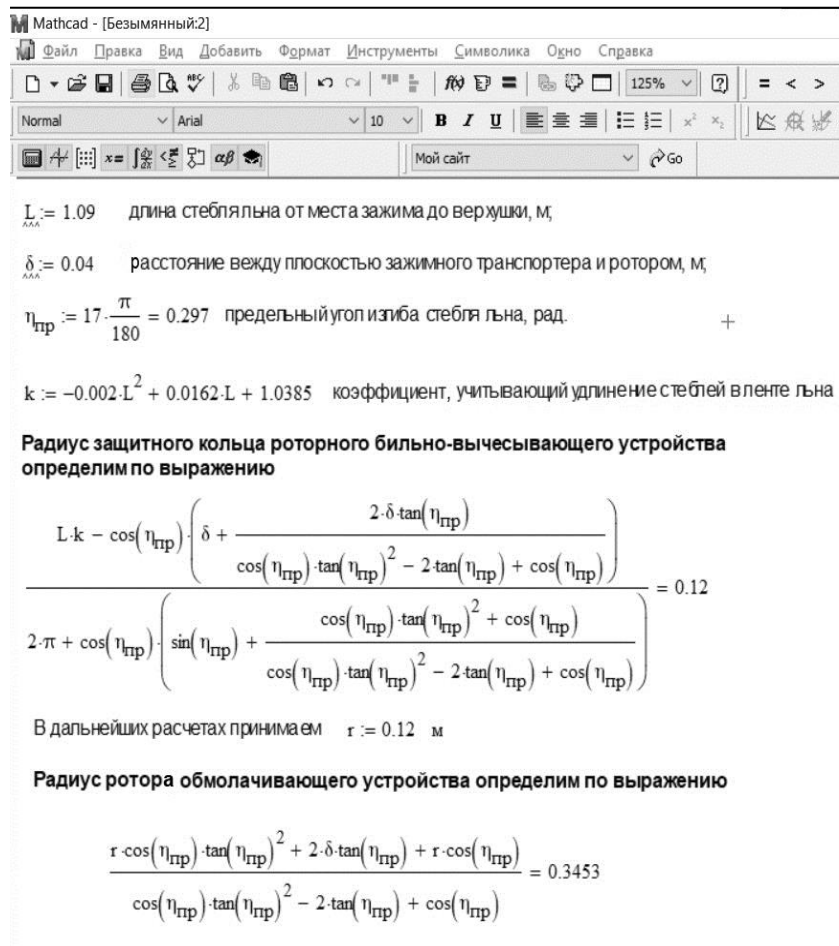


Рисунок 4. Исходные данные и расчетная часть определения конструктивных параметров предлагаемого бильно-вычесывающего устройства

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ
ИСТОЧНИКОВ**

1. Основы расчета рабочих органов машин и оборудования для производства семян льна: монография / В.А. Шаршунов [и др.]. – Горки: БГСХА, 2016. – 156 с.
2. Шаршунов, В.А. Состояние льноводческой отрасли Республики Беларусь и пути повышения ее эффективности / В.А. Шаршунов, А.С. Алексеенко, М.В. Цайц // Вестник БГСХА. – 2019. – № 2. – С. 267-271.
3. Шаршунов, В.А. Анализ механизированных технологий уборки и первичной переработки льна / В.А. Шаршунов, А.С. Алексеенко, М.В. Цайц, В.А. Левчук. – Вестник БГСХА. – 2017. – № 2. – С. 137-141.
4. Яньшина, А.А. Обоснование срока теребления льна-долгунца для получения семян с высокими посевными качествами / А.А. Яньшина, А.А. Линь, В.М. Михайлов // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – № 2. – С. 33-35.
5. Мансапова, А.И. Особенности технологий возделывания льна-долгунца на волокно и семена в подтаежной зоне Омской области / А.И. Мансапова, М.А. Горбова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 12 (194). – С. 24-30.
6. Ковалев, М.М. Ресурсосберегающая технология комбинированной уборки льна-долгунца / М.М. Ковалев, Б.А. Поздняков // Интенсификация машинных технологий производства и переработки льнопродукции: материалы Международной науч.-практич. конф. – Тверь: ГНУ ВНИПТИМЛ. – 2004. – Ч. 1. – С. 93-102.
7. Раздельная уборка льна-долгунца в условиях льносеющих хозяйств / М.М. Труш [и др.] // Сб. науч. тр. – Торжок: ВНИИ льна, 1991. – Вып. XXVII. – С. 73-81.
8. Крагельский, И.В. Трение волокнистых веществ / И.В. Крагельский. – М.: Гизлегпром, 1941. – 127 с.
9. Крагельский, И.В. Физико-механические свойства лубяного сырья / И.В. Крагельский. – М.: Гизлегпром, 1935. – 299 с.
10. Хайлис, Г.А. Механика растительных материалов / Г.А. Хайлис. – Киев: изд-во УААН, 2002. – С. 160-167.
11. Хайлис, Г.А. Механика растительных материалов / Г.А. Хайлис. – Киев: изд-во УААН, 1994. – 332 с.
12. Быков, Н.Н. Исследование технологического процесса и устройств для зажима стеблей в льноуборочных комбайнах: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Н.Н. Быков. – Торжок, 1969. – 163 с.
13. Шлыков, М.И. Льноуборочный комбайн (теория, расчет, конструкция) / М.И. Шлыков. – М.: Машгиз, 1949. – 300 с.
14. Прибытков, П.Ф. Экспериментальные исследования процесса очеса льна у комбайна ЛК-7: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / П.Ф. Прибытков. – Л.: Пушкин, 1952. – 177 с.
15. Шрамко, П.К. Изыскание способов снижения выхода путанины в работе очесывающего аппарата в системе льнокомбайна ЛК-7: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / П.К. Шрамко. – Л.: Пушкин, 1955. – 167 с.
16. Вакарчук, С. Анализ очесывающих аппаратов для отделения семян от стеблей льна / С. Вакарчук // Актуальные вопросы развития науки и технологий: сборник статей Международной науч.-практич. конференции молодых ученых, Караваево, 01-31 марта 2017 г. / Костромская государственная сельскохозяйственная академия. – Караваево: Костромская государственная сельскохозяйственная академия, 2017. – С. 71-75.
17. Анализ устройств для отделения семян льна от стеблей / В.А. Шаршунов, А.С. Алексеенко, М.В. Цайц, В.А. Левчук // Вестник БГСХА. – 2017. – № 4. – С. 174-180.
18. Устройство для отделения семенных коробочек и семян льна от стеблей: патент 2788696 С1 РФ / М.В. Симонов, В.А. Шаршунов, Н.С. Сентюров, М.В. Цайц. – Заявл. 16.06.2022. – Опубл. 24.01.2023. – Бюл. № 3.
19. Устройство для отделения семенных коробочек льна от стеблей: пат. 21293 Респ. Беларусь, МПК А 01D 45/06 (2006.01) / В.Е. Кругленья, В.И. Коцуба, П.Д. Сентюров, А.Д. Сентюров, М.В. Цайц, Г.А. Райлян, И.Л. Подшиваленко. – Заявл. 14.01.13. Опубл. 25.05.17 // Бюл. – № 4 (117). – С. 57.
20. Обоснование рациональной схемы расположения элементов роторного устройства для отделения семенной части от стеблей льна и конструктивных его параметров / С.В. Курзенков, М.В. Симонов, М.В. Цайц, В.И. Коцуба // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 10 (137). – С. 7-19.
21. Зинцов, А.Н. Обоснование и разработка процессов и машин для раздельной уборки льна-долгунца: дис. ... док. техн. наук: 05.20.01 / А.Н. Зинцов. – Кострома, 2007. – 347 с.
22. Астахов, В.С. Анализ формирования растянутой ленты льна-долгунца при уборке комбайновой технологией / В.С. Астахов, С.В. Курзенков, О.В. Гордеенко // Вестник БГСХА. – 2022. – № 2. – С. 180-186.
23. Зинцов, А.Н. О взаимном расположении ленты растений льна-долгунца и очесывающего аппарата при раздельной уборке / А.Н. Зинцов // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – № 3. – С. 75-80.
24. Перевозников, В.Н. Исследование процесса отделения семян в линии первичной переработки льна / В.Н. Перевозников, В.А. Левчук, В.И. Коцуба // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра. – Гомель: Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш». – 2022. – С. 219-223.
25. Останин, В.П. Применение математических методов и ЭВМ. Планирование и обработка результатов эксперимента: учеб. пособие / А.Н. Останин, В.П. Тюленев, А.В. Романов, А.А. Петровский; под общ. ред. А.Н. Основина. – Минск: Выш. шк., 1989. – 218 с.

26. Ковалев, М.М. Исследование сопротивления стеблей льна отгибу / М.М. Ковалев, А.В. Галкин, В.И. Дмитриев // Проблемы повышения технологического качества льна-долгунца: материалы Междуна-

родной науч.-технич. конф., Торжок, 02-03 ноября 2004 г. – Торжок: ООО «Вариант», 2005. – С. 224-229.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 11.05.2023

УДК 631.31.001.24

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2023-157-3-21-25>

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ РЫХЛИТЕЛЬНЫМ ОРГАНОМ ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ

В.П. Чеботарев,

зав. каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

Г.А. Радишевский,

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

Г.Н. Портянко,

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

Н.П. Гурнович,

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

В.В. Козловский, Е.Ю. Позняк,

студенты агромеханического факультета БГАТУ

В статье представлены результаты теоретических и лабораторных исследований рыхлительного органа, обеспечивающего разрушение уплотненного подпахотного слоя.

Ключевые слова: почва, уплотненный слой, рыхлительный орган.

The article presents the results of theoretical and laboratory studies of the loosening unit that ensures the destruction of the compacted subsurface layer.

Key words: soil, compacted layer, loosening unit.

Введение

Одной из задач механической обработки почвы является создание оптимальной плотности и ее структурного сложения.

Сельскохозяйственные растения хорошо развиваются при благоприятных физических, химических и биологических процессах, протекающих в почве. Протекание этих процессов зависит от состояния поверхностного (посевного) слоя почвы: отсутствия глыб и комков, наличия мульчированного верхнего слоя, сохраняющего тепло и влагу, равномерного рыхления до определенной плотности. При отклонении плотности пахотного горизонта от оптимального значения ($1,0 \dots 1,3 \text{ г/см}^3$) в зоне расположения высеванных семян для зерновых культур на $0,1 \dots 0,3 \text{ г/см}^3$ снижается урожайность на $20 \dots 45 \%$ [1].

При длительном применении классической технологии обработки почвы – вспашки снижается ее плодородие и урожайность сельскохозяйственных культур из-за интенсивного разрушения и уплотнения вследствие многократных проходов машинно-тракторных агрегатов (МТА) [1]. Многократные проходы МТА по полю способствуют распылению верхнего и уплотнению нижнего слоя почвы, что отрица-

тельно влияет на плодородие и урожайность сельскохозяйственных культур [2]. Кроме того, при обработке почвы на постоянную глубину она подвергается уплотнению пахотного слоя рабочими органами сельскохозяйственных машин и ходовыми системами энергетических средств. В результате уплотнения объемная масса почвы и ее сопротивление обработке повышаются, соответственно, в $1,5 \dots 2,0$ и $1,3 \dots 1,9$ раза, снижается общая капиллярная пористость плодородного слоя, что способствует снижению жизнедеятельности почвенной микрофлоры и приводит к недобору урожая [3].

В результате работы отвальных плугов в слое почвы, расположенном ниже прохода лезвий рабочих органов почвообрабатывающих машин, образуется, так называемая, «плужная подошва», которая препятствует проникновению выпавших осадков в нижележащие слои и испарению излишков влаги из нижних горизонтов. При этом корневая система растений не может проникнуть в уплотненный слой (плужную подошву) и в нижние слои почвы, где располагаются питательные вещества. Плужная подошва препятствует миграции вредных веществ из верхних горизонтов пахотного слоя в нижние и попаданию питательных веществ из нижних слоев в верхние, в ре-

зультате чего создаются неблагоприятные условия для развития растений.

Борьбу с уплотнением почвы возможно осуществлять тремя способами: снижением уплотнения, разуплотнением и его предотвращением.

Снижения уплотнения можно достичь за счет уменьшения массы МТА, применения широкозахватных или использования комбинированных агрегатов, выполняющих несколько операций за один проход. Перспективным направлением является использование технологической колеи при возделывании сельскохозяйственных культур. Одним из способов предотвращения уплотнения почвы является применение минимальной системы обработки почвы. Минимальная система предусматривает сокращение количества обработок и их глубины, совмещение и одновременное выполнение нескольких технологических операций за один проход агрегата.

Целью данной работы является оценка эффективности применения предлагаемого рыхлительного органа, обеспечивающего разрушение «плужной подошвы».

Основная часть

В настоящее время наиболее эффективным приемом разрушения «плужной подошвы» является механическое воздействие на глубину 0,3...0,5 м с помощью глубокорыхлителя-щелевателя. Рыхление почвы на глубину 0,3...0,5 м обеспечивает разуплотнение подпочвенного слоя, способствует регулированию поверхностного стока, улучшает стабильность ее структурного слоя, а также способствует увеличению урожайности сельскохозяйственных культур на 15...25 % [4].

Проблемы разрушения плотных слоев почвы описаны в трудах ученых – П.Н. Бурченко, Ж.Е. Токушева, В.М. Драч и многих других [3; 5, 6].

Наиболее распространенный способ разуплотнения пахотного и подпахотного горизонтов – глубокое механическое рыхление, которое улучшает физико-механические и агробиологические свойства почвы, повышает водо- и воздухопроницаемость, отводит излишки влаги в нижние слои, увеличивает корнеобитаемый слой и обеспечивает прибавку урожая [2]. В настоящее время чаще всего применяются орудия с пассивными рыхлительными органами, которые просты в устройстве и надежны в работе, но имеют высокую энергоемкость и низкую производительность [3]. Поэтому повышение эффективности глубокого рыхления является одной из актуальных задач современного земледелия.

Наиболее эффективен пассивный рыхлительный рабочий орган, состоящий из стойки, установленной под углом 90° к горизонту, с закрепленным на ней долотом, который при движении в почве совершает разуплотнение пахотного и подпахотного горизонта. Применение вертикальной стойки обеспечивает минимальное сопротивление рабочего органа [3].

При движении стойка рыхлительного органа разрезает сплошной массив, а почва перед ней деформируется

передней гранью долота. Деформация вначале упругая, а затем пластическая. При достижении предельных значений деформации происходит отрыв или сдвиг стружки почвы в продольной и поперечной плоскостях под углом боковой деформации почвы ψ (рис. 1). Профиль деформируемого пласта в поперечном сечении имеет вид трапеции, одно из оснований которой является шириной зоны деформации почвы в поперечном направлении b , а другое – шириной следа режущей кромки рыхлительного органа b_0 .

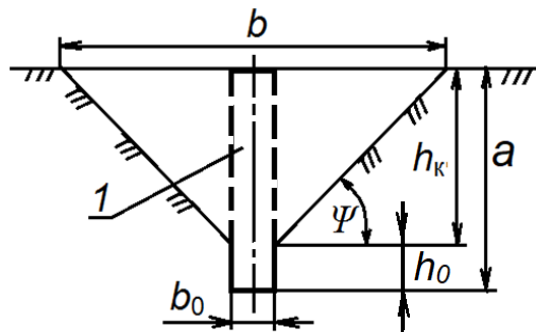


Рисунок 1. Параметры щели, образуемой рыхлительным органом: 1 – рыхлительный орган; а – глубина хода рыхлительного органа, м; b – зона деформации почвы в поперечном сечении пласта, м; b_0 – ширина следа режущей кромки рыхлительного органа, м; h_k – критическая глубина обработки почвы, м; ψ – угол боковой деформации почвы, град; h_0 – глубина блокировочного резания без отделения почвенной стружки с боковых сторон рыхлительного органа, м

Важным технологическим параметром глубокого рыхления является критическая глубина обработки почвы h_k , при которой прекращается резание с отделением стружки, и формирование прорези происходит за счет смятия почвы передней кромкой стойки с вытеснением в боковые щели. Для обеспечения максимальной ширины деформации почвы рыхлительный орган в виде прямой стойки с долотом должен перемещаться в почве выше критической глубины. При рыхлении на критической глубине и ниже недостаточно усилия для образования поверхностного сдвига или отрыва частицы почвы. Почва при этом уплотняется, перемещаясь в стороны или вниз [7]. Согласно рекомендациям источников [4; 7], оптимальным является угол резания $\alpha = 15...20^\circ$. Для среднесуглинистых почв ширина рыхлительного органа рекомендуется $b_0 = 0,08$ м.

Г.В. Плющев [8] установил зависимость между шириной рыхлительного органа и критической глубиной резания h_k

$$h_k = \frac{b_0 \left[0,1 \frac{\rho}{\sigma_{om}} (1 + 3tg\psi) \right] - 2,5}{4,2 + ctg\alpha},$$

где b_0 – ширина рыхлительного органа, м; ρ – сопротивление почвы смятию, $\rho = (1...3)$ МПа;

ψ – угол боковой деформации почвы, град;
 $\sigma_{от}$ – временное сопротивление почвы отрыву, МПа;

α – угол резания, град., $\alpha = 20^\circ$ [7];

Для среднего суглинка при значениях угла трения $\varphi = 26^\circ$ (0,35 рад.) и угла вхождения рыхлительного органа в почву $\alpha = 20^\circ$ (0,46 рад.) угол боковой деформации почвы

$$\psi = \frac{\pi}{2} - (\varphi + \alpha) = 0,76 \text{ рад или } \psi = 38^\circ.$$

Критическое значение глубины хода рыхлительного органа, при котором обеспечивается рыхление почвы

$$h_k = \frac{0,08[0,1 \cdot 180 \cdot (1 + 3 \cdot 0,94)] - 2,5}{4,2 + 2,8} = 0,43 \text{ м.}$$

Заглублять рыхлительный орган на глубину более чем на 0,43 м нецелесообразно, так как не будет обеспечиваться разрушение подкапываемого пласта почвы.

Зона деформированной полосы почвы в поперечной плоскости ограничивается критической глубиной резания (рис. 2).

Зона деформации почвы (в поперечном направлении) на расстоянии l от носка рыхлительного органа (рис. 2)

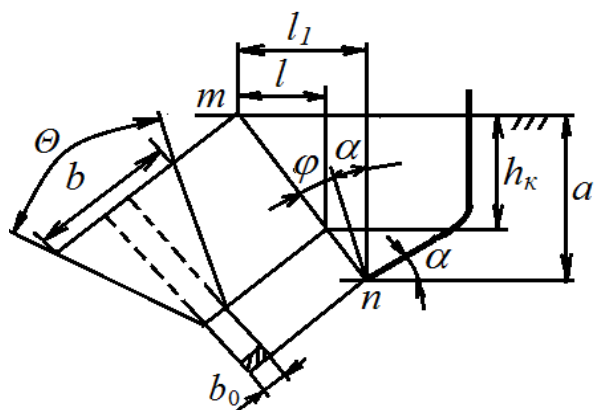


Рисунок 2. Схема деформации почвы рыхлительным органом: a – глубина хода рыхлительного органа, м; b – зона деформации почвы в поперечном сечении пласта, м; l_1 – зона деформации почвы, м; l – зона деформации почвы при критической глубине резания, м; Θ – угол, характеризующий деформацию почвы в плоскости скалывания m - n , град.; φ – угол трения почвы по стали, град.; α – угол вхождения рыхлительного органа в почву, град

$$b = b_0 + \frac{2a \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\Theta}{2}\right)}{\cos(\alpha + \varphi)},$$

где b – зона деформации почвы в горизонтальной плоскости, м;

a – глубина обработки, м;

θ – угол, характеризующий деформацию почвы, град;

α – угол входа рыхлительного органа в почву, град;
 φ – угол трения, град.

При $a = 0,30$ м

$$b = 0,08 + \frac{2 \cdot 0,30 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{50^\circ}{2}\right)}{\cos(20^\circ + 26^\circ)} = 0,48 \text{ м.}$$

При $a = 0,40$ м

$$b = 0,08 + \frac{2 \cdot 0,40 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{50^\circ}{2}\right)}{\cos(20^\circ + 26^\circ)} = 0,62 \text{ м.}$$

Согласно требованиям [6], при расстановке рыхлительных органов на раме должно соблюдаться условие:

$$h_r < h_k,$$

где h_r – глубина рыхления с образованием гребешков.

В этом случае зоны распространения деформации почвы (рис. 3) с боковых сторон в процессе рыхления пересекаются в обрабатываемом слое. В результате в верхнем слое до некоторой глубины h_d происходит сплошное рыхление почвы по всей ширине захвата, а ниже, в слое толщиной h_r , происходит

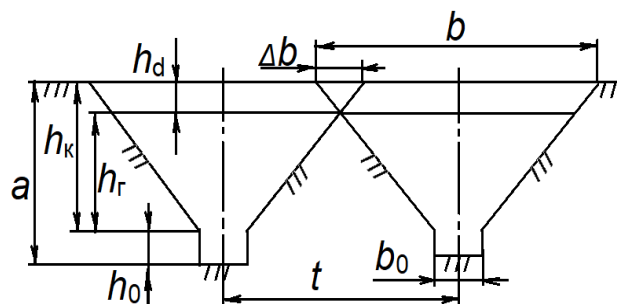


Рисунок 3. Схема поперечного сечения почвы при обработке рыхлительным органом: a – глубина хода рыхлительного органа, м; b – зона деформации почвы в поперечном сечении пласта, м; Δb – перекрытие зон деформации, м; h_d – глубина сплошного рыхления, м; h_r – глубина рыхления с образованием гребешков, м; t – расстояние между рыхлительными органами, м; h_k – критическая глубина обработки, м; b_0 – ширина рыхлительного органа, м; h_0 – глубина блокировочного резания, м

рыхление с образованием гребешков, еще ниже в слое толщиной h_0 – образование щелей (без отделения стружки).

Рыхлительные органы должны располагаться так, чтобы исключалось заклинивание почвы между ними и забивание растительными остатками, а число органов, работающих в сплошной среде, должно быть как можно меньше, для получения минимальных затрат энергии на выполнение технологического процесса.

Для оценки эффективности предлагаемых решений, в почвенном канале Белорусского государственного аграрного технического университета (рис. 4)



Рисунок 4. Лабораторные исследования рыхлительного органа в почвенном канале БГАТУ: 1 – рыхлительный орган; 2 – тележка; 3 – измерительный комплекс PC Messlektronik «Spider 8»; 4 – ноутбук

проводились лабораторные исследования по подтверждению теоретических предположений. Изучалось влияние глубины хода рыхлительного органа на ширину и площадь рыхления, высоту гребней и тяговое сопротивление.

Перед проведением лабораторных исследований почва уплотнялась и выравнивалась катком. Исследования проводились на среднесуглинистой почве при

влажности 19,6...20,5 % и твердости 0,74 и 0,93 МПа.

Испытывался макетный образец рыхлительного органа (рис. 5а) с прямой стойкой и долотом, установленным под углом к горизонту $\alpha = 20^\circ$. Глубина обработки почвы устанавливалась от 0,20 до 0,40 м (рис. 5) с шагом $\Delta a = 0,05$ м и замерялась в пяти точках через 3 метра при средней скорости перемещения $V = 0,62$ м/с.

Анализ данных, приведенных в таблице 1, показывает, что ширина зоны рыхления, определенная экспериментально (рис. 5б), больше, чем теоретическая. Увеличение зоны рыхления связано с образованием гребнистости почвы (рис. 6) и возрастает с увеличением глубины рыхления.

Тяговое сопротивление рыхлительного органа определялось с использованием тензозвена (рис. 7а), с регистрацией измерительным комплексом PC Messlektronik «Spider 8». Зависимость тягового сопротивления рыхлительного органа от глубины рыхления приведена на графике (рис. 7б), из которого следует, что с увеличением глубины тяговое сопротивление возрастает.

Заключение

В результате проведенных экспериментальных исследований рыхлительного органа в почвенном канале БГАТУ установлено, что для среднего суглинка (при $\varphi = 26^\circ$ и $\alpha = 20^\circ$) критическое значение глубины хода рыхлительного органа не должно превышать 0,43 м.

Рыхлительный орган шириной $b_0=0,08$ м при движении на глубине до $a=0,40$ м обеспечивает рых-



а б
Рисунок 5. Рыхлительный орган: а – общий вид; б – в почвенном канале

Таблица 1. Показатели работы экспериментального рыхлительного органа

Глубина рыхления, м	Ширина зоны рыхления, м		Высота гребней, м	Площадь рыхления, м ²
	теоретическая	экспериментальная		
0,20	0,35	0,38	0,022	0,055
0,25	0,42	0,49	0,027	0,071
0,30	0,48	0,53	0,038	0,104
0,35	0,56	0,64	0,411	0,102
0,40	0,62	0,71	0,440	0,144

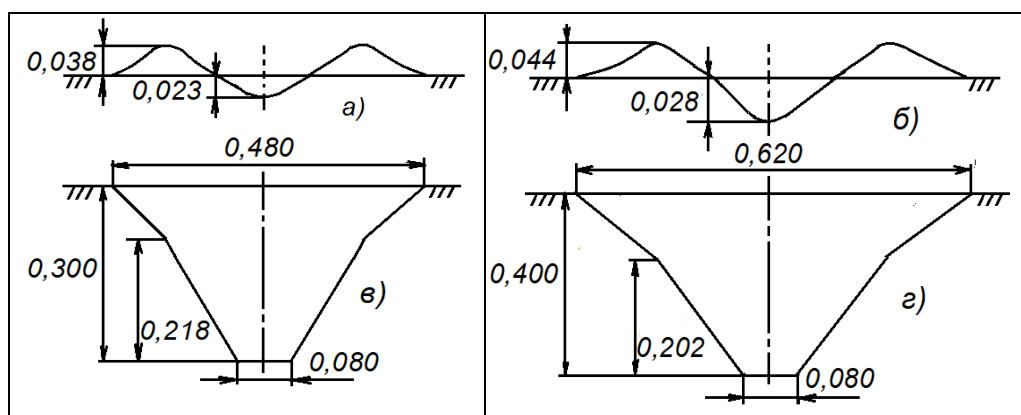
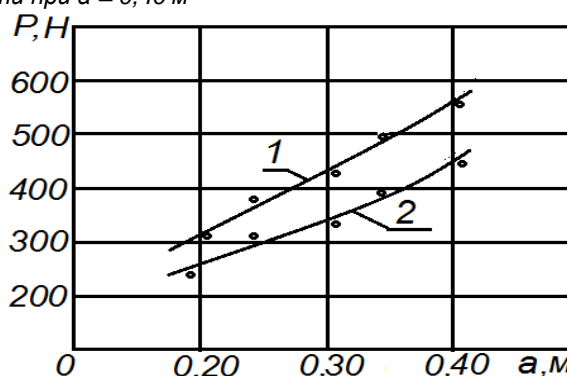


Рисунок 6. Профили рыхления почвы рыхлительным органом: а – гребнистость при $a = 0,30$ м; б – гребнистость при $a = 0,40$ м; в – зона рыхления в поперечной плоскости при $a = 0,30$ м; г – зона рыхления в поперечной плоскости при $a = 0,40$ м



а)

б)

Рисунок 7. Тензозвено (а); сопротивление почвы от глубины обработки (б); 1 – при твердости 0,93 МПа; 2 – при твердости 0,74 МПа

ление почвенного пласта на площади $S = 0,144$ м² при тяговом сопротивлении $P = 552$ Н.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Руденко, Н.Е. Сеялки для посева семян пропашных культур / Н.Е. Руденко. – Ставрополь: изд-во «Агрбус», 2005. – 84 с.
2. Ксенович, И.П. Ходовая система – почва – урожай / И.П. Ксенович. – М.: Агропромиздат, 1985. – 215 с.
3. Токушев, Ж.Е. Теория и расчет орудий для глубокого рыхления почв / Ж.Е. Токушев. – М.: ИНФА-М, 2003. – 234 с.
4. Труфанов, В.В. Глубокое чизелевание почвы / В.В. Труфанов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 140 с.
5. Бурченко, П.Н. Перспективные направления развития земледельческой механики и механизации обработки почвы / П.Н. Бурченко // Технологическое и техническое обеспечение производства продукции

растениеводства и животноводства: сборник науч. трудов ВИМа. – М.: ВИМ, 2002. – Т. 144. – С. 134-139.

6. Драч, В.М. Агротехнические аспекты развития почвозащитных технологий: монография / В.М. Драч, И.Б. Борисенко, Ю.Н. Плескачев; под ред. В.М. Кряжкова. – Волгоград: Перемена, 2004. – 143 с.

7. Токушев, Ж.Е. Рабочие органы и макетные образцы глубокорыхлителей: результаты испытаний / Ж.Е. Токушев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – № 12. – С. 25-28.

8. Плющев, Г.В. Исследование процесса глубокого рыхления почвы и выбор оптимальных параметров рабочего органа пропашного культиватора-глубокорыхлителя: автореф... дис. канд. техн. наук: 05.20.01. – М.: ВИМ, 1974. – 23 с.

9. Депрессия урожая сельскохозяйственных культур при уплотнении почвы и приемы ее снижения / А.П. Пупонин [и др.] // Сборник науч. трудов ВИМа. – М.: ВИМ. – 1988. – Т. 118. – С. 29-34.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 17.05.2023

ОСОБЕННОСТИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Н.К. Толочко,

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

К.Л. Сергеев,

ст. преподаватель каф. механики материалов и деталей машин БГАТУ

Выполнено экспериментальное моделирование фильтрования водомасляной эмульсионной смазочно-охлаждающей жидкости через ферроабразивный порошок в условиях магнитно-абразивной обработки. Определены зависимости изменения объемной концентрации масляной фазы и среднего размера масляных капель в результате фильтрования, а также длительность фильтрования от дисперсности эмульсии. Рассмотрен возможный механизм фильтрационного действия порошка.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, смазочно-охлаждающая жидкость, ферроабразивный порошок, фильтрация, дисперсность.

The experimental modeling of water-oil cutting emulsion filtration through ferro-abrasive powder in conditions of magnetic-abrasive processing has been carried out. The dependences between the change in the volume concentration of the oil phase and the average size of oil droplets as a result of filtration, as well as the filtration duration depending on the emulsion dispersion were determined. The possible mechanism of the powder filtration effect is considered.

Key words: magnetic-abrasive processing, cutting emulsion, ferro-abrasive powder, filtration, dispersion.

Введение

Магнитно-абразивная обработка (МАО) является одной из эффективных технологий финишной обработки поверхностей металлических деталей сложной формы. Ее сущность состоит в том, что ферроабразивный порошок (ФАП), уплотненный и прижатый к поверхности детали магнитным полем, оказывает абразивное воздействие на поверхность детали, которая совершает комбинированное вращательное и возвратно-поступательное осциллирующее движение относительно абразивных частиц, благодаря чему обеспечивается сьем металла и сглаживание микронеровностей на обрабатываемой поверхности. Для усиления воздействия ФАП на поверхность детали используется водомасляная эмульсионная смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ), которая подается в зону обработки через слой ФАП. К наиболее распространенным типам СОЖ, применяемым в МАО, относятся водомасляные эмульсии.

В работе [1] авторами экспериментально установлена существенная зависимость эффективности МАО от дисперсности масляной фазы водомасляной эмульсионной СОЖ. В частности, было показано, что уменьшение среднего размера масляных капель эмульсии в результате ультразвукового диспергирования в два раза (от 6 до 3 мкм) приводило к увеличению скорости удельного массового съема металла в 1,3 раза и уменьшению шероховатости поверхности в 1,6 раза. Ранее подобное влияние дисперсности СОЖ на эффективность МАО, в частности, на сьем метал-

ла, наблюдалось в работах [2, 3]. Авторы данных работ связывали это с фильтрацией СОЖ при ее прохождении через слой ФАП, полагая, что частицы вязких компонентов, т.е. масляные капли, в случае водомасляной эмульсионной СОЖ, будучи по размерам гораздо меньше пор в порошке, легко проходят сквозь поры, в то время как крупные в них задерживаются, т.е. закупоривают их. Как следствие, с уменьшением размеров частиц вязких компонентов фильтрующее действие ФАП ослабляется, что способствует улучшению функциональных свойств СОЖ.

С целью изучения закономерностей фильтрационных процессов МАО в зависимости от дисперсности водомасляной эмульсионной СОЖ было выполнено экспериментальное моделирование этих процессов, предварительные результаты которого, представленные в работе [4], позволили сделать заключение о том, что механизм фильтрования СОЖ через ФАП в процессе МАО, связанный с закупориванием пор в порошке масляными каплями, практически не оказывает влияния на конечный результат фильтрования – уменьшение объемной концентрации масляной фазы.

В данной работе представлены расширенные результаты экспериментального моделирования процесса фильтрования водомасляной эмульсионной СОЖ через ФАП в процессе МАО, в том числе зависимости изменения объемной концентрации масляной фазы и среднего размера масляных капель в результате фильтрования, а также длительности фильтрования от дисперсности эмульсии. В ходе обсуждения этих результатов предложен механизм процесса

фильтрации, согласно которому задерживание масляной фазы СОЖ порошком связано не с закупориванием пор порошка масляными каплями, как считалось ранее, а с осаждением масляных капель на частицах порошка. В рамках предложенного механизма процесса фильтрации выполнен оценочный расчет параметров этого процесса.

Основная часть

Закономерности фильтрационных процессов

Эксперименты по фильтрованию СОЖ через ФАП проводили по методике, описанной в работе [4]. Исходная СОЖ представляла собой водную эмульсию с объемной концентрацией масляной фазы $C_{V0} = 5\%$, приготовленную на основе концентрата, содержащего отходы масложирового производства. В экспериментах использовали образцы СОЖ с начальными средними размерами масляных капель $d_{k(0)}$, равными 4,9 мкм (в исходном состоянии) и 1,5 мкм (после максимального ультразвукового диспергирования), которые фильтровали через слои образцов ФАП Ж15КТ со средними размерами частиц d_q , равными 110 мкм (фракция 1), 90 мкм (фракция 2) и 55 мкм (фракция 3). ФАП засыпали на высоту $H = 30$ мм в вертикально установленную стеклянную трубку внутренним диаметром $D = 8$ мм, нижнее отверстие которой было перекрыто тканевой сеткой, удерживавшей частицы ФАП. В трубку заливали порцию СОЖ объемом $V_{ж} = 2$ мл, которая проходила через ФАП и стекала в емкость, расположенную под трубкой.

В ходе исследования выполнено две серии экспериментов. В первой серии трубка находилась в неподвижном положении, во второй – ей сообщались вибрации частотой 50 Гц и амплитудой 100 мкм с помощью электромагнитного вибратора. Эксперименты по фильтрованию СОЖ через ФАП, находящийся в подвижном состоянии благодаря действию вибраций, представляли особый интерес, поскольку именно такое состояние, называемое виброоживленным, приобретает порошок в процессе МАО в результате взаимодействия его частиц с микронеровно-

стями поверхности движущейся детали [4].

В экспериментах измеряли время t прохождения СОЖ через ФАП с помощью секундомера. После завершения фильтрации определяли в пробах отфильтрованной СОЖ объемную концентрацию масляной фазы C_V с помощью аналитических весов AR-2140 и средние размеры масляных капель d_k с помощью компьютерного микроскопа с разрешающей способностью не менее 0,5 мкм и программного комплекса обработки и анализа изображений «AutoScanStudio».

Результаты экспериментов показаны на рисунках 1-3.

Объемная концентрация масляной фазы C_V после прохождения СОЖ через слой как неподвижного, так и подвижного ФАП, уменьшается (рис. 1). Это означает, что масляная фаза частично задерживается слоем ФАП, осажаясь на частицах порошка, т.е. ФАП оказывает фильтрующее действие на эмульсию. Эффект фильтрации, т.е. отношение C_{V0}/C_V тем больше, чем меньше $d_{k(0)}$ и d_q . Для подвижного порошка это отношение меньше, чем для неподвижного.

Средний размер масляных капель d_k после прохождения СОЖ через слой как неподвижного, так и подвижного ФАП, уменьшается по сравнению с их начальным средним размером $d_{k(0)}$ (рис. 2). Степень уменьшения d_k , т.е. отношение $d_{k(0)}/d_k$ тем меньше, чем меньше $d_{k(0)}$ и больше d_q . Для подвижного порошка это отношение больше, чем для неподвижного.

Продолжительное время t прохождения СОЖ через слой как неподвижного, так и подвижного ФАП, тем больше, чем меньше $d_{k(0)}$ и d_q (рис. 3). Причем для подвижного порошка t меньше, чем для неподвижного.

Механизм фильтрационных процессов

Как отмечалось выше, в работах [2, 3] было сделано заключение о том, что механизм фильтрации СОЖ через слой ФАП, с которым связывается влияние дисперсности СОЖ на эффективность МАО, состоит исключительно в закупоривании пор порошка крупными масляными каплями эмульсии. Однако

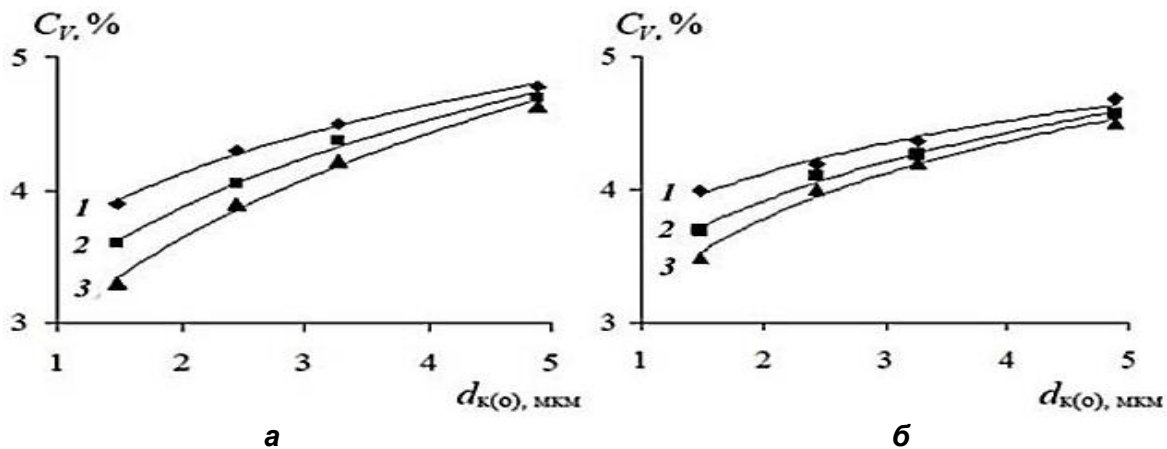


Рисунок 1. Зависимость C_V ($d_{k(0)}$) для разных фракций ФАП (1, 2 и 3)
Состояние ФАП: неподвижное (а) и подвижное (б)

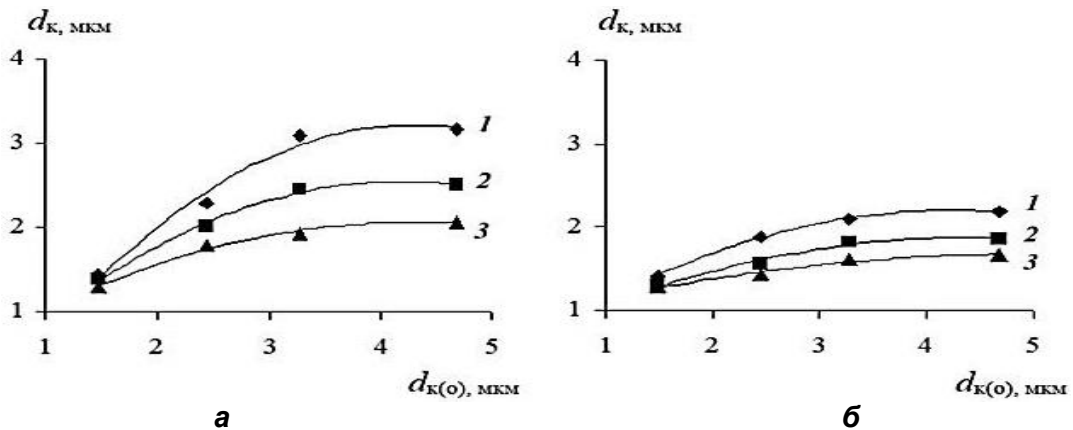


Рисунок 2. Зависимость d_k ($d_{k(o)}$) для разных фракций ФАП (1, 2 и 3)
Состояние ФАП: неподвижное (а) и подвижное (б)

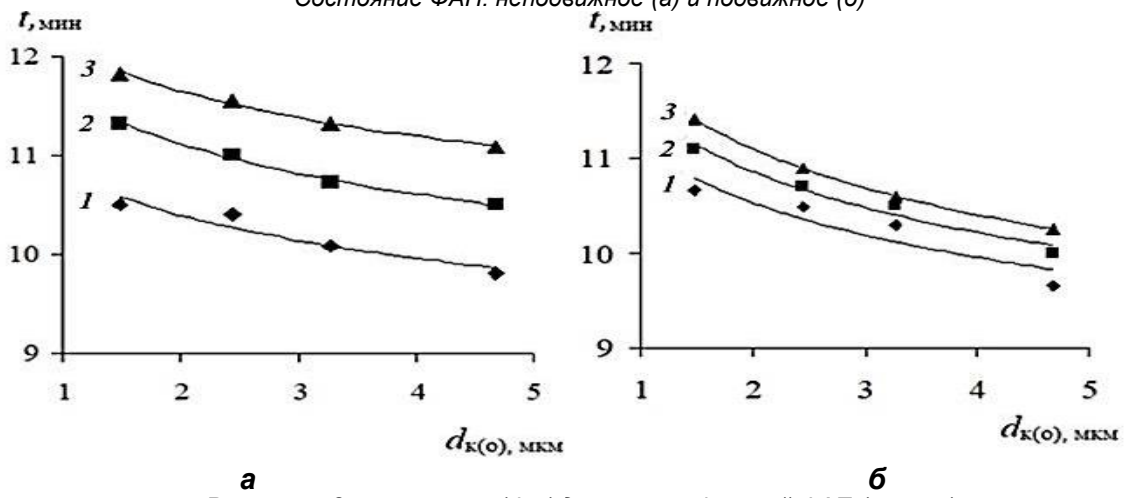


Рисунок 3. Зависимость $t(d_{k(o)})$ для разных фракций ФАП (1, 2 и 3)
Состояние ФАП: неподвижное (а) и подвижное (б)

представленные экспериментальные результаты не дают оснований считать его основным и тем более единственным механизмом фильтрования СОЖ через ФАП в процессе MAO.

Во-первых, вероятность возникновения явлений закупоривания пор каплями весьма мала, поскольку $d_{k(o)}$ гораздо меньше среднего размера межчастичных пор (диаметра поровых каналов) d_n в порошке, соизмеримого со средним размером частиц порошка: $d_{k(o)} \ll d_n$ ($d_n \approx d_{ч}$). Как следствие, капли в основном беспрепятственно проходят сквозь поры (поровые каналы).

Во-вторых, явления закупоривания пор каплями, даже если они случаются, носят кратковременный характер, поскольку порошок в процессе MAO находится в виброоживленном состоянии. При этом частицы порошка совершают непрерывное движение и, соответственно, размеры пор (диаметры поровых каналов) непрерывно изменяются, то уменьшаясь, то увеличиваясь, и если в данный момент узкий вход или перешеек какого-либо канала заблокирован каплей, то спустя некоторое время он может расширяться настолько, что блокировка прекратится. Иначе говоря, в процессе MAO явления закупоривания пор каплями непрерывно сменяются явлениями раскупоривания,

причем и те, и другие происходят хаотично, как во времени, так и по объему порошка. При этом закупоривания не вызывают прекращения движения капель через слой порошка в принципе, а лишь создают кратковременные остановки в их движении.

Таким образом, механизм фильтрования СОЖ через ФАП в процессе MAO, связанный с закупориванием пор каплями, практически не оказывает влияния на конечный результат фильтрования – уменьшение объемной концентрации масляной фазы. В связи с этим, в работе [4] было сделано предположение, что фильтрование СОЖ через ФАП обусловлено не механическим задержанием масляных капель в порах порошка, а их осаждением на частицах порошка. Фактически ФАП выступает в роли коалесцирующего фильтра с контактной зернистой загрузкой, в котором коалесценция происходит благодаря явлениям адгезии и смачивания при контакте масляной фазы с поверхностью частиц порошка. При этом капли могут захватываться частицами в общем случае в результате гравитационного осаждения, эффектов «зацепления», броуновской диффузии или гидродинамического столкновения.

В рамках предложенного механизма фильтрования рассмотрены возможные причины эксперимен-

тально установленных особенностей фильтрования СОЖ через ФАП в зависимости от $d_{к(о)}$ и $d_ч$ [4].

Повышение отношения C_{V0}/C_V с уменьшением $d_{к(о)}$ связано с ростом численной концентрации масляных капель эмульсии по мере ее диспергирования, а его повышение связано с уменьшением $d_ч$ с ростом численной концентрации частиц ФАП, поскольку и то, и другое ведет к росту числа контактов капель с частицами, с последующим осаждением их на частицах (рис. 1).

Уменьшение $d_к$ по сравнению с $d_{к(о)}$ с уменьшением $d_{к(о)}$ означает, что порошок задерживает преимущественно более крупные капли. Действительно, чем крупнее капли по сравнению с частицами, т.е. чем больше отношение $d_{к(о)}/d_к$, тем эффективней они взаимодействуют с частицами и лучше осаждаются на их поверхности. Как следствие, отношение $d_{к(о)}/d_к$ становится меньше в тех случаях, когда $d_{к(о)}$ уменьшается и $d_к$ увеличивается (рис. 2).

Увеличение значения времени t с уменьшением $d_{к(о)}$ обусловлено повышением вязкости эмульсии по мере ее диспергирования, происходящим вследствие увеличения численной концентрации масляных капель и, соответственно, уменьшения расстояния между ними, что вызывает усиление их гидродинамического взаимодействия. В свою очередь, увеличение t с уменьшением $d_к$ обусловлено возрастанием роли пристеночных течений, замедляющих общее движение эмульсии по каналам (рис. 3).

Особенности фильтрования СОЖ при различных состояниях ФАП – неподвижном и подвижном образуются следующим образом.

Меньшее отношение C_{V0}/C_V для подвижного порошка может быть обусловлено меньшим значением t , благодаря чему меньшее число капель успевает вступить в контакт с частицами порошка и осесть на них.

Большее отношение $d_{к(о)}/d_к$ для подвижного порошка может быть связано с тем, что частицы порошка, находясь в движении, чаще контактируют с мелкими каплями, задерживая их на себе.

Меньшее значение t для подвижного порошка, т.е. более быстрое прохождение эмульсии через подвижный порошок связано с тем, что в порошке в силу движения частиц практически все поровые каналы оказываются проницаемыми для эмульсии, которая протекает по ним в целом беспрепятственно, за исключением остановок, связанных с кратковременной блокировкой каналов масляными каплями. В противоположность этому, в неподвижном порошке часть каналов оказывается заблокированной на весь период фильтрования, так что общее число каналов, проницаемых для эмульсии, сокращается, что ведет к замедлению прохождения эмульсии через порошок.

Ниже приведены оценочные расчеты количества масляной фазы СОЖ, оседающей на частицах ФАП, выполненные с учетом результатов экспериментального моделирования процесса фильтрования в рамках предложенного механизма его реализации.

Основным фактором, определяющим сущность механизма фильтрования СОЖ слоем ФАП в процессе

МАО, является пребывание этого слоя в виброожуженном состоянии. Частицы виброожуженного порошка находятся в постоянном контакте с вибрирующей площадкой [5]. В случае МАО такой площадкой, вызывающей вибрации ФАП, является покрытая микронеровностями поверхность движущейся детали, к которой ФАП прижимается магнитным полем. В виброожуженном порошке силы сцепления и, следовательно, сила трения между частицами уменьшаются, частицы сближаются между собой, т.е. порошок уплотняется [6]. Если интенсивность вибраций превышает некоторое критическое значение, то порошок переходит в состояние виброкипения, при котором частицы порошка отрываются от вибрирующей площадки, а сам порошок разрыхляется. Очевидно, что в процессе МАО состояние виброкипения ФАП не допускается.

При выполнении расчетов предполагалось, что:

- 1) частицы порошка имеют сферическую форму;
- 2) частицы порошка с учетом уплотнения порошка в состоянии виброожужения, хотя и находятся в непрерывном хаотическом движении, то удаляясь друг от друга, то сближаясь друг с другом, в целом образуют в своем расположении среднюю по времени плотнейшую упаковку, для которой коэффициент упаковки $K = 0,74$;

3) масляная фаза оседает на поверхности всех частиц равномерным слоем.

Методика расчетов состояла в следующем:

1. Расчет количества частиц $N_ч$ (шт) в слое ФАП.

Объем реального слоя порошка:

$$V_{\pi} = \pi R^2 H, \quad (1)$$

где $R = \frac{D}{2}$ – внутренний радиус стеклянной

трубки.

Объем одной частицы:

$$V_ч = \left(\frac{4}{3}\right) \pi \left(\frac{d_ч}{2}\right)^3. \quad (2)$$

Объем модельного слоя порошка:

$$V_{\pi} = \frac{N_ч V_ч}{K}. \quad (3)$$

Откуда

$$N_ч = \frac{K V_{\pi}}{V_ч} = \frac{6KR^2 H}{d_ч^3}. \quad (4)$$

2. Расчет объема масляной фазы $V_{м/ч}$, отфильтрованной порошком, т.е. осевшей на всех частицах:

$$V_{м/ч} = (C_{V0} - C_V) V_{ж}. \quad (5)$$

3. Расчет толщины слоя h масляной фазы, осевшей на одной частице.

Площадь поверхности частицы:

$$S_ч = 4\pi \left(\frac{d_ч}{2}\right)^2. \quad (6)$$

Объем масляной фазы, осевшей на одной частице:

$$V_{\text{м/ч(о)}} = \frac{V_{\text{м/ч}}}{N_{\text{ч}}} \quad (7)$$

Откуда

$$h = \frac{V_{\text{м/ч(о)}}}{S_{\text{ч}}} = \frac{(C_{V0} - C_V)V_{\text{ж}}d_{\text{ч}}}{6\pi KR^2 H} \quad (8)$$

Ниже приведены аналогичные оценочные расчеты количества масляной фазы СОЖ, оседающей на частицах ФАП, для случая, когда порция подаваемой СОЖ имеет объем $V_{\text{ж}}^*$, равный объему свободного пространства между частицами в слое порошка.

Методика расчетов в этом случае состояла в следующем:

1. Расчет объема подаваемой порции СОЖ:

$$V_{\text{ж}}^* = (1 - K)V_{\text{п}} \quad (9)$$

2. Расчет объема масляной фазы $V_{\text{м/ч}}^*$, отфильтрованной порошком, т.е. осевшей на всех частицах:

$$V_{\text{м/ч}}^* = (C_{V0} - C_V)V_{\text{ж}}^* \quad (10)$$

3. Расчет толщины слоя h^* масляной фазы, осевшей на одной частице.

Объем масляной фазы, осевшей на одной частице:

$$V_{\text{м/ч(о)}}^* = \frac{V_{\text{м/ч}}^*}{N_{\text{ч}}} \quad (11)$$

Откуда

$$h^* = \frac{V_{\text{м/ч(о)}}^*}{S_{\text{ч}}} = \frac{(C_{V0} - C_V)(1 - K)V_{\text{п}}d_{\text{ч}}}{6\pi KR^2 H} \quad (12)$$

В таблице 1 представлены численные значения параметров h и h^* для разных значений $d_{\text{к(о)}}$ и $d_{\text{ч}}$, рассчитанные по описанным выше методикам.

Таблица 1. Численные значения параметров h и h^*

$d_{\text{к(о)}}, \text{МКМ}$	$d_{\text{ч}}, \text{МКМ}$	$h, \text{МКМ}$	$h^*, \text{МКМ}$
4,9	110	0,092	0,018
	90	0,081	0,016
	55	0,053	0,010
1,5	110	0,339	0,066
	90	0,336	0,066
	55	0,232	0,045

Масляные пленки толщиной порядка 0,01-0,1 мкм, сравнимой с полученной в расчетах, довольно часто образуются в различных узлах трения. Например, между скользящим стальным шариком и плоским стальным диском при достаточных величинах контактного давления и скорости скольжения [7], в коренных подшипниках двигателя при начальном разгоне автомобиля [8] и т.д.

Заключение

Установленные закономерности процесса фильтрации СОЖ через ФАП в процессе МАО и предложенный механизм этого процесса следует учитывать при рассмотрении возможных причин влияния дисперсности СОЖ на эффективность МАО. Это связано с тем, что фильтрация вызывает изменение дисперсности СОЖ, что, в свою очередь, влечет изменение величины практически всех рабочих действий СОЖ: смазывающего, охлаждающего, режущего, моющего [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Толочко, Н.К. Влияние дисперсности эмульсионной смазочно-охлаждающей жидкости на эффективность магнитно-абразивной обработки / Н.К. Толочко, К.Л. Сергеев // Технология машиностроения. – 2014. – № 10. – С. 31-35.
2. Сакулевич, Ф.Ю. Роль смазывающе-охлаждающих жидкостей при магнитно-абразивной обработке / Ф.Ю. Сакулевич, Н.Я. Скворчевский. – Минск: БелНИИНТИ, 1981. – 52 с.
3. Скворчевский, Н.Я. Научные основы повышения эффективности магнитно-абразивной обработки созданием сверхсильных магнитных полей и новых технологических сред: дис. ... докт. техн. наук: 05.02.08; 05.03.01 / Н.Я. Скворчевский. – Минск, 1994. – 422 с.
4. Толочко, Н.К. Фильтрация эмульсионной смазочно-охлаждающей жидкости через ферроабразивный порошок в процессе магнитно-абразивной обработки / Н.К. Толочко, К.Л. Сергеев // Технология машиностроения. – 2016. – № 4. – С. 16-22.
5. Хайлов, В.С. Введение в технологию основного органического синтеза / В.С. Хайлов, Б.Б. Брандт. – Л.: Химия, 1969. – 560 с.
6. Рейхсфельд, В.О. Реакционная аппаратура и машины заводов основного органического синтеза и синтетического каучука / В.О. Рейхсфельд, В.С. Шейн, В.И. Ермаков. – Л.: Химия, 1975. – 392 с.
7. Dwyer-Joyce, R.S. Ultrasonic measurement for film thickness and solid contact in elastohydrodynamic lubrication / R.S. Dwyer-Joyce, T. Reddyhoff, J. Zhu // Journal of Tribology. – 2011. – V. 133. – № 3. – P. 031501.
8. Schilowitz, A. Oil Film Thickness in a Bearing of a Fired Engine – Part IV: Measurements in a Vehicle on the Road / A. Schilowitz, J. Waters // SAE Transactions. – 1986. – V. 95. – Section 6. – P. 837-844.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 11.05.2023

УДК 631.362

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2023-157-3-31-38>

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ КАЧЕСТВА ЯБЛОК ПРИ СОРТИРОВКЕ

П.П. Казакевич,

Заместитель Председателя Президиума НАН Беларуси, докт. техн. наук, профессор, чл.-кор. НАН Беларуси

А.Н. Юрин,

зав. лабораторией РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук, доцент

В.В. Микульский,

ст. науч. сотр. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук

Г.А. Прокопович,

зав. лабораторией робототехнических систем Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси, канд. техн. наук, доцент

Л.А. Ходасевич,

программист лаборатории цифровых технологий ООО «ЛАЦИТ» (г. Витебск, Беларусь)

В статье рассмотрен процесс создания обучающей выборки для обучения искусственной нейронной сети (ИНС) системы технического зрения. Обучение ИНС проводилось на основе аннотированных изображений реальных яблок, содержащих описание различных дефектов в виде отдельных полигонов посредством программы LabelMe. На изображении плода размечалось само яблоко и его помологические особенности, такие как цветоножка, плодоножка и лист, а также 10 различных дефектов плодов, каждому из которых присваивалось соответствующее название: сетка, нажим, порез, гниль, парша, градобоина и т.д. Полученные размеченные изображения плодов с дефектами сформировали эталонную обучающую выборку для ИНС. Проверка эффективности работы ИНС осуществлялась путем оценки правильности распознавания изображений плодов при сравнении их с эталонными изображениями. Обучение ИНС каждому из дефектов яблок останавливалось при достижении 95 % вероятности правильной оценки дефекта. ИНС, обученная на созданной обучающей выборке, использована в системе технического зрения технологической линии ЛСП-4, обеспечивающей сортировку яблок на три товарных сорта по размеру и дефектам от механических повреждений, болезней и вредителей. Точность сортировки по размеру составила 75,4 %, а по наличию дефектов – 73,1 %.

Ключевые слова: классификация, искусственные нейронные сети, дефект, лист, цветоножка, чашелистик, парша, градобоина, нажим, гниль, распознавание.

The article describes the process of creating a training sample for training an artificial neural network (hereinafter referred to as ANN) of a technical vision system. ANN training was carried out on the basis of annotated images of real apples containing a description of various defects in the form of separate polygons using the LabelMe program. The apple itself and its pomological features, such as receptacle, peduncle and leaf, were placed on the image of the fruit, as well as 10 different fruit defects, each given a corresponding name: mesh, pressure, cut, rot, scab, hailstone, etc. The resulting labeled images of fruit with defects formed a reference training set for the ANN. The performance of the ANN was tested by evaluating the correctness of fruit images recognition when comparing them with reference images. The training of the ANN for each of the defects in apples was stopped when the 95% probability of the correct assessment of the defect was reached. The ANN trained on the created training sample was used in the vision system of the LSP-4 production line, which provides sorting of apples into three commercial varieties by size and defects from mechanical damage, diseases and pests. The accuracy of sorting by size was 75,4%, and by the presence of defects – 73,1%.

Key words: classification, artificial neural networks, defect, leaf, stalk, sepal, scab, hailstone, pressure, rot, recognition.

Введение

Обязательной операцией при товарной обработке плодов является сортирование, в процессе которого

продукцию разделяют на сорта по качеству. Эта операция осуществляется, как правило, вручную при визуальном осмотре плодов рабочими, что требует большого количества ручного труда [1, 2].

Использование автоматизированных сортировальных машин для идентификации и разделения плодов на сорта позволяет значительно повысить качество сортирования и производительность [3, 4].

Наиболее подходящим для автоматизации способом идентификации качества плодов является метод оптического контроля с использованием систем технического зрения, поскольку он обеспечивает высокую точность оценки качества и соответствует условиям технологии [5, 6].

В этой связи создание технического средства с системой технического зрения (СТЗ), позволяющего определить качество поверхности плода без его повреждения, по аналогии как это делает человек, является важной агроинженерной задачей.

В разное время решением данной задачи занимались ученые – Ильинский А.С., Кирина М.В., Балабанов П.В., Жиркова, А.А., Рудник Ю.А., Журавлев С.В., Хорт Д.О. и другие.

Цель настоящей работы – повышение эффективности сортировки яблок посредством внедрения в производство СТЗ с искусственной нейронной сетью для автоматизированной сортировки яблок по размеру и наличию дефектов.

Основная часть

Любое устройство для сортировки плодов выполняет процессы подачи плодов, их классификации и разделения [7] (рис. 1). В зависимости от целей сортировки, вида продукции и требований к ее выходной части, каждый из этих процессов может иметь свои особенности.

Так, подачу плодов можно разделить на подпроцессы формирования потока и транспортирование, классификацию – как обнаружение признаков, распознавание структуры и принятие решений, а процесс разделения – как подпроцессы взвода исполнительного механизма, удара и движения объекта после него (рис. 2).

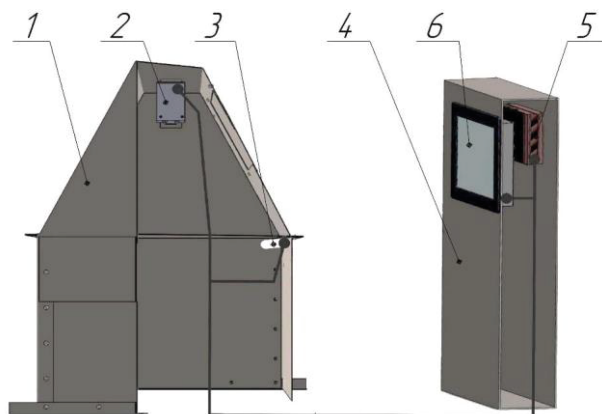


Рисунок 2. Лабораторная установка системы технического зрения

В данной схеме формирование потока и транспортирование являются подготовительными процессами, а подпроцессы механического разделения – заключительными. Разделение же плодов на сорта осуществляется в процессе их классификации.

В настоящее время актуальным является разделение плодов не только по размеру, но и по наличию дефектов, как это делает человек [8, 9]. Для этого оптическая система контроля должна осуществлять высокоскоростную съемку плодов, распознавание дефектов, а также отслеживание плодов в режиме реального времени.

При этом если диаметр яблок можно определить исходя из геометрических размеров, получаемых видеокамерой изображения, то такие параметры, как механические повреждения и повреждения плодов болезнями и вредителями можно выявить только посредством применения аппарата глубокого обучения ИНС, в функционирование которого положен принцип распознавания изображения плодов, которые система сравнивает с запрограммированными в память ИНС эталонными образцами, получившими название «обучающая выборка» [10, 11].

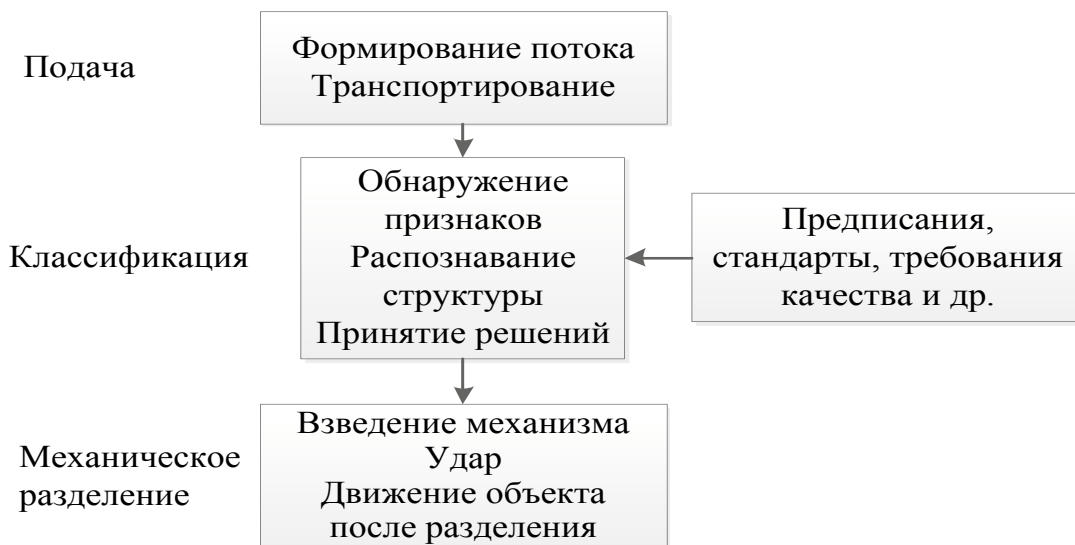


Рисунок 1. Функциональная схема системы сортировки плодов по качеству

Обоснование процесса обучения искусственной нейронной сети глубокого обучения. Способность моделей глубокого обучения автоматически выделять признаки для классификации образов приводит к тому, что для их обучения требуется большой объем обучающих данных. Для ускорения процесса формирования обучающей выборки создаются открытые базы данных цифровых изображений. Однако при решении конкретных практических задач нередки случаи, когда в базах данных отсутствуют изображения, содержащие искомые для конкретной технической задачи эталонные образы. Это требует использования других подходов к формированию обучающей выборки:

- 1) на основе реальных изображений;
- 2) на основе синтетических изображений;
- 3) из синтетических данных, сгенерированных на основе реальных изображений.

Практика показывает, что наилучшие результаты дает метод обучения на основе реальных моделей. Поэтому обучение ИНС проводили с использованием данного метода [12, 13].

Разметка изображений для создания обучающей выборки ИНС. Для создания обучающей выборки помологических особенностей и дефектов плодов использовались плоды урожая 2020-2021гг. производства ОАО «Остромечево» (сорт «Имант», «Вербное», «Глостер»), а также была создана лабораторная установка системы технического зрения.

Лабораторная установка системы технического зрения (рис. 2) включала в себя фотомодуль, состоящий из механического защищенного корпуса 1 с видеокамерой 2 и структурированной подсветкой 3, защищенного электрического шкафа 4 с вычислительным модулем 5 и сенсорной панелью управления 6.

Видеокамера использовалась VCXU-32C фирмы Baumer с оптическим сенсором Sony Pregius CMOS площадью ПЗС-матрицы в 1/1.8, оснащенная объективом AZURE-0818M3M с фокусным расстоянием $f=8$ мм и диафрагмой F1.8.

В качестве вычислительного модуля использовался промышленный компьютер фирмы CINCOSE серии DS-1200, оснащенный процессором Intel Core™ i7-8700 Hexa-Core. На компьютере установлена операционная система Ubuntu (Linux).

В качестве структурированной подсветки использовались светодиодные лампы Smd 5050 суммарной мощностью 160 Вт.

Для выделения дефектов яблок использовалась программа LabelMe, установленная на персональных компьютерах лаборатории, с операционной системой Windows 8.1 с установленными пакетами PyQt5 и lxml. [14, 15].

Обучающая выборка ИНС на основе реальных моделей формировалась поэтапно. Для обучения искусственных нейронных сетей, используемых в системе, необходимо создать обучающую выборку. Впервые, было снято реальное видео движения яблок по конвейеру. Для фотографирования яблок со всех сторон движущимся по конвейеру яблокам придавалось вращение посредством парных роликов 3 индивидуальных кареток конвейера (рис. 3), установленных на одной оси, которые при прохождении под фотомодулем набегают на приводной ремень, придающий им вращение в направлении, противоположном движению конвейера. Ролики, перемещаясь по вертикали относительно корпуса 1, поднимают яблоки с тарелок 2 и заставляют их вращаться.

Во вторых, перед обучением ИНС собранные изображения поврежденных плодов размечались вручную. Для разметки изображений использовалась программа для обработки LabelMe (рис. 4) [16, 17].

На изображении плода размечалось само яблоко (apple) и его помологические особенности, а именно: цветоложе (sepal), плодоножка (stam, funnel, leg) и лист (leaf). Данные «особенности» плода не являются дефектами и необходимы для того, чтобы ИНС в дальнейшем при работе не распознавала их как дефект и не «забраковывала» плод (табл. 1). После этого была выполнена разметка всех обнаруженных дефектов.

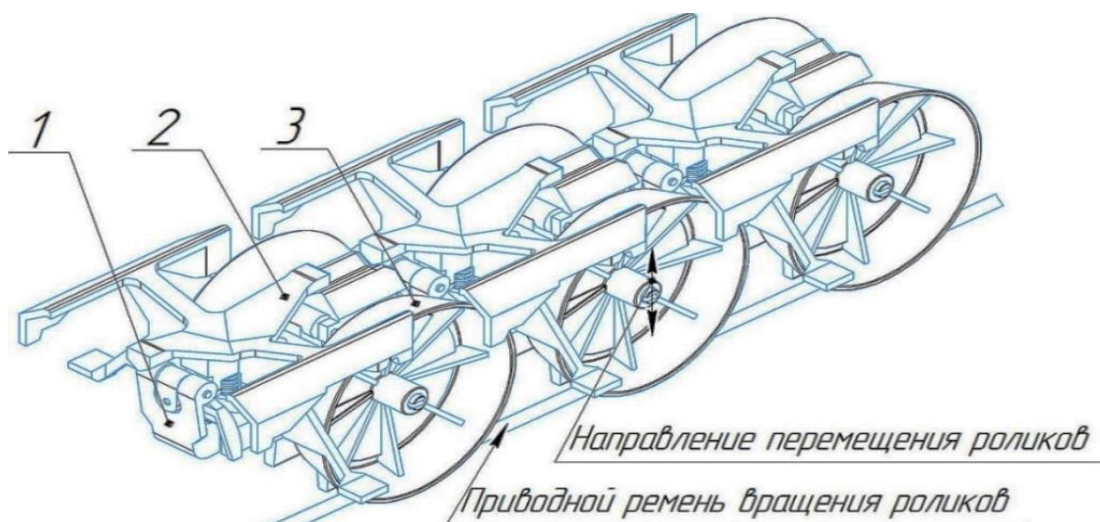


Рисунок 3. Индивидуальные каретки для яблок конвейера

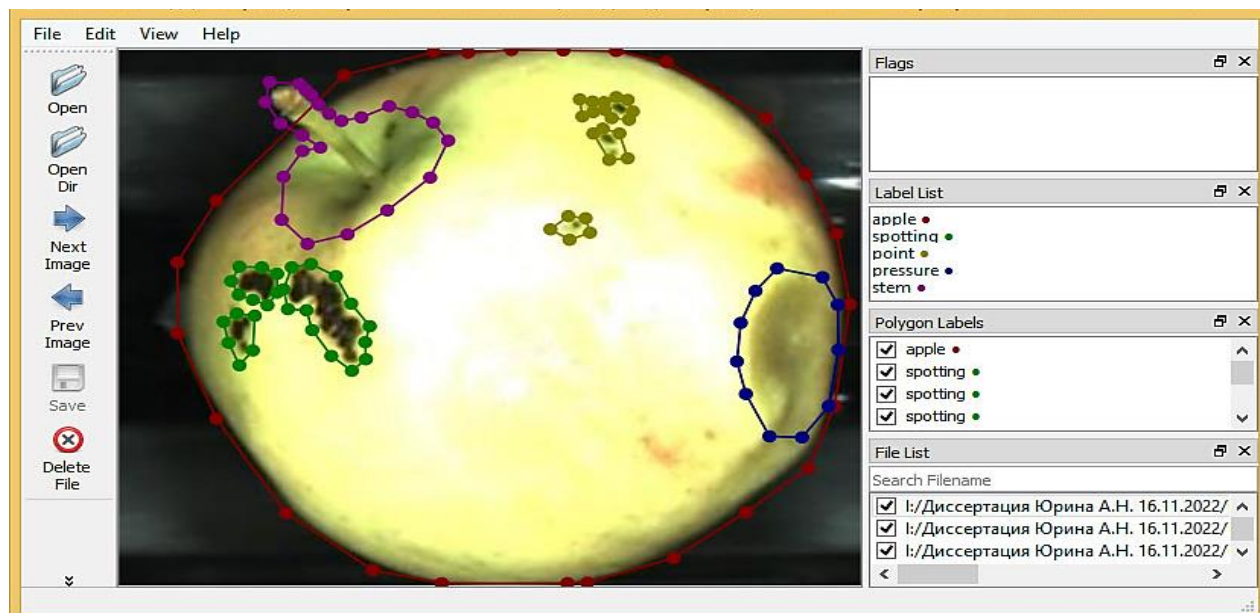


Рисунок 4. Графическое окно приложения LabelMe

Для обучения ИНС использовались 10 различных дефектов плодов, каждому из которых присваивалось соответствующее название: сетка, нажим, порез, гниль, парша, градобоина (табл. 2).

Таблица 1. Помологические особенности яблок

Условное обозначение	Наименование
apple	яблоко
sepal	цветоложе
stam	«Воронка» плодоножки с плодоножкой
funnel	«Воронка» плодоножки без плодоножки
leg	Плодоножка без «воронки» (не видна)
leaf	Лист

Таблица 2. Дефекты яблок

Условное обозначение	Наименование
net	Сетка
scratch	Порез
pressure	Нажим
hail	Градобоина
rot	Гниль
point	Парша
spotting	Парша
wart	Парша
lumps	Парша
scab	Парша

Для более эффективной классификации некоторые из дефектов для обучения ИНС были разделены на несколько подклассов. Так, заболевание паршой может проявляться как наличием мелких черных точек на поверхности плода, так и большим их скоплением, а также «бородавками» и обширной «ороговевшей поверхностью». Поэтому каждому из указан-

ных дефектов был присвоен свой подкласс с отдельной выборкой дефектов.

Особое внимание при создании обучающей выборки уделено разделению таких классов, как нажим (pressure) и гниль (rot), так как в большинстве случаев механическое повреждение плодов с образованием гематомы в последующем приводит к образованию в этом месте загнивания.

Однако если для первого и второго сорта плодов в соответствии с требованиями к их качеству по СТБ 2288-2012 [18] допускается некоторое повреждение, то даже небольшое загнивание плода приводит к его выбраковке (табл. 3). Четко разделять эти виды повреждений яблок важно для качественной сортировки плодов.

На третьем этапе, после формирования обучающей выборки осуществлено ее обучение ИНС. Необученная ИНС, пропуская через себя входное изображение, генерирует координаты ограничивающих прямоугольников и соответствующие им вероятности принадлежности объектов классам. Затем выход, полученный необученной ИНС, сравнивается с эталонным выходом, получая оценку схожести, и методом обратного распространения ошибки параметры нейронов ИНС корректируются таким образом, чтобы максимизировать оценку схожести.

Общее количество обработанных фотографий составило 3600 шт., в которых выделено дефектов и признаков: net – 393 шт., scratch – 493 шт., pressure – 2095 шт., rot – 591 шт., point – 2814 шт., spotting – 426 шт., wart – 355 шт., lumps – 423 шт., scab – 494 шт., hail – 600 шт., apple – 3600 шт., sepal – 931 шт., stam – 765 шт., funnel – 530 шт., leg – 427 шт., leaf – 331 шт.

Кроме обучающих данных, необходимо было также выбрать архитектуру ИНС, приемлемую для решения конкретной задачи.

Таблица 3. Показатели качества выполнения технологического процесса сортировки яблок

Наименование показателя	Характеристика и требования для сорта		
	высшего	первого	второго
Наибольший размер плода, мм	70–65	65–60	60–55
Механические повреждения:			
- «градобоина»	н/д*	до 2 см ²	2см ² –¼ поверхности
- «прокол», «порез», «нажим»	н/д*	до 2 см ²	2–4 см ²
Повреждения вредителями	н/д*	до 2 см ²	2–4 см ²
Повреждения болезнями:			
- «гниль»	н/д*		
- «сетка»	н/д*	до ¼ поверхности	допускается
- «парша»	н/д*	до 2 см ²	2см ² –¼ поверхности
* – не допускается			

Для задачи распознавания дефектов на изображениях яблок используются ИНС, называемые детекторами. Детекторы способны указать местоположение объекта на изображении и его класс. Анализ работы детекторов, проведенный в источнике [19], показал, что подходящей для выполняемой работы является сегментационная сеть Iraspp mobilenetV3 из пакета mmsegmentation PyTorch.

Функция потерь CrossEntropyLoss, optimizer Adam (learning rate 0.01).

Для каждого объекта в выборке возможны 4 ситуации:

- правильное предсказание положительной метки. Такие объекты относятся к группе true positive (TP);
- ошибочное предсказание положительной метки – false positive (FP);
- правильное предсказание отрицательной метки – true negative (TN);
- ошибочное предсказание отрицательной метки – false negative (FN).

Для оценки качества работы детектора использовали метрики IoU и Accuracy.

Метрика Accuracy является величиной, обозначающей долю правильных ответов алгоритма, значение которой определялось по формуле:

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN}}$$

Метрика Intersection over Union (IoU) – величина показывающая, насколько у двух объектов (эталонного и текущего) совпадает внутренняя площадь:

$$\text{IoU} = \frac{p \text{ BB}}{t \text{ BB}},$$

где pBB – площадь объекта, предсказанная детектором.

tBB – реальная площадь объекта;

Обучение нейронной сети происходило до 400 эпох. Значения метрик для различных дефектов, распознанных нейронной сетью, представлены в таблице 4.

Как видно из таблицы 4, наибольшие значения показатели метрик соответствуют дефектам «нажим», «гниль», «парша» в виде точек, а наименьшие – сетка,

градобоина. Это объясняется меньшим объемом обучающей выборки именно этих дефектов яблок.

Значения метрики Accuracy при определении сорта яблок обученной нейронной сетью приведены в таблице 5.

Таблица 4. Значение метрик IoU и Accuracy для различных дефектов яблок

Класс	IoU	Accuracy
Apple (яблоко)	0.981	0.975
Background (фон)	0.932	0.967
«Point»	0.857	0.874
«Pressure»	0.744	0.858
«Hail»	0.691	0.785
«Rot»	0.798	0.764
«Scratch»	0.774	0.741
«Scab»	0.815	0.772
«Spotting»	0.753	0.734
«Lumps»	0.716	0.758
«Net»	0.759	0.682
«Wart»	0.703	0.697
Среднее значение	0.793	0.8

Таблица 5. Значения метрики Accuracy при определении сорта яблок обученной нейронной сетью

Сорт Яблок	Accuracy
Высший	0.763
Первый	0.825
Второй	0.851
Без сорта	0.864

Результаты определения дефектов яблок представлены на рисунке 5

Реализация результатов исследований. Созданная обучающая выборка использована в системе технического зрения технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4, разработанной РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» [20]. Она состоит из двух частей: приемной (рис. 6) и сортирующей (рис. 7).

Приемная часть линии (рис. 6) состоит из транспортера приемного 1, модуля разгрузочного 2, ролинга 3, лотка 4, опоры 5, ванны 6, горки 7, сушилки 8, водовода 9, опоры 10.



Рисунок 5. Результаты определения нейронной сетью дефектов яблок

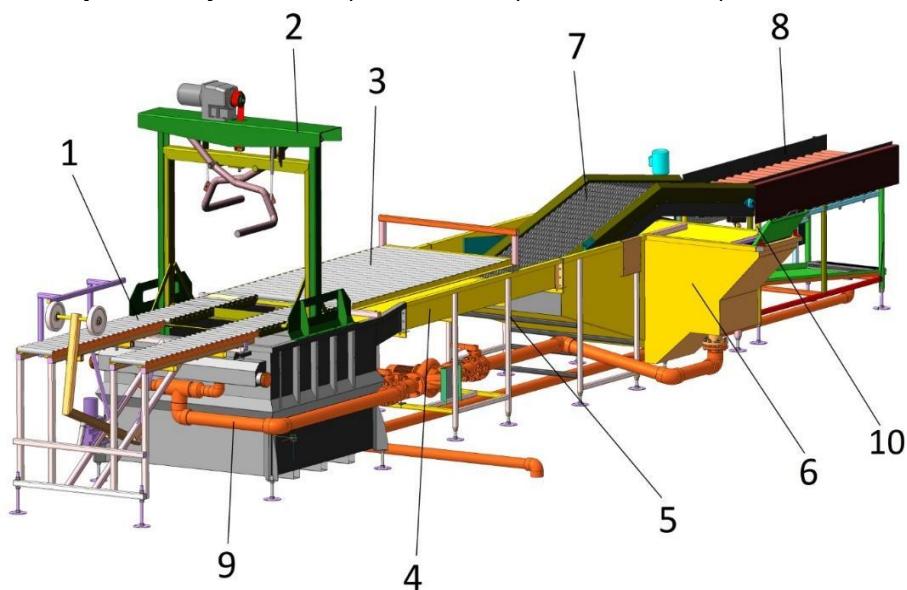


Рисунок 6. Приемная часть линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4: 1 – транспортер приемный; 2 – модуль разгрузочный; 3 – ролинг; 4 – лоток; 5 – опора; 6 – ванна; 7 – горка; 8 – сушка; 9 – водовод; 10 – опора

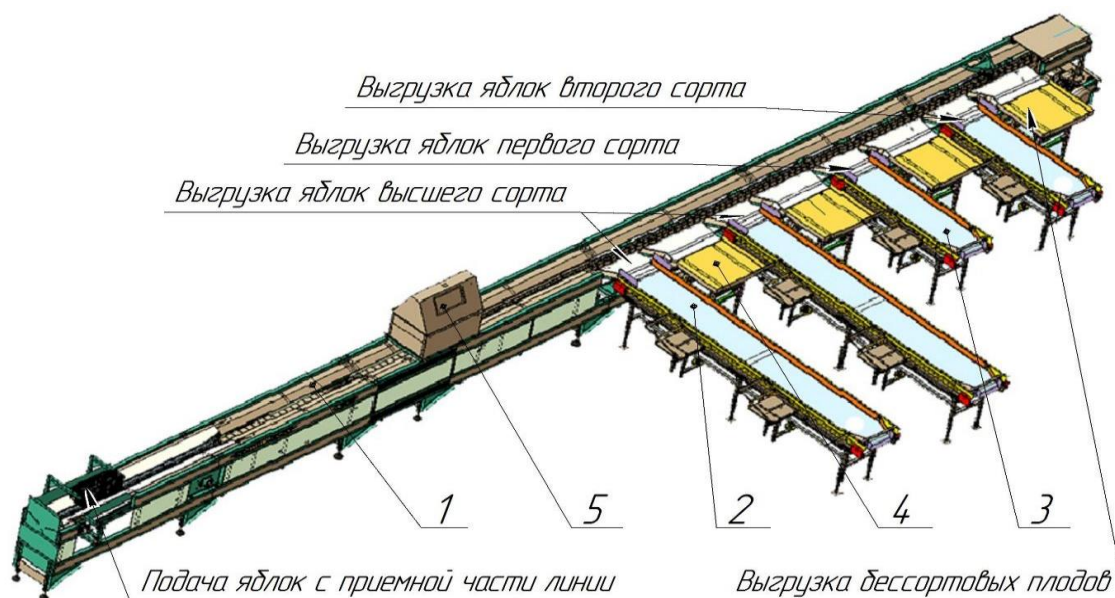


Рисунок 7. Сортирующая часть линии ЛСП-4: 1 – основной конвейер; 2 и 3 – выходной транспортер; 4 – стол; 5 – система технического зрения

Сортирующая часть линии (рис. 7) состоит из основного конвейера 1, конвейеров для выходной продукции 2 и 3, стола 4 и оптического сортировщика 5.

Рабочим органом, осуществляющим непосредственную сортировку плодов, является система технического зрения, состоящая из оптического модуля с видеокамерой и структурной подсветкой и электронного блока управления.

Линия обеспечивает сортировку яблок в зависимости от качества на три товарных сорта: высший, первый и второй в соответствии с показателями качества, указанными в таблице 3.

Техническая характеристика технологической линии ЛСП-4 приведена в таблице 6.

Технологический процесс линии осуществляется следующим образом.

СТЗ обеспечивает получение изображений движущихся яблок, распознавание и обработку полученных изображений, формирование изображений в образы с последующей классификацией яблок по сортам, выдачу управляющего сигнала исполнительному механизму сбрасывателя, осуществляющему опорожнение кареток линии напротив конвейеров соответствующих сортов.

Плоды без сорта транспортируются по основному конвейеру до конца, где сбрасываются на стол устройством, обеспечивающим наклон всех транспортирующих кареток конвейера (рис. 3).

Приемочные испытания линии ЛСП-4 проведены в ОАО «Остромечеве» Брестского района в 2020–2021 гг. [21].

Сравнение экономических показателей использования линии ЛСП-4 производились с импортным аналогом – «Rollerstar CV-C3 1-7+1» фирмы «Aweta» (Голландия) и ручным трудом.

Расчет экономических показателей выполнен по ТКП 151-2008 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей» и показал, что годовой приведенный экономический эффект от применения линии ЛСП-4 в сравнении с импортным аналогом составляет 97142,50 руб., срок окупаемости – 4,59 года, а в сравнении с ручным трудом – 64219,00 руб. и 6,2 года соответственно.

При этом производительность труда составила 1,8 т за час основного времени, или 225 кг/ч на одного человека из обслуживающего персонала линии, что соответствует производительности «Rollerstar CV-C3 1-7+1» и в 3 раза выше производительности при ручной сортировке плодов [22].

Анализ результатов испытаний показал, что технологическая линия соответствует требованиям технического задания и обеспечивает качественное выполнение технологического процесса сортировки яблок по размеру и наличию дефектов от механических повреждений, болезней и вредителей. При этом точность сортирования плодов по размеру составила 75,4 %, а точность сортирования по размеру и наличию дефектов – 73,1 %. Наибольшая точность распознавания обеспечивается при определении дефектов «pressure» и «point» (87 и 86 % соответственно), а наименьшая – для «net» и «wart» (68 и 69 % соответственно). Очевидно, что для повышения точности распознавания дефектов плодов необходимо увеличение обучающей выборки не менее чем в 2-3 раза.

Заключение

1. Создана обучающая выборка искусственной нейронной сети системы технического зрения для распознавания различных дефектов яблок сортов «Иммант», «Вербное» и «Глостер».

2. Применение системы технического зрения на основе ИНС с созданной базой данных моделей реальных дефектов плодов показало высокую эффективность сортировки яблок, обеспечив точность сортирования плодов по размеру на 75,4 %, а точность по наличию дефектов – на 73,1 %.

3. Для повышения точности сортировки яблок посредством ИНС необходимо увеличение объема обучающей выборки минимум в 2-3 раза.

4. Применение линии сортировки плодов ЛСП-4 позволило повысить производительность труда при сортировке плодов в 3 раза по сравнению с ручным трудом.

Работа выполнялась в рамках задания 5 «Разработать и освоить производство технологической линии сортировки и фасовки яблок» подпрограммы «Белсельхозмеханизация-2025» Государственной научно-технической программы «Инновационные агропромышленные и продовольственные технологии» 2021-2025 гг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Смирнов, И.Г. Интеллектуальные технологии и роботизированные машины для возделывания садовых культур / И.Г. Смирнов, Д.О. Хорт, А.И. Кутьрев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2021. – Т. 15. – № 4. – С. 35-41.

Таблица 6. Техническая характеристика линии ЛСП-4

Наименование показателя	Значение
Количество отводящих конвейеров, шт.	4
Скорость транспортирования плодов на основном конвейере, м/с	0,10–0,78
Производительность за час основного времени, т*	1,7-2,5
Параметры, по которым осуществляется сортировка	размер, механические повреждения, повреждения от вредителей
Обслуживающий персонал, чел.	8

* – зависит от физических и структурно-механических свойств подаваемых на линию плодов

2. Роботизированный комплекс для сортировки яблок / П.В. Балабанов [и др.] // Цифровизация агропромышленного комплекса: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 21–23 окт. 2020 г. / Тамбов. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2020. – Т. 1. – С. 44-47.
3. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision [Electronic resource] / C. Szegedy [et al.] // Cornell University Library. – Mode of access: <https://arxiv.org/pdf/1512.00567.pdf>. – Date of access: 15.05.2018.
4. ImageNet [Electronic resource] // Stanford Vision Lab, Stanford University, Princeton University. – Mode of access: <http://www.image-net.org>. – Date of access: 05.04.2018.
5. Yuzhen, Lu. Development of a multispectral Structured Illumination Reflectance Imaging (SIRI) system and its application to bruise detection of apples [Разработка мультиспектральной системы визуализации отраженного изображения (SIRI) и ее применение для обнаружения повреждений яблок. (США)] / Lu Yuzhen, Lu Renfu // Transactions of the ASABE / Amer. soc. of agriculture and biol. engineering. -St. Joseph (Mich.), 2017. – Vol. 60, № 4. – P. 1379-1389.
6. Казакевич, П.П. Система технического зрения распознавания дефектов яблок: обоснование, разработка, испытание / П.П. Казакевич, А.Н. Юрин, Г.А. Прокопович // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 4. – С. 488-500. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-4-488-500>.
7. Юрин, А.Н. Инновационные технологические процессы и технические комплексы для интенсивного садоводства Беларуси / А.Н. Юрин. – Минск: Беларуская навука, 2022. – 208 с. – ISBN 978-985-08-2932-0.
8. Разработка алгоритмов системы распознавания ягод земляники садовой при роботизированном сборе / Д.О. Хорт [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК / Федер. науч. агроинженер. центр ВИМ. – 2020. – № 1 (38). – С. 133-141.
9. Жиркова, А.А. Автоматизированная система гиперспектрального контроля дефектов яблок / А.А. Жиркова, П.В. Балабанов, А.Г. Дивин // Современная наука: теория, методология, практика: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 13–14 апр. 2021 г. / Тамбов. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2021. – С. 291-296.
10. Нейронная сеть для распознавания плодов и ягод садовых культур / Д.О. Хорт, А.И. Кутырев, Р.А. Филиппов, Р.В. Вершинин, И.Г. Смирнов / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2020660182; 28.08.2020. – Заявка № 2020619124 от 14.08.2020.
11. Разработка навесной системы для управления пропашным культиватором в автоматическом режиме / В.В. Азаренко, Д.И. Комлач, В.В. Голдыбан, И.А. Барановский, Г.А. Прокопович // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, №2. – С. 232–242. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-232-242>.
12. База данных спектральных изображений болезней и повреждений злаковых культур, плодов и клубней картофеля / А.С. Дорохов, А.Г. Аксенов, Д.О. Хорт, А.И. Кутырев, А.В. Тетерев, А.В. Сибирев, М.Н. Московский, Р.А. Филиппов, С.В. Семичев, М.А. Мосяков / Свидетельство о регистрации базы данных 2021620285; 16.02.2021. – Заявка № 2021620155 от 08.02.2021.
13. Training deep face recognition systems with synthetic data [Electronic resource] / A. Kortylewski [et al.] // Cornell University Library. – Mode of access: <https://arxiv.org/pdf/1802.05891.pdf>. – Date of access: 16.04.2018.
14. PyQt5 PyPI. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://pypi.org/project/PyQt5> (дата обращения: 27.03.2021).
15. lxml – Processing XML and HTML with Python. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://lxml.de> (дата обращения: 27.03.2021).
16. Tzutalin. LabelImg [Electronic resource] / Tzutalin. – Mode of access: <https://github.com/tzutalin/labelImg>. – Date of access: 18.06.2018.
17. Huang, J. Speed /accuracy trade-offs for modern convolutional object detectors [Electronic resource] / J. Huang // Cornell University Library [Электронный ресурс]. – 2016. – Mode of access: <https://arxiv.org/pdf/1611.10012.pdf>. – Date of access: 04.06.2019.
18. Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия: СТБ 2288-2012. – Введ. 08.11.12. – Минск: Госстандарт, 2012. – 11 с.
19. Ganganagowdar, N.V. An intelligent computer vision system for vegetables and fruits quality inspection using soft computing techniques [Интеллектуальная система компьютерного зрения для проверки качества и сортировки плодов и овощей на основе мягких вычислений (нейронная сеть с обратной связью и вероятностная нейронная сеть). Индия] / N.V. Ganganagowdar, A.V. Gundad // Agricultural Engineering International. – 2019. – Vol. 21, № 3. – P. 171-178.
20. Снижение затрат труда применением системы технического зрения при сортировке яблок / А.Н. Юрин [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сборник / Национальная академия наук Беларуси, РУП «НПЦ Беларуси по механизации сельского хозяйства»; редкол.: П.П. Казакевич [и др.]; рец.: В.В. Азаренко [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2022. – Вып. 55. – С.88-95.
21. Протокол приемочных испытаний линии технологической сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 от 25 февр. 2022 г. № 004-1/3-2022 / ИЦ ГУ «Белорусская МИС». – П. Привольный, 2022. – 99 с.
22. Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посевного материала: сборник отраслевых регламентов / В.Г. Гусаков [и др.]; НАН Беларуси, Ин-т. системных исследований в АПК НАН Беларуси. – Минск: Беларуская навука, 2010. – 520 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 16.06.2023

ЭВОЛЮЦИЯ НАУЧНЫХ ТЕОРИЙ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В АПК

Н.Ф. Мамонова,

соискатель ГП «Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси»

В статье изучены и обобщены научные идеи и взгляды ученых по развитию адаптивного управления. Обоснованы концептуальные основы данного механизма в АПК, базирующегося на свойствах адаптации, адаптивности, адаптированности, адаптационного процесса. Разработана теоретическая модель адаптивного управления в АПК, суть которой состоит в совершенствовании системы производственно-экономических и производственно-сбытовых отношений в условиях высокой неопределенности.

Ключевые слова: управление, адаптивное управление, механизм, модель, свойства адаптивного управления.

The article examines and summarizes the scientists' scientific ideas and views on the development of adaptive management. The conceptual foundations of this mechanism in agribusiness, based on the properties of adaptation, adaptability and the adaptation process are explained. The theoretical model of adaptive management in agribusiness has been developed, which aims to improve the system of production, economic and supply chain relations in conditions of high economic uncertainty.

Key words: management, adaptive management, mechanism, model, characteristics of adaptive management.

Введение

Повышение эффективности функционирования агропромышленного комплекса (АПК) в современных условиях должно предусматривать и вопросы совершенствования системы управления. В рамках научных школ и теорий процесс управления, как совокупность определенных действий для достижения поставленных целей и задач (стратегические, оперативные, тактические), характеризуется с двух позиций. С первой точки зрения он представляет собой совокупность управленческих воздействий организации, направленных на эффективную реализацию стратегии в зависимости от проявления факторов внешней среды, а также оценки границ риска для принятия управленческого решения или отказа от него [1-3]. Вторая позиция предусматривает развитие адаптивного подхода в управлении в результате выявления объективного фактора неустойчивости субъекта [4-7].

Понимая практическую значимость адаптивного управления для национальной экономики страны и его эффективность в условиях внешних вызовов, цель статьи состоит в систематизации и обобщении основных этапов становления и развития научных теорий адаптивного управления в АПК.

Материалы и методы

Теоретической и методической основой исследования являлись научные разработки отечественных и зарубежных ученых по вопросам развития системы управления АПК, в том числе и на основе адаптивного

подхода. Использовались различные методы – монографический, абстрактно-логический, обобщения и аналогий, экспертных оценок.

Основная часть

Выполненные автором исследования показали, что адаптивное управление в АПК появилось в 1970-е гг. XX века, как подход к управлению ресурсами, пришедший на смену традиционному природопользованию, а к началу 1990-х гг. сформировалась концепция, которая стала применяться в социальных и политических науках. основополагающие положения представлены в работе К.С. Холлинга «Адаптивное управление и оценка окружающей среды», где автором сфокусировано внимание на количественном анализе результатов экспериментов в сфере рыболовства и дикой природы [7]. В развитие этого К.Н. Ли исследовал влияние социальных и политических проблем на управление устойчивостью развития и указал на связь между возникающими в обществе противоречиями и нестабильностью развития [8].

В настоящее время адаптивное управление рассматривается как совокупность методов управления (административные, экономические, психологические), связанных с понятиями «адаптация», «адаптивность», «адаптированность», «адаптационный процесс». Так, термин «адаптация» был введен в 1865 г. в научный оборот медицины и психологии Х. Аубертом, который применялся для обозначения световой чувствительности при изменениях освещенности (световая и темновая

адаптация) [6]. В развитие этого Ж.-Б. Ламарк формирует учение об адаптации, рассматривая ее как прямое приспособление и выражение целесообразности в устройстве организмов [9].

Установлено, что в современных исследованиях понятие «адаптация» нашло свое практическое применение в различных видах экономической деятельности, в том числе и в АПК. В данном контексте автором выделен ряд научно обоснованных подходов, каждый из которых формирует свою природу, функции, критерии успешности и рассматривает данную дефиницию:

1) в отношении психологической сферы человека как процесс или состояние (психоаналитическое направление – Х. Хартманн [10], З. Фрейд [11]); необихевиоризм – Г. Айзенк [12]; адекватная продуктивная результативность (интеракционизм – Л. Филлипс [13]); соотношение изменений среды и личности (когнитивное направление – Ж. Пиаже [14]);

2) для организаций АПК как базовый принцип создания оптимальной системы управления (Е.Т. Бородин [1], А.Я. Кибанов, Е.В. Каштанова [15], Л.В. Корель [16]);

3) с точки зрения развития системы управления социальными институтами как совокупность целенаправленных и последовательных действий, обеспечивающих сохранение и достижение оптимального состояния потенциала при непредвиденных изменениях свойств внутренней и внешней среды (П. Бурдые [17], Д.О. Ямпольская, М.М. Зонис [18]);

4) для развития организаций АПК как инновационный инструмент управления изменениями бизнес-процессами, основанный на оперативном реагировании и применении трансформационных мероприятий в сфере производства, сбыта, хранения, финансов и др. (авторский подход) [19].

Исследуя категорию «адаптивность», многие ученые (И.Ф. Албегова [4, с. 22], Е.В. Еремина, В.Н. Ретинская [2], А.Я. Кибанов, Е.В. Каштанова [15], В.А. Рутцкая [20], Д.О. Ямпольская, М.М. Зонис [18]) рассматривают ее как способность человека адаптироваться к изменчивым обстоятельствам. В то же время понятие «адаптивность предприятия» утвердилось в 1970-е гг. XX века как способность компании приспосабливаться к изменениям во внешней среде для обеспечения своей деятельности в целом. Исследования организационной адаптивности, получившие развитие в 1960-е гг., опирались на теорию обстоятельств (contingency theory) и изучали отношения между предприятием и его окружающей средой.

В свою очередь понятие «адаптированность» отечественными и зарубежными учеными определяется как состояние, характеризующееся определенным уровнем равновесия между субъектом и объектом адаптации. Данный подход позволяет рассматривать адаптационный процесс как процесс изменения свойств субъекта адаптации в соответствии с требованиями внутренней и (или) внешней окружающей среды для

достижения равновесного состояния [2; 4; 15; 21; 20; 22]. Таким образом, «адаптивность», «адаптированность» и «адаптационный процесс» являются составляющими механизма адаптивного управления.

Как показывают выполненные автором исследования, в ведущих странах мира (США, Канада, Европейский союз, Япония и др.) теория адаптивного управления, в первую очередь, базируется на управлении ресурсами (ARM, Adaptive Resource Management) и ее методический инструментарий направлен на решение проблем окружающей среды, экобаланса. Параллельно с ARM, в 1960-х гг. XX в. Дж. Лорш, П. Лоуренс, Дж. Томпсон сформулировали адаптивную модель организационной динамики, согласно которой процесс изменений рассматривается как продукт сознательной адаптации структуры, направлений и способов действия единой организации и ее элементов к изменениям состояния динамической гетерогенной внутренней среды в конкретной ситуации. В качестве основного механизма адаптации была предложена пассивная рациональная адаптация подсистем организации к состоянию внешней среды [23; 24]. Расширяя научно-методические подходы исследуемой модели, А.И. Татаркин и В.И. Маевский отмечают, что преобразование управления в условиях изменений ставит задачу изучения адаптации, с одной стороны, к новым элементам окружающей среды, а с другой – к самому процессу изменения [25].

Основоположник теории хаоса Э. Лоренц доказал, что в результате глобализации и информационно-технологической революции бизнес-среда меняется очень быстро и ее неопределенность только нарастает [26]. Поэтому развитие адаптивных «экосистем» в бизнесе изменяет представление о лидерстве, в основе которого уже не обязательно должен лежать эффект опыта и эффект масштаба, представляющие собой традиционные подходы, применимые для относительно стабильной среды. В данном контексте теория современного адаптивного управления в белорусской и российской экономической науке понимается как реакция организации как на внешние, так и на внутренние «раздражители». Данную точку зрения разделяет ряд ученых, в частности А.Г. Александров [27], С.Н. Глаголев [28], С.Н. Масаев, М.Г. Доррер [29], Л.А. Растринин [30].

В ходе исследования установлено, что адаптивное управление в АПК складывается непосредственно из категорий системы управления и дополняется субъективным. Так, объектом и субъектом выступают аграрные организации и процессы управления, происходящие в них. При этом, как отмечают Р. Беллман [31], Г.В. Бушмелева [32, с. 15-16], В.В. Дудчак [5, с. 70-79], их деятельность основывается на принципах, которые автором разделены на общие и специальные. Их практическая реализация в деятельности аграрных организаций обусловлена комплексом функций и методов управления, которые классифицируются по содержанию управленческой деятельности

(прогнозирование и планирование, организация, мотивация, стимулирование, контроль, координация, регулирование, исследование), организационной роли (интеграция, дифференциация), сферам объекта управления и др.

Развивая теорию адаптивного управления в АПК, автором определены и обоснованы его отличия от других управленческих концепций (ситуационная, маркетинговая), которые актуальны в условиях неопределенности функционирования организации АПК. Так, сформулированный в 1920-е гг. XX в. закон ситуации гласит, что разные ситуации требуют определенных и конкретных мероприятий. В 1970-е гг. ситуационный подход получил более четкое оформление, базируясь на принципах теории открытых систем, и определял свойства организационной структуры спецификой ее адаптации к внешней и внутренней среде. Так, Дж. Вудворд описала влияние технологии на систему взаимоотношений «подчиненный-руководитель». Т. Берн и Дж. Сталкер выделили органический и механический тип организационной структуры, применяемый в зависимости от степени стабильности окружающей среды. В отличие от него адаптивное управление акцентирует внимание не только на организационную структуру компании, но и охватывает все элементы внутренней среды [19].

В свою очередь, маркетинговое управление предусматривает принятие управленческих решений с учетом требований аграрного рынка. По мнению Н.В. Киреенко, маркетинг в АПК представляет собой организационную функцию и совокупность процессов создания, продвижения и предоставления продукции покупателям и управления взаимоотношениями с ними с выгодой для аграрной организации [33]. В отличие от него адаптивное управление в АПК предполагает более комплексный учет всех тенденций внешней среды, а также формирование эффективных моделей взаимодействия с разными группами субъектов аграрного рынка. В целом сравнительный анализ управленческих концепций в условиях неопределенности функционирования аграрных организаций показывает высокий уровень практикоориентированности теории адаптивного управления в АПК и эффективности работы субъектов на внутреннем и внешнем рынке.

Разработанная автором теоретическая модель адаптивного управления в АПК представляет собой совокупность конкретных внутренних и внешних факторов, основных составляющих (механизм адаптивного управления и основные его категории), учитывающих специфику аграрной сферы и направленных на совершенствование системы производственно-экономических и производственно-сбытовых отношений (рисунок).

Новизна предложенной модели базируется на том, что автором предлагается рассматривать

адаптивное управление в АПК как совокупность методов теории управления, позволяющих синтезировать системы управления, которые имеют возможность изменять параметры регулятора или структуру регулятора в зависимости от изменения параметров объекта управления или внешних возмущений, действующих на объект управления (аграрную организацию). В целях обеспечения комплексности автором обоснованы требования, которым должна соответствовать адаптивная система управления организацией АПК, а именно:

1) высокая гибкость, позволяющая быстро меняться в условиях неопределенности и высокого уровня риска;

2) высокая мобильность в принятии управленческих решений и практической их реализации;

3) учет высокого уровня конкуренции на аграрном рынке;

4) учет требований к уровню профессионализма персонала организации АПК;

5) учет рисков, связанных с производственно-сбытовой и экспортной деятельностью организации.

В целом суть указанного подхода заключается в интеграции функций и инструментов адаптации, а также целенаправленного воздействия на факторы, от состояния которых зависит эффективность функционирования системы адаптивного управления АПК.

Заключение

В результате исследования основных этапов развития научных теорий адаптивного управления АПК рассмотрена категория «адаптивное управление» как целостный, системный процесс, основанный на различных теориях (управление ресурсами, организационная динамика, теория «хаоса», др.), а также обоснованы современные подходы к определению содержания предмета исследования с учетом специфики сельскохозяйственного производства.

В дополнение обоснованы концептуальные основы механизма адаптивного процесса в АПК, базирующегося на свойствах адаптации, адаптивности, адаптированности, что позволило установить существенную связь между характеристиками внешней среды и организационными структурами. В развитие разработана теоретическая модель адаптивного управления в АПК, суть которой состоит в совершенствовании системы производственно-экономических отношений в АПК, и включающая комплекс: научно обоснованных положений по уточнению понятий в сфере АПК (адаптивное, ситуационное, маркетинговое управление); концептуальных основ по совершенствованию принципов, функций, методов управления; требований, предъявляемых к адаптивной системе управления АПК. В совокупности представленные аспекты позволяют обеспечить внедрение и



Рисунок. Теоретическая модель адаптивного управления в АПК
Примечание. Выполнен автором на основании собственных исследований.

практическое применение современных и эффективных моделей управления, сохраняя оптимальный и постоянный уровень внутренних процессов в организации, а последняя приобретает устойчивость и конкурентное преимущество на рынке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бородин, Е.Т. Кризис глобализации / Е.Т. Бородин // Социально-гуманитарные знания. – 2006. – № 4. – С. 328-348.
2. Еремина, Е.В. Управление персоналом: учебн.-методич. пособие / Е. В. Еремина, В.Н. Ретинская. – Пенза: Пензенский гос. университет, 2007. – 86 с.
3. Маслов, Е.В. Управление персоналом предприятия [Текст]: учебн. пособие / Е. В. Маслов. – М.: Новосибирск, 2001. – 309 с.
4. Албегова, И.Ф. Социальная адаптация: учебн. пособие для студентов специальности Социальная работа / И.Ф. Албегова; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Ярославский гос. ун-т им. П.Г. Демидова. – Ярославль: Ярославский гос. ун-т, 2006. – 112 с.

5. Дудчак, В.В. Теоретико-методологические аспекты формирования системы адаптивного управления промышленным предприятием: дис.... докт. экон. наук: 08.00.05 / В.В. Дудчак. – Ростов-на-Дону: РИНХ, 2006. – 306 с.
6. Aubert, H. Physiologie der Netzhaut / H. Aubert. – Breslau: Verlag Von E. Morgenstern, 1865. – 395 p.
7. Holling, C.S. Adaptive Environmental Assessment and Management / C.S. Holling. – Chichester, 1978. – 377 p.
8. Lee, K.N. Compass and Gyroscope: Integrating Science and Politics for the Environment / K.N. Lee. – Washington DC, 1993. – 255 p.
9. Ламарк, Ж.-Б. Философия зоологии / Ж.-Б. Ламарк. – М.-Л.: Биомедгиз, 1935. – Т. 1. – 330 с.
10. Hartmann, H. Ego Psychology and the Problem of Adaptation / H. Hartmann. – New York: Int. Univ. Press, 1958. – 26 p.
11. Фрейд, З. Массовая психология и анализ человеческого «Я» / З. Фрейд // По ту сторону принципа удовольствия. – М.: Экономика, 1992. – С. 256-324.
12. Айзенк, Г. Природа интеллекта – битва за разум: Как формируются умственные способности = Intellegence: the battle for the mind / Г. Айзенк, Л. Кэмин. – М.: Эксмо-Пресс, 2002. – 352 с.
13. Philips, L. Human adaptation and his failures / L. Philips. – New York / London: Academic Press, 1968. – 395 p.
14. Пиаже, Ж. Избранные психологические труды / Ж. Пиаже. – М.: Международная педагогическая академия, 1994. – 680 с.
15. Кибанов, А.Я. Организация профориентации и адаптации персонала: учебн. пособие / А.Я. Кибанов, Е.В. Каштанова; под ред. А.Я. Кибанова. – М.: Проспект, 2014. – 50 с.
16. Корель, Л.В. Социология адаптации: вопросы теории, методологии и методики / Л.В. Корель. – Новосибирск: Наука, 2005. – 423 с.
17. Бурдые, П. Социология социального пространства / П. Бурдые. – М.: Институт экспериментальной социологии; СПб.: Алетейя, 2005. – 288 с.
18. Ямпольская, Д.О. Менеджмент / Д.О. Ямпольская, М.М. Зонис. – СПб.: Издательский дом «Нева»; М.: «ОЛМА-ПРЕСС», 2003. – 288 с.
19. Мамонова, Н.Ф. Адаптивное управление в системе продовольственного обеспечения: теоретические аспекты / Н.Ф. Мамонова // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сборник статей VI Междун. науч.-практ. конф., Минск 30–31 марта 2023 г. / Под общ. ред.: В.Я. Груданова. – Минск: БГАТУ, 2023. – С. 384-386.
20. Рудицкая, В.А. Процесс адаптации сотрудника / В.А. Рудицкая // Управление персоналом. – 2008. – № 17. – С. 5-9.
21. Казначеев, В.П. Современные проблемы адаптации: учебник / В. П. Казначеев. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2000. – 504 с.
22. Кривоносова, Л.Н. Управление процессом адаптации персонала в области инновационной деятельности / Л.Н. Кривоносова // Вестник науки. – 2021. – Т. 3. – № 1. – С. 80-83.
23. Lawrence, P.R. Organization and Environment. Managing Differentiation and Integration / P.R. Lawrence, J.W. Lorsch. – Boston: Harvard Business School Press, 1986. – 279 p.
24. Thompson, J.D. Organizations in Action: Social Science Bases of Administrative Theory / J.D. Thompson. – New York / London; McGraw-Hill, 1967. – 192 p.
25. Татаркин, А.И. Теория эволюции социально-экономических систем / А.И. Татаркин, В.И. Маевский. – Екатеринбург: ИЭУрО РАН, – М.: Экономика, 2008. – 692 с.
26. Хиценко, В.Е. Самоорганизация: элементы теории и социальные приложения / В.Е. Хиценко. – М.: Комкнига, 2005. – 224 с.
27. Александров, А.Г. Оптимальные и адаптивные системы / А. Г. Александров. – М.: Высшая школа, 1989. – 263 с.
28. Глаголев, С.Н. Практика формирования механизма адаптации промышленных предприятий в условиях изменяющейся рыночной среды: монография / С.Н. Глаголев. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. – 245 с.
29. Масаев, С.Н. Оценка системы управления компанией на основе метода адаптационной корреляции к внешней среде / С.Н. Масаев, М. Г. Доррер // Проблемы управления. – 2010. – № 3. – С. 45-50.
30. Растрингин, Л.А. Адаптация сложных систем / Л.А. Растрингин. – Рига: Зинатне, 1981. – 375 с.
31. Беллман, Р. Динамическое программирование / Р. Беллман. – М.: Книга по Требованию, 2014. – 400 с.
32. Бушмелева, Г.В. Адаптивное управление промышленными предприятиями в конкурентной среде: автореф. дис.... докт. экон. наук: 08.00.05 / Г.В. Бушмелева. – Ижевск: УдГУ, 2009. – 52 с.
33. Киреевко, Н.В. Система сбыта продукции АПК на основе маркетингового подхода: теория, методология, практика: в 2-х ч. / Н. В. Киреевко; под ред. В.Г. Гусакова. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2015. – Ч. 1. – 267 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 23. 05. 2023

УДК 633.63

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2023-157-3-44-48>

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Н.Н. Быков,*доцент каф. эксплуатации машинно-тракторного парка и агротехнологий БГАТУ, канд. техн. наук, доцент***В.Л. Сельманович,***заместитель директора по учебной работе ИПК и ПК АПК БГАТУ, канд. с.-х. наук, доцент***А.Э. Шибeko,***доцент каф. инновационного развития АПК ИПК и ПК АПК БГАТУ, канд. экон. наук, доцент*

В статье рассмотрены современное состояние и эффективность развития свекловодства в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь. На основании проведенного анализа предложены основные направления повышения эффективности производства сахарной свеклы.

Ключевые слова: сахарная свекла, зона свеклосеяния, урожайность, валовой сбор, срок переработки, сахаристость, цена реализации, себестоимость, рентабельность продаж.

The article analyses the current state and efficiency of beet farming at agricultural enterprises of the Republic of Belarus. The analysis suggests the main directions for increasing the efficiency of sugar beet production.

Key words: sugar beet, sugar beet planting zone, yield, gross harvest, processing period, sugar content, sales price, cost price, profitability of sales.

Введение

В решении проблемы обеспечения продовольственной безопасности страны важная роль отводится развитию свеклосахарного подкомплекса. Ежегодная потребность населения Республики Беларусь в сахаре составляет 350-380 тыс. т. В течение 2015-2020 гг. из собственного сырья вырабатывалось около 560-640 тыс. т сахара, при этом почти 50 % составлялось на экспорт [1].

Беларусь занимает лидирующие позиции по производству сахарной свеклы и сахара на душу населения среди стран ЕАЭС. В 2022 г. производство сахарной свеклы и сахара на душу населения составило: в Республике Беларусь – 458 и 57 кг; Российской Федерации – 282 и 40 кг; Кыргызстане – 55 и 10 кг; Казахстане – 17 и 12 кг; Армении – 10 и 0,2 кг. Средние показатели по странам ЕАЭС – 249 и 37 кг соответственно [2].

Цель работы – проанализировать тенденции развития свекловодства в Республике Беларусь и выявить основные пути повышения экономической эффективности производства сахарной свеклы.

Основная часть

Целесообразность выращивания сахарной свеклы определяется положительным влиянием свекловичного севооборота на возделывание многих сельскохозяйственных культур.

Размещение свекловодства формируется под воздействием комплекса взаимосвязанных факторов, главными из которых являются:

- наличие в зоне свеклосеяния мощностей по переработке сахарной свеклы;
- свеклопригодность почв;
- природно-климатические условия;
- обеспеченность трудовыми и материально-техническими ресурсами;
- загрязненность почв радионуклидами;
- эффективность возделывания сахарной свеклы по сравнению с другими культурами.

Особенность аграрной сферы Беларуси заключается в том, что она функционирует в зоне неравномерного распределения осадков, и поэтому природно-климатические условия для выращивания сахарной свеклы не всегда являются благоприятными.

Ключевая роль в развитии свекловичной отрасли принадлежит производству высококачественного сырья для переработки на сахарных комбинатах.

Для повышения конкурентоспособности свеклосахарного подкомплекса республики Государственной программой «Аграрный бизнес» на 2021-2025 годы предусмотрено [3]:

- достижение объемов производства сахарной свеклы к 2025 году в хозяйствах всех категорий на уровне не менее 5 млн т при средней урожайности 526 ц с 1 га на площади 93 тыс. га;
- обеспечение сахаристости – не менее 17 %;
- установление оптимального срока переработки сахарной свеклы – 105-110 суток с отказом от ее заготовки и переработки в ранние (до 20 сентября) и поздние (январь) сроки;

– осуществление заготовки и переработки сахарной свеклы с поддержанием 3-суточного запаса сырья в организациях сахарной отрасли на протяжении всего производственного сезона.

Свекловодство в республике в последние годы развивается на основе интенсификации производства при одновременном сокращении посевных площадей. Об этом свидетельствуют показатели, приведенные в таблице 1.

Анализ приведенных данных показывает, что за последние 5 лет доля посевных площадей сахарной свеклы в структуре пашни сократилась на 0,3 п.п. и составила 1,6 %. В то же время количество вносимых органических и минеральных удобрений на 1 га посевной площади увеличилось на 7,8 и 4,1 % (43 т и 432 кг NPK) соответственно. Материально-денежные затраты на 1 га посевов возросли в среднем за год на 4 % и в 2021 г. составили 3038 руб.

Интенсификация отрасли, оснащение свеклосеющих организаций комбинированными посевными агрегатами, современными высокопроизводительными свеклоуборочными комбайнами (Holmer, Kleine) с циф-

ровыми технологиями управления способствовали росту производительности труда. Затраты живого труда на производство 1 т сахарной свеклы за исследуемый период снизились на 14,1 % и составили 0,73 чел.-час.

В 2022 г. выращиванием сахарной свеклы на площади, составляющей 94 га, занималась 291 сельскохозяйственная организация в 55 районах Беларуси.

Динамика посевных площадей, урожайности и валового производства сахарной свеклы приведена на рисунке 1.

Анализ производства сахарной свеклы показывает, что наиболее благоприятные условия для ее выращивания сложились в 2017 и 2019 гг., когда при урожайности свыше 500 ц/га были получены максимальные валовые сборы – 4989 и 4945 тыс. т соответственно. В 2022 г. с площади 94 тыс. га было собрано 4227 тыс. т, а урожайность составила 451 ц/га. Впервые в 52 свеклосеющих организациях республики (18 % от общего количества) получена урожайность сахарной свеклы свыше 600 ц/га (табл. 2).

В Гродненской области их количество составило – 30 (36 %), Брестской – 13 (21 %) и в Минской – 9 (9 %).

Таблица 1. Динамика показателей интенсификации свекловодства в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь (2017-2021 гг.)

Показатели	Ед. изм.	Годы					2021 г. % к 2017 г.
		2017	2018	2019	2020	2021	
Удельный вес сахарной свеклы в структуре посевных площадей	%	1,9	1,9	1,7	1,5	1,6	84,2
Внесено на 1 га посевной площади удобрений:	т	39,9	42,3	42,6	44,6	43,0	107,8
	кг д.в.	415	417	430	442	432	104,1
Наличие свеклоуборочных комбайнов на 1000 га посевов сахарной свеклы	ед.	3	3	3	4	3	100,0
Приходится посевов сахарной свеклы на 1 свеклоуборочный комбайн	га	315	322	314	285	312	99,0
Затраты на 1 га посевной площади	руб.	2527	2376	2691	2676	3038	120,2
Затраты труда:							
	1 га посевной площади	чел.-час.	43,5	43,5	39,9	35,7	34,7
1 т сахарной свеклы	чел.-час.	0,85	0,90	0,76	0,74	0,73	85,9

Примечание. Составлена авторами на основании данных Национального статистического комитета Республики Беларуси и годовых отчетов свеклосеющих организаций Республики Беларусь.

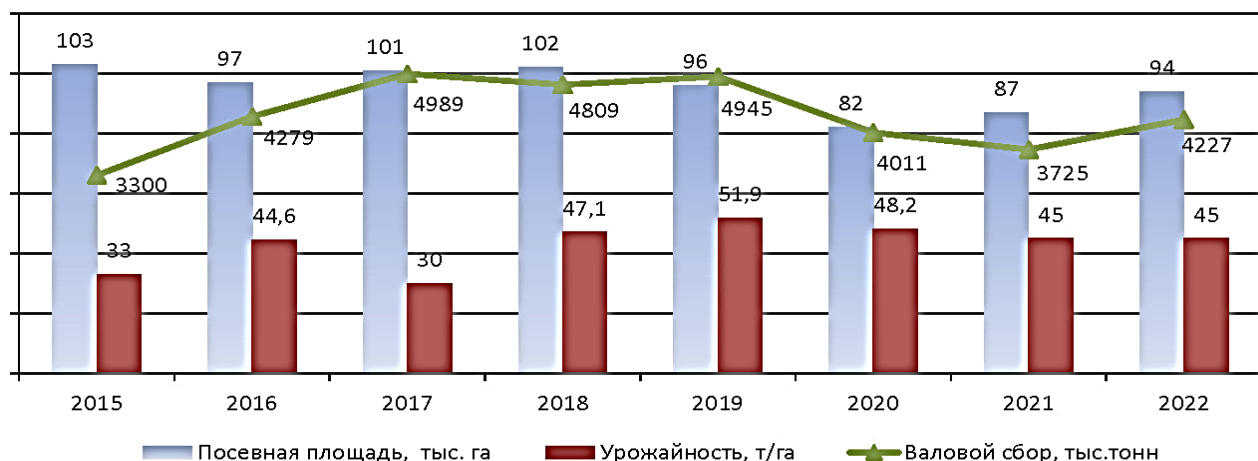


Рисунок 1. Посевные площади, урожайность и валовой сбор сахарной свеклы в свеклосеющих организациях Республики Беларусь в 2015-2022 гг.

Примечание. Выполнен авторами на основании данных источника [4].

Таблица 2. Группировка свеклосеющих организаций Республики Беларусь по урожайности сахарной свеклы в 2022 г.

Показатели	Урожайность, ц/га									
	до 200	201-250	251-300	301-350	351-400	401-450	451-500	501-550	551-600	свыше 600
Число свеклосеющих организаций	20	18	20	35	29	35	33	25	24	52
% к итогу	6,9	6,2	6,9	12,0	10,0	12,0	11,3	8,6	8,2	17,9

Примечание. Составлена авторами на основании данных годовых отчетов свеклосеющих организаций Республики Беларусь.

В таблице 3 представлены свеклосеющие организации республики, достигшие наиболее высокой урожайности (свыше 640 ц/га).

Вместе с тем следует отметить, что в 122 свеклосеющих организациях (42,3% от общего числа) урожайность составила менее 400 ц/га, что свидетельствует о значительных резервах повышения эффективности отрасли.

Сельскохозяйственными организациями республики в 2022 г. в счет государственного заказа продано сахарным комбинатам свеклосахарного сырья в зачетном весе 2996 тыс. т с сахаристостью 16,78 %, что на 0,18 % выше уровня 2021 г.

Величина выхода сахара с 1 га посева определяется урожайностью и технологическими качествами корнеплодов. Причем предпочтительнее высококачественная свекла с экономически оправданной урожайностью, чем высокоурожайная, но худшего качества, так как в первом случае требуется меньше корнеплодов для выработки 1 т сахара и его себестоимость ниже.

Урожай и качество корнеплодов сахарной свеклы, а в конечном итоге выход сахара с 1 т сырья и 1 га посева зависит от природных условий и агротехники выращивания, сорта, способов хранения и переработки. По мнению немецких ученых, средние доли зависимости действия различных факторов на урожайность сахарной свеклы составляют:

- погодные условия – 34 %;
- место выращивания – 17 %;
- сорт – 14 %;
- внесение научно обоснованных доз органических и минеральных удобрений – 35 % [5; 6].

Для получения наибольшей окупаемости удоб-

рений, вносимых под сахарную свеклу, необходимо:

- более широко применять дефекаг, что позволяет не только повысить рНКС1 до 6,5-6,8, но и обеспечить потребности растений в кальции;
- устранить дефицит фосфора, повысить содержание натрия, оптимизировать дозы внесения азотных удобрений из расчета не более 120 кг д. в. на 1 га;
- вносить микроудобрения и ростовые вещества с учетом потребности растений.

В последние годы свеклосеющие организации и сахарные комбинаты республики перешли к более ранней уборке сахарной свеклы, что позволяет обеспечивать прирост урожайности корнеплодов за месяц на уровне 6,6-8,6 %, а повышение сахаристости – на 0,7-1,4 % [6].

В этой связи при решении проблемы повышения эффективности свеклосахарной отрасли первоочередное значение будет придаваться качеству корнеплодов.

В настоящее время сахарная свекла закупается сахарными комбинатами с учетом системы стимулирующих надбавок к закупочным ценам: за ранние сроки поставки (с 1 по 10 сентября) в размере 20 %, за свеклу, реализованную с сортоиспытательных и опытных участков, за высокое качество клеточного сока. Для стимулирования сельских товаропроизводителей и работников, участвующих в выращивании свеклы, сахарные комбинаты организуют встречную продажу сахара, жома, мезги и патоки.

Показатели экономической эффективности реализации сахарной свеклы в свеклосеющих организациях республики за последние годы представлены в таблице 4.

Анализ приведенных данных свидетельствует об опережающем росте затрат на производство сахарной

Таблица 3. Рейтинг 10 лучших свеклосеющих организаций Республики Беларусь по урожайности сахарной свеклы в 2022 г.

Название организации	Район	Урожайность, ц/га	Посевная площадь, га
СПК «Гродненский»	Гродненский	1023	140
ПК им. В.И. Кремко	Гродненский	953	500
СПК «Свислочь»	Гродненский	948	180
УО СПК «Путришки»	Гродненский	929	200
СПК «Прогресс-Вертелишки»	Гродненский	917	600
ОАО «Вознесенский»	Жабинковский	842	185
ОАО «Агро-Колядичи»	Пружанский	819	305
СХВ «Клецкий»	Слуцкий	718	200
ОАО «Слуцкий сыродельный комбинат»			
ОАО «Кухчицы»	Клецкий	647	500
ОАО «Грицкевичи»	Несвижский	644	180

Примечание. Составлена авторами на основании данных годовых отчетов свеклосеющих организаций Республики Беларусь.

Таблица 4. Показатели экономической эффективности производства сахарной свеклы в свеклосеющих организациях Республики Беларусь в 2018-2022 гг.

Показатели	Год	Области						По респуб- лике
		Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская	
Себестоимость 1 т., руб.	2018	56			51	52	53	53
	2019	62			54	53	57	55
	2020	64			60	57	59	60
	2021	67		63	65	72	76	68
	2022	78	98	110	75	84	85	79
2022 г., % к 2018 г.		139,3	-	-	147,1	161,5	160,4	149,1
Цена реализации 1 т, руб.	2018	63			63	63	64	63
	2019	68			67	67	67	67
	2020	55			58	60	61	59
	2021	72		81	73	73	73	73
	2022	87	109	95	88	88	93	88
2022 г., % к 2018 г.		138,1	-	-	139,7	139,7	145,3	139,7
Рентабельность продаж, %	2018	9,8			16,6	16,2	15,5	15,1
	2019	7,8			16,7	18,7	13,4	15,6
	2020	13,9			-2,6	4,5	3,2	-1,5
	2021	6,5		20,5	10,7	1,3	-4,8	5,8
	2022	9,2	9,7		13,1	4,2	7,4	9,1
2022 г., % к 2018 г. (+/-) п.п.		-0,6	-	-	-3,5	-12,0	-8,1	-6,0

Примечание. Составлена авторами на основании данных годовых отчетов свеклосеющих организаций Республики Беларусь.

свеклы по сравнению с ценами реализации по всем областям и в целом по республике, что подтверждает прямую зависимость рентабельности от себестоимости и реализационных цен. Так, если в 2018-2019 гг. рентабельность продаж превышала 15 %, то в 2020 г. при установленной предельной максимальной цене за 1 т сахарной свеклы в размере 56 руб. она составила минус 1,5 %, а с 2021 г. было обеспечено рентабельное ведение отрасли.

Несмотря на положительную динамику развития, в свеклосахарной отрасли имеются и резервы для повышения ее экономической эффективности.

В республике завершена работа по формированию свеклосеющих зон для перерабатывающих предприятий. Средний радиус доставки свеклы составляет почти 100 км. Вместе с тем важным фактором снижения себестоимости производства сахарной свеклы является обеспечение концентрации посевов в зоне сахарных заводов с радиусом доставки не более 70 км.

Весьма актуальной проблемой для обеспечения устойчивого развития свеклосахарного подкомплекса является сбалансированность производственных мощностей сахарных комбинатов с объемами закупки сырья. Действующие производственные мощности по переработке сырья, составляющие 39,4 тыс. т в сутки, позволяют в оптимальные сроки переработать 4,3 млн т корнеплодов. Фактические же сроки переработки корнеплодов сахарной свеклы в 2022 г. составили от 87 дней в ОАО «Слущкий сахарорафинадный комбинат» до 141 дня в ОАО «Скидельский сахарный комбинат» (при оптимальных сроках – 105-110 суток). С

биологической, технологической и экономической точек зрения, чрезмерно ранняя уборка, а также хранение и переработка корнеплодов в январе нецелесообразны и неэффективны.

В соответствии с Государственной программой «Аграрный бизнес» на 2021-2025 годы планируемые объемы производства сахарной свеклы для хозяйств всех категорий на 2023-2025 гг. на уровне 5 млн т на действующих мощностях сахарных комбинатов могут быть переработаны за 127 дней (или на 17 дней позже оптимальных сроков). В этой связи для решения данной проблемы необходимо увеличивать производственные мощности сахарных комбинатов республики.

Учитывая, что в настоящее время наращивание производственных мощностей сахарных комбинатов (свыше 45 тыс. т в сутки) пока весьма проблематично, особую актуальность приобретает повышение качества корнеплодов, прежде всего сахаристость. Это позволило бы при несколько меньших объемах закупок получать такое же количество сахара, но с более высокими экономическими показателями.

Важным резервом повышенной экономической эффективности свекловичной отрасли является снижение потерь при хранении сахарной свеклы в кагатах. Для этого необходимо обеспечить:

- закладку качественных корнеплодов;
- минимализацию сроков хранения в кагатах на свеклопунктах за счет оптимально ранних сроков уборки при достижении состояния физиологической

спелости с 5-10 сентября, закладку в кагаты – с 5 по 20-22 октября;

- разработку приемов химического и биологического воздействия для снижения развития болезней с применением соответствующих препаратов при обработке кагатов длительного хранения;

- использование гибридов, пригодных для длительного хранения, с высокой лежкостью корнеплодов;

- совершенствование технологии хранения корнеплодов сахарной свеклы в полевых малых кагатах.

В целях повышения эффективности функционирования свеклосахарной отрасли Беларуси необходимо в ближайшей перспективе обеспечить:

- внедрение интенсивных технологий для обеспечения стабильности производства, повышения качества сырья и оптимизации сроков его переработки;

- уточнение оптимальных сырьевых зон перерабатывающих предприятий с радиусом доставки сахарной свеклы не более 70 км;

- планирование и использование материально-технических ресурсов осуществлять согласно действующим отраслевым нормативам.

Одним из важных направлений повышения эффективности развития свеклосахарного подкомплекса республики может стать структурное объединение сахарных комбинатов и сельскохозяйственных организаций, занимающихся выращиванием сахарной свеклы, более эффективное их взаимодействие с аграрной отраслевой наукой. Такая интеграция позволит значительно повысить роль аграрной науки, которая должна обеспечить:

- дальнейшее проведение исследований по селекции и семеноводству;

- разработку и внедрение в зонах свеклосеяния научно обоснованных систем адаптивного земледелия;

- совершенствование технологии возделывания сахарной свеклы;

- научно-производственное сопровождение развития отрасли.

Заключение

Успешное решение стратегических задач по обеспечению ежегодного стабильного производства необходимых объемов сахарной свеклы, повышению ее качества, снижению себестоимости сырья и сахара может быть реализовано при следующих основных условиях:

1. Получение урожайности сахарной свеклы в свеклосеющих организациях не менее 500 ц/га с содержанием сахара в корнеплодах не менее 17 %, альфа-аминного азота – не более 2 ммоль на 100 г в соответствии с научно обоснованной технологией ее возделывания, использованием передового отечественного и зарубежного производственного опыта.

2. Обеспечение концентрации посевов сахарной свеклы в зоне сахарных комбинатов с радиусом доставки не более 70 км.

3. Для обеспечения оптимальных сроков переработки сахарной свеклы в объеме 5 млн т за 105-110 суток с отказом от ее заготовки и переработки в ранние (до 20 сентября) и поздние (январь) сроки необходимо увеличивать производственные мощности сахарных комбинатов республики или повышать качество перерабатываемого сырья.

4. Важным направлением повышения экономической эффективности функционирования свеклосахарного подкомплекса может стать структурное объединение сахарных комбинатов со свеклосеющими организациями и более эффективное их взаимодействие с аграрной отраслевой наукой. Основным критерием эффективности их совместной деятельности должен быть выход сахара с 1 га убранный площади сахарной свеклы и 1 т переработанного сырья.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Довнар, Л.И. Развитие и эффективное функционирование рынка сахара Республики Беларусь / Л.И. Довнар; под ред. Н.В. Киреенко. – Минск.: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2021. – 221 с.

2. Климова, М.Л. Беларусь – самодостаточная в продовольственном плане республика / М.Л. Климова // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сборник статей VI Междунар. научно-практической конф., Минск, 30-31 марта 2023 г. / Белор. гос. аграрн.-техн. ун-т; под общ. ред. В.Я. Груданова. – Минск.: БГАТУ, 2023. – 468 с.

3. О государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 01 февраля 2021 г., № 59 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 10 февраля 2021 г., № 5/48758.

4. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический буклет / Национальный статистический комитет Республики Беларусь; редкол.: И.В. Медведева [и др.]. – Минск, 2022. – 35 с.

5. Вострухин, Н.П. Сахарная свекла / Н.П. Вострухин. – Минск: МФЦП. – 2011. – 384 с.

6. Привалов, Ф.И. Состояние и пути развития производства сахарной свеклы в Республике Беларусь [Текст] / Ф.И. Привалов, В.П. Гнилозуб, Ю.М. Четчин // Земледелие и защита растений. – 2019. – № 5. – С. 4-8.

7. Сафроновская, Г. Сахарная свекла. Вопросы окупаемости и имиджа / Г. Сафроновская // Наше сельское хозяйство. – 2021. – № 3. – С. 4-8.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 24.05.2023

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, использованные 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 освещать содержание исследований, проведенных авторами.

В разделе «Заключение» 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*

Учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет»
объявляет прием в аспирантуру в 2023 году
по следующим специальностям:

- 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»
- 05.20.02 «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве»
- 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве»
- 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)»
- 05.14.08 «Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии»
- 05.26.01 «Охрана труда (по отраслям)»
- 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности)»

Прием документов – с 1 августа по 30 сентября 2023 г.

Вступительные экзамены по специальной дисциплине в объеме учебной программы I ступени высшего образования – с 10 по 21 октября 2023 г.

Начало занятий в аспирантуре – с 1 ноября 2023 г.

Поступающие в аспирантуру представляют в приемную комиссию следующие документы:

1. Заявление на имя руководителя учреждения образования, организации, реализующей образовательные программы послевузовского образования, по установленной форме.
2. Личный листок по учету кадров.
3. Автобиографию.
4. Копии диплома о высшем образовании и прилагаемой к нему выписки из зачетно-экзаменационной ведомости.
5. Копии диплома магистра и прилагаемой к нему выписки из зачетно-экзаменационной ведомости (при наличии).
6. Копию удостоверения о сдаче кандидатских зачетов (дифференцированных зачетов) и кандидатских экзаменов по общеобразовательным дисциплинам (для лиц, поступающих для обучения в форме соискательства, – при наличии).
7. Копию трудовой книжки либо иные документы, подтверждающие необходимый стаж работы, или рекомендация ученого совета (совета) учреждения высшего образования или факультета этого учреждения (для поступающих в год окончания обучения в данном учреждении).
8. Заявку организации – заказчика кадров (при наличии).
9. Список и копии опубликованных научных работ, а при их отсутствии – научный реферат по профилю избранной специальности.
10. Материалы, относящиеся к объектам интеллектуальной собственности, зарегистрированные в установленном порядке, выписки из отчетов, справки об участии в выполнении научно-исследовательских и инновационных проектов, акты об использовании результатов научных разработок, копии материалов и (или) тезисов докладов на научных, научно-практических конференциях, съездах, симпозиумах и других подобных мероприятиях (при наличии).
11. Заключение научного семинара лаборатории (заседания кафедры) об актуальности темы, качестве и объеме самостоятельно выполненных данным лицом исследований по теме подготавливаемой диссертации (для поступающих в аспирантуру для обучения в форме соискательства).
12. Документы, дающие преимущественное право для зачисления в аспирантуру (при наличии).
13. Три фотографии размером 4×6 см (для поступающих в аспирантуру для обучения в форме соискательства – 2 фотографии).
14. Медицинскую справку о состоянии здоровья по форме, установленной Министерством здравоохранения.

*Документ, удостоверяющий личность, и подлинники документов
об образовании предъявляются лично*

*Подробная информация на сайте БГАТУ: <http://www.bsatu.by>
и по телефону аспирантуры (+375 17) 385 91 07*

Адрес приемной комиссии:

220023, г. Минск, пр-т Независимости, 99, к. 5-1, каб. 504

