



ISSN 2078-7138 (Print)
ISSN 2078-7146 (Online)
DOI: 10.56619/2078-7138-2023-161-1

АГРОПАНОРАМА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

№ 1
февраль
2024

В номере:

*Влияние ходовых систем тракторов
на уплотнение почвы*

*Моделирование процесса молоковыведения
в системе сосок – доильный стакан*

*Функциональные возможности электродных
электронагревателей с зонированными
электродными системами*

*Перспективы развития сельского хозяйства
Республики Беларусь в условиях применения
стимулирующих субсидий*



НАШИ ИЗДАНИЯ



Прищепов, М.А. Снижение несинусоидальности и несимметрии напряжений в сельских электрических сетях применением трехфазных трансформаторов со специальными схемами соединения обмоток: монография / М.А. Прищепов, В.М. Збродыга, А.И. Зеленкевич. – Минск: БГАТУ, 2023. – 292 с.

В монографии рассмотрено влияние несимметрии и несинусоидальности напряжений на работу элементов электрической системы, проведен анализ преимуществ и недостатков различных способов и технических средств их снижения применительно к сельским электрическим сетям. Рассмотрен процесс преобразования электрической энергии в трехфазных трансформаторах со специальными схемами соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» и «звезда-треугольник с зигзагом». Проведены теоретические и экспериментальные исследования работы трансформаторов при несимметричном и нелинейном характере нагрузки. На основании разработанных методик расчета и оптимизации конструктивных параметров и технических

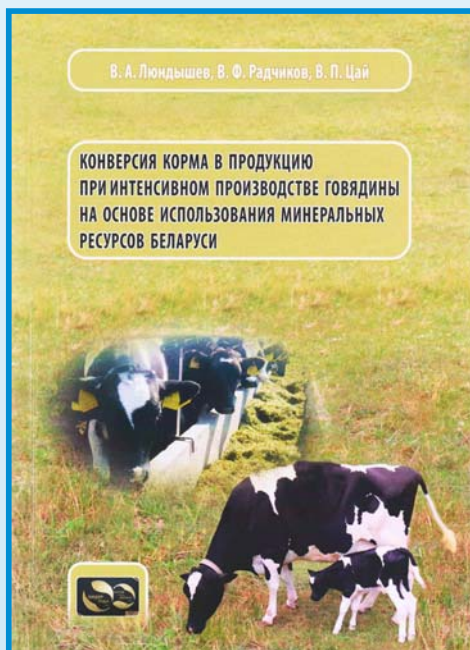
характеристик трансформаторов со специальными схемами соединения обмоток проведено исследование влияния их конструктивных параметров на технические характеристики, выполнена технико-экономическая оптимизация.

Адресуется научным и инженерно-техническим работникам, преподавателям, аспирантам, магистрантам и студентам технических специальностей учреждений высшего образования.

Шкляр, А.П. Аграрный сектор экономики в условиях климатической нестабильности: монография / А.П. Шкляр. – Минск: БГАТУ, 2023. – 216 с.

Монография содержит результаты научных исследований проблемы глобального изменения климата и последствий его влияния на аграрное производство. Приведены положительные и отрицательные тренды глобального потепления на территории Республики Беларусь и механизм адаптации отечественного растениеводства к изменившимся климатическим условиям. Раскрыты приоритеты деятельности для достижения устойчивого аграрного производства с учетом возможностей, предоставленных глобальными климатическими изменениями.

Издание предназначено для научных работников, а также работников системы образования и специалистов АПК.



Люндышев, В.А. Конверсия корма в продукцию при интенсивном производстве говядины на основе использования минеральных ресурсов Беларуси: монография / В.А. Люндышев, В.Ф. Радчиков, В.П. Цай. – Минск: БГАТУ, 2023. – 254 с.

В монографии изложена обзорная информация и приведены результаты научных исследований по повышению эффективности использования кормов, применения местных источников минерального сырья при приготовлении комплексных минеральных и витаминно-минеральных добавок.

Будет полезна руководителям и специалистам сельскохозяйственных предприятий, преподавателям и студентам учреждений высшего и среднего специального образования аграрного профиля, аспирантам, магистрантам.

АГРОПАНОРАМА 1 (161) февраль 2024

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
220012, 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, 2024.

Формат издания 60 x 84 1/8.

Подписано в печать с готового оригинала-
макета 22.02.2024 г. Зак. № 100 от 21.02.2024 г.

Дата выхода в свет 29.02.2024 г.

Печать офсетная. Тираж 50 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 1-е п/г 2024 г.:

для индивидуальных подписчиков - 42,78 руб.;

ведомственная - 44,94 руб.;

Цена журнала в киоске БГАТУ - 12,50 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,
Н.Л. Ракова, А.С. Воробей**
Влияние ходовых систем тракторов на уплотнение
почвы.....2
- Д.А. Григорьев, В.О. Китиков, И.В. Авдошка,
К.В. Король**
Моделирование процесса молоковыведения в системе сосок –
доильный стакан.....7
- М.В. Кунаш, Г.И. Белохвостов, Н.И. Зезетко**
Совершенствование глушителя шума тракторов
«БЕЛАРУС».....12
- И.С. Крук, О.В. Гордеенко, Ф.И. Назаров, А.А. Тиунчик,
А.А. Анищенко**
Обоснование выбора методики исследований
закономерностей сноса капель рабочего раствора
пестицидов ветром.....17

Энергетика. Транспорт

- М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский**
Функциональные возможности электродных электронагревателей
с зонированными электродными системами.....23
- М.А. Бойко**
Повышение степени очистки и обеззараживания стоков постов
мойки автотракторной техники электротехнологическими
методами.....29
- В.В. Русских, Г.И. Белохвостов, В.Г. Андруш,
А.И. Зеленькевич**
К вопросу распознавания воздушных линий электропередачи по
наводимому электромагнитному полю.....33

Технический сервис в АПК. Экономика

- Н.В. Киреенко**
Ключевые параметры продвижения агропродовольственных
товаров Республики Беларусь на рынок Сингапура.....39
- И.А. Войтко**
Перспективы развития сельского хозяйства Республики Беларусь в
условиях применения стимулирующих субсидий.....44

ВЛИЯНИЕ ХОДОВЫХ СИСТЕМ ТРАКТОРОВ НА УПЛОТНЕНИЕ ПОЧВЫ

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

Н.Л. Ракова,

доцент каф. механики материалов и деталей машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.С. Воробей,

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

В статье приведены данные по изменению плотности почвы при воздействии на нее ходовыми системами тракторов. Предложены пути снижения уровня уплотняющего воздействия ходовых систем на почву.

Ключевые слова: плотность, почва, напряжение, ходовая система, колесо, гусеница, деформация почвы.

The data on soil density changes under the influence of tractor undercarriage systems are given. Ways to reduce the level of compacting impact of undercarriage systems on soil are suggested.

Key words: density, soil, stress, running system, wheel, track, soil deformation.

Введение

Из-за вредного воздействия ходовых систем (двигателей) машинно-тракторных агрегатов (МТА) на почву снижается урожайность сельскохозяйственных культур. Так, урожайность зерновых в следах тракторов снижается на 10...15 %, а корнеклубнеплодов – на 20...30 %. Суммарная площадь следов двигателей МТА почти в 2 раза превышает площадь обрабатываемой поверхности.

На основании исследований Русанова В.А., Кушнарева А.С., Мацепуро В.М. установлено, что повышение плотности почвы, вызванное воздействием двигателей тракторов и сельскохозяйственных машин, приводит к увеличению твердости почвы в 2...3 раза. Удельное сопротивление при обработке пахотного слоя после прохода тракторов повышается на 15...65 %, а транспортных средств и комбайнов – на 60...90 % [1, 2].

При многократном воздействии на почву идет накопление уплотнения как в пахотном, так и в подпахотном ее горизонтах. Плохая заделка семян из-за образовавшейся колеи, высокая плотность почвы по следам ходовых систем значительно снижают биологический урожай сельскохозяйственных культур,

увеличивают расход топлива. Для устранения отрицательного воздействия движителей используют глубокое рыхление [3]. Проведенные исследования показывают, что одним из резервов повышения урожайности и снижения энергетических затрат на их производство является поддержание и регулирование свойств почвы в оптимальном состоянии [1, 2; 4-6].

Цель работы – обоснование допустимого давления движителей на почву.

Основная часть

Плотность является основной, наиболее существенной физической характеристикой почвы. От ее состояния зависят водный, воздушный, тепловой режимы, а, следовательно, и биологическая активность почвы. Поэтому плотность рассматривается как первичный элемент физики почв и жизни растений. С плотностью почвы функционально связана ее пористость P [7]:

$$P = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}, \quad (1)$$

где ρ_b – плотность сложения сухой почвы, кг/м³;
 ρ_s – плотность твердой фазы почвы, кг/м³.

Пористость песчаных почв составляет 40...50 %, а глинистых – 45...60 %. При этом пористость глинистых почв изменяется в более широких пределах [7].

В значительно большем диапазоне в зависимости от механического состава почв изменяется водопроницаемость. При уплотнении суглинистой почвы до 1400 кг/м³ водопроницаемость уменьшается практически до нуля.

Скорость фильтрации супесчаной почвы при уплотнении изменяется не так сильно и при плотности 1600 кг/м³ составляет 0,05 мм/мин. В этом случае за один час фильтруется до 3 мм воды, что соответствует осадкам средней интенсивности [8].

Величина пористости почвы и заполненность пор влагой определяют водопроницаемость почвы и оптимальную по произрастанию растений плотность почвы. Наибольшая урожайность для суглинистой почвы наблюдается при плотности 1100...1200 кг/м³. Для супесчаных почв значение оптимальной плотности возрастает до 1250...1350 кг/м³. Наблюдаются также случаи, когда максимальная урожайность некоторых культур на супесчаных почвах достигается при плотности 1450 кг/м³ [7].

Таким образом, оптимальная плотность почвы зависит от ее механического состава и выращиваемой культуры. В любом случае повышенная плотность почвы оказывает сопротивление росту корней растений. Увеличение влажности плотной почвы способствует снижению сопротивления проникновению корней. Однако в плотной почве при сильном увлажнении значительно снижается газообмен, что пагубно действует на рост растений.

Для более глубокого изучения влияния пористости и влажности на рост растений важно знать количественное распределение пор по размерам. Если почва состоит из микроагрегатов и первичных частиц, поры между ними малы и удерживают влагу, не открываясь для газообмена при увлажнении [8].

В почве, состоящей из микроагрегатов, условия для воздухообмена значительно улучшаются, так как вода в них имеется как внутри агрегатов, так и между ними. В межагрегатных порах вода, как правило, не задерживается и вероятность значительного воздухообмена в этих почвах очень высокая.

Таким образом, важно учитывать не только общую и дифференциальную пористость, но и свободную или пористость аэрации (воздухоёмкость). И.Б. Ревут указывает, что соотношение между объемами, занятыми воздухом и водой в почве, является важнейшей характеристикой почвы в каждый момент

времени. Для воздухообмена очень важна некапиллярная пористость почвы. Указывается, что нормальное развитие растений происходит в том случае, когда некапиллярная пористость не ниже 7...10 % [7].

В работах [4; 8] в качестве главного критерия при изучении агрофизических свойств дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при воздействии тракторов принято изменение урожайности сельскохозяйственных культур.

Для проведения исследований выбраны следующие варианты опытов: контроль (без уплотнения), одно-, трех- и пятикратное уплотнение делянок площадью 80 м² с четырехкратной повторностью. Изучалось сплошное и местное (в следе) уплотнение делянок, которое проводилось после основной обработки почвы. При сплошном уплотнении делянки уплотняли полностью путем последовательного наложения следов колес или гусениц тракторов с заданной кратностью, после чего создавали посевной слой применением культивации. Такой вариант уплотнения позволял изучить последствие уплотнения и механизировать уборку (при изучении влияния уплотнения на урожайность культур).

В таблице 1 приведены данные по водно-физическим свойствам исследуемой почвы.

Пахотный, особенно подпахотный слой почвы, обладают высокой плотностью. Пахотный слой имеет слабокислую реакцию почвенного раствора, высокое содержание легкоподвижных форм фосфора и калия. Имеющиеся запасы питательных веществ достаточны для развития сельскохозяйственных культур, и недобор урожая зависит только от физических свойств, ухудшающихся из-за высокого давления движителей тракторов на почву [8].

Уплотнение почвы, вспаханной осенью, проводили при влажности 26 %. Плотность почвы во время проведения опытов определяли три раза за сезон (после посева, в середине уборки и при уборке). С целью определения влияния промерзания и оттаивания почвы на изменение ее свойств, плотность почвы определяли также весной следующего сезона.

При сплошном уплотнении наименьшая существенная разность частных различий составила 40 кг/м³ (НСР₀₅ = 40 кг/м³). Из результатов опытов видно, что различия плотности почвы в следе всех тракторов значимы на 5 %-м уровне по сравнению с контролем.

Наименьшая существенная разность для фактора, учитывающего тип движителя трактора, составила 20 кг/м³, а для фактора, учитывающего кратность уплотнения, – 24 кг/м³. Значимыми на 5 %-м уровне

Таблица 1. Водно-физические свойства дерново-подзолистой почвы, подстилаемой моренным суглинком

Горизонт	Глубина, см	Плотность, г/см ³		Полевая влагоёмкость, %	Общая пористость, %	Молекулярная гигроскопичность, %	Удельная поверхность, м ² /г
		твёрдой фазы	почвы				
A _п	0-20	2,60	1,39	25,3	42,2	2,64	36,14
A ₁ A ₂	20-31	2,63	1,63	20,5	38,0	2,47	32,34
A ₂ B ₁	31-53	2,67	1,73	16,8	35,2	1,57	16,80
B ₂	53-85	2,69	1,87	15,5	30,5	2,79	29,81
C	85	2,73	1,96	11,9	28,2	3,22	32,14

являются различия плотности почвы при трех- и пятикратном уплотнении между тракторами [8].

Однократные проходы тракторов увеличили плотность почвы на 110...120 кг/м³ при сплошном уплотнении (табл. 2) и на 90...100 кг/м³ – при местном уплотнении (табл. 3). При увеличении кратности проходов уплотнение возрастало. Плотность почвы после пяти проходов трактора возрастала до 1430...1500 кг/м³ в зависимости от типа движителя трактора.

Таблица 2. Изменение плотности почвы (слой 0-10 см) в течение сезона роста овса и после перезимовки (кг/м³) (сплошное уплотнение)

Трактор	Кратность уплотнения	Сроки определения			
		май	июль	август	май
Без уплотнения		1260	1290	1330	1280
Колесный трактор класса 30 кН	1	1440	1470	1550	1390
	3	1490	1540	1550	1530
	5	1510	1550	1540	1450
Колесный трактор класса 50 кН	1	1420	1460	1470	1380
	3	1460	1460	1480	1470
	5	1490	1470	1530	1500
Гусеничный трактор класса 30 кН	1	1440	1380	1380	-
	3	1440	1410	1460	-
	5	1470	1470	1500	-

Таблица 3. Изменение плотности почвы (слой 0-10 см) в течение сезона роста овса (кг/м³) (местное уплотнение)

Трактор	Кратность уплотнения	Сроки определения		
		май	июль	август
Без уплотнения		1260	1290	1330
Колесный трактор класса 30 кН	1	1400	1360	1420
	3	1420	1400	1460
	5	1470	1420	1510
Колесный трактор класса 50 кН	1	1410	1350	1400
	3	1480	1470	1460
	5	1490	1490	1500
Гусеничный трактор класса 30 кН	1	1440	1350	1440
	3	1430	1430	1470
	5	1450	-	10

На изменение свойств почвы под воздействием природных факторов большое влияние оказывают – влажность почвы во время закладки опытов, количество и характер распределения осадков во время сезона роста растений. Влажность почвы на опытных делянках с овсом в течение сезона колебалась между полевой влагоемкостью (ПВ) и влажностью разрыва капилляров (ВРК).

Из таблицы 3 видно, что существенного снижения плотности почвы к концу вегетации не произошло. Лишь после перезимовки под воздействием промерзания и оттаивания плотность почвы уплотненных делянок несколько уменьшилась, однако она все же была выше, чем на контроле.

Для обоснования путей снижения уплотняющего воздействия ходовых систем на почву необходимо применить теоретические зависимости, адекватно описывающие экспериментальные данные, которые

получены для почвы, подготовленной под посев. Такие почвы относятся к упрочняющимся при повторных воздействиях колес.

Особенностью упрочняющихся почв является то, что деформация их при каждом последующем нагружении сопровождается повышением напряжения в зоне контакта по сравнению с предыдущим. Это объясняется увеличением интенсивности нагружения при повторных деформациях, в частности из-за уменьшения площади контакта колес с почвой при повторных проходах по следу [9].

На рисунке 1 приведен график зависимости напряжения от деформации при повторных нагружениях связных упрочняющихся почв (рыхлых почв с плотным подстилаемым основанием).

Для таких почв зависимость между напряжением σ и деформацией h определяется по формуле [4]:

$$\sigma = \frac{a}{b} \cdot \operatorname{tg}(a \cdot b \cdot h), \quad (2)$$

$$\text{где } a = \sqrt{k_0};$$

$$b = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{h_{\text{упл}} \sqrt{k_0}};$$

$$h_{\text{упл}} = H \cdot (\varepsilon_0 - \varepsilon_{\text{min}}) \times$$

$$\times \left((1 + \varepsilon_0) \left[1 - 2 \cdot \nu (1 + \varepsilon_{\text{min}}) \right] \right)^{-1},$$

где H – высота пахотного слоя, м;

k_0 – коэффициент объемного смятия почвы в начале деформации, Па/м;

$h_{\text{упл}}$ – предельная величина деформации, м;

ε_0 – коэффициент пористости почвы до нагружения;

ε_{min} – минимально возможный коэффициент пористости почвы;

ν – коэффициент бокового расширения почвы для случая деформирования с

ограниченной возможностью расширения.

На основании теоретических исследований [10-17] получена зависимость накопления повторных осадков упрочняющихся почв с плотным под-

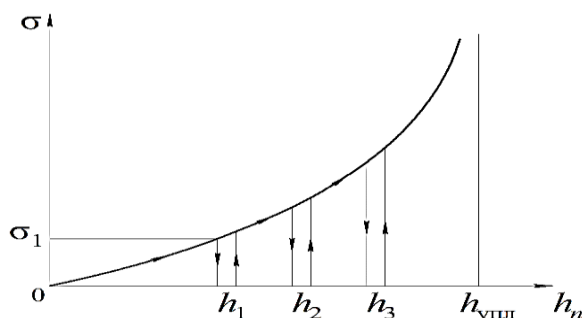


Рисунок 1. Закономерности накопления повторных осадков для упрочняющихся почв

стилаемым основанием:

$$h_n = \frac{1}{a \cdot b} \text{Arc cos} \left(\frac{n^{-B_1}}{\sqrt{1 + (b^2 / a^2) \cdot \sigma^2}} \right), \quad (3)$$

где n – число осей ходовой системы, шт.;
 B_1 – коэффициент накопления повторных осадок.

Рассмотрим процесс уплотнения почвы, подстилаемой плотным основанием (рис. 2).

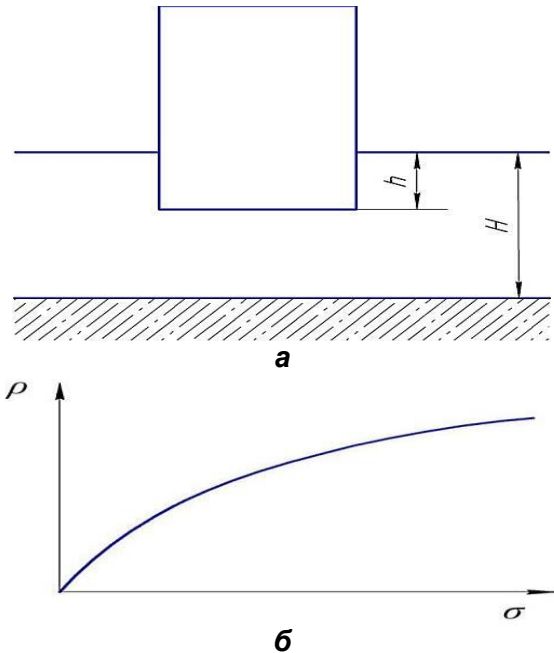


Рисунок 2. Влияние плотного подстилающего слоя на уплотнение почвы: а – схема нагружения; б – зависимость между напряжением и плотностью

При выводе зависимости между контактным напряжением и плотностью почвы будем допускать, что уплотняется только пахотный слой высотой H . Это допущение основано на том, что рыхлая почва характеризуется повышенной способностью поглощения энергии. Масса слоя почвы, подвергающегося уплотнению штампом с площадью основания F , равна

$$M_n = F \cdot (H - 2 \cdot v \cdot h) \cdot \rho_n, \quad (4)$$

где M_n – масса слоя почвы, подвергшегося уплотнению, кг;

ρ_n – плотность почвы, кг/м³.

После уплотнения эффективный слой почвы имеет высоту $(H - h)$.

На основании исследований [10] получена зависимость плотности верхнего слоя почвы после уплотнения:

$$\rho_0 = \rho_n \frac{H - 2 \cdot v \cdot h}{H - h} + \frac{k_1 \cdot \sigma_0}{H - h} \times \left[(H - h) + \frac{1}{\beta} (e^{-\beta(H-h)} - 1) \right], \quad (5)$$

где k_1 – коэффициент уплотнения почвы, кг/Н·м.

При расчетах уплотнения почвы параметры взаимодействия колеса с почвой принимались на основе исследований [4-6].

Максимальное давление колеса на почву определялось по формуле:

$$q_{\max} = \zeta \frac{G}{v_{\text{ш}} \cdot B_{\text{ш}} \cdot L_x}, \quad (6)$$

где ζ – коэффициент неравномерности распределения давления;

G – нагрузка колеса на почву, Н;

$v_{\text{ш}}$ – коэффициент поперечного расширения шины;

$B_{\text{ш}}$ – ширина шины, м.

L_x – проекция на горизонтальную плоскость длины площади контакта колеса с почвой, м.

Для определения плотности почвы в следе надо знать величину напряжения в контакте колеса с почвой σ . Оно зависит не только от величины давления, но и от скорости движения и определяется по следующей формуле [4]:

$$\sigma = \frac{q_{\max}}{1 + \frac{B_v \cdot V}{L_x}}, \quad (7)$$

где B_v – коэффициент, зависящий от свойств почвы;

V – скорость движения трактора, м/с.

С учетом зависимости (6), зависимость (7) примет вид:

$$\sigma = \frac{3}{2} \cdot \frac{G}{v_{\text{ш}} \cdot B_{\text{ш}} \cdot (L_x + B_v \cdot V)}. \quad (8)$$

Проекция на горизонтальную плоскость длины площади контакта колеса с почвой находилась на основе исследований [4].

На рисунке 3 показаны экспериментальные и теоретические зависимости уплотнения почвы в верхнем слое и распределения плотности почвы по глубине при воздействии на нее тракторами различных классов. Нанесенные на графики доверительные интервалы были рассчитаны по методике [18].

Доверительный интервал для среднего значения $\Delta \rho$

$$\Delta \rho = \bar{\rho} \pm t_{05} \cdot S_{\Pi}, \quad (9)$$

где $\bar{\rho}$ – среднее значение плотности почвы, кг/м³;

t_{05} – значение критерия Стьюдента на 5 %-м уровне значимости;

S_{Π} – ошибка среднего значения плотности, кг/м³.

$$S_{\Pi} = \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (10)$$

где S – стандартное отклонение;

n – число повторностей.

Уплотняющее воздействие тракторов сказалось и на величине наименьшей влагоемкости (НВ). Наименьшая влагоемкость уменьшилась от однократного воздействия колесными тракторами на 2,2 %, трехкратное

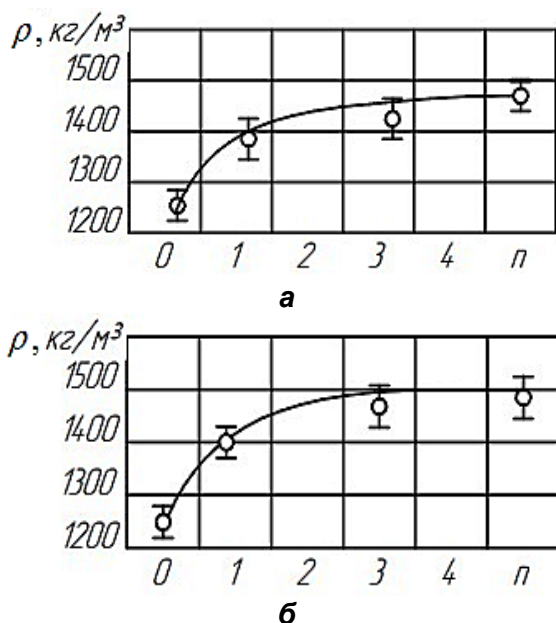


Рисунок 3. Опытные и расчетные данные уплотнения почвы:
а – колесный трактор класса 30 кН;
б – колесный трактор класса 50 кН

уплотнение этими тракторами и гусеничным трактором уменьшило НВ на 3...4 %. Только однократное уплотнение гусеничным трактором класса 30 кН не привело к изменению влагоемкости [8].

Из этого следует, что запасы влаги в уплотненной тракторами почве значительно меньше, чем на неуплотненных делянках. Поэтому в следах колес тракторов застаивается вода, неспособная проникать в уплотненную почву из-за снижения ее водопроницаемости. В силу холмистого рельефа Республики Беларусь почва из следов вымывается, т.е. интенсивно развивается водная эрозия.

На уплотненных тракторами делянках произошло снижение урожайности сельскохозяйственных культур. Достоверное снижение урожайности овса получили при трех- и пятикратном уплотнении колесными тракторами и при пятикратном уплотнении гусеничным трактором.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено:

1. Однократные проходы тракторов увеличили плотность почвы на 110...120 kg/m^3 при сплошном уплотнении (табл. 2) и на 90...100 kg/m^3 при местном уплотнении (табл. 3).
2. При увеличении кратности проходов уплотнение возрастало. Плотность почвы после пяти проходов трактора возросла до 1430...1500 kg/m^3 в зависимости от типа двигателя трактора.
3. Обеспечить допустимую величину плотности почвы (1200...1350 kg/m^3) можно при давлении колес на почву 70...110 кПа. Предпочтительным средством

снижения воздействия на почву является увеличение числа осей ходовой системы при сохранении общей массы, так как происходящее при этом уменьшение размеров колес способствует снижению глубины распространения уплотнения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Русанов, В.А. Проблема переуплотнения почв двигателями и эффективные пути ее решения / В.А. Русанов. – М.: ВИМ, 1998. – 368 с.
2. Кушнарев, А.С. Уменьшение вредного воздействия на почву рабочих органов и ходовых систем машинных агрегатов при внедрении индустриальных технологий возделывания сельскохозяйственных культур / А.С. Кушнарев, В.М. Мацепуро. – М.: Всесоюз. ордена «Знак Почета» сельхоз. институт заочного образования, 1986. – 56 с.
3. Шило, И.Н. Механический предохранитель рабочего органа машины для обработки почвы / И.Н. Шило, Н.Н. Романюк, В.А. Агейчик // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2014. – № 1. – С. 30-33.
4. Орда, А.Н. Эколого-энергетические основы формирования машинно-тракторных агрегатов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03 / А.Н. Орда. – Минск: БГАТУ, 1997. – 269 л.
5. Романюк, Н.Н. Снижение уплотняющего воздействия на почву вертикальными вибродинамическими нагрузками пневмоколесных движителей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03; 05.20.01 / Н.Н. Романюк. – Минск: БГАТУ, 2008. – 206 л.
6. Романюк, Н.Н. Снижение уплотняющего воздействия на почву мобильных энергосредств: монография / Н.Н. Романюк. – Минск: БГАТУ, 2020. – 200 с.
7. Ревут, И.Б. Физика почв / И.Б. Ревут. – Л.: Колос, 1972. – 387 с.
8. Афанасьев, Н.И. Влияние уплотнения машинно-тракторными агрегатами на свойства, режимы почвы и урожай сельскохозяйственных культур: Дерново-подзолистые почвы Белоруссии / Н.И. Афанасьев, И.И. Подобедов, А.Н. Орда // Переуплотнение пахотных почв: Причины, следствия, пути уменьшения. – М.: Наука, 1987. – С. 46-59.
9. Кацыгин, В.В. Основы теории выбора оптимальных параметров мобильных сельскохозяйственных машин и орудий / В.В. Кацыгин // Вопросы сельскохозяйственной механики. – Минск: Ураджай, 1964. – Т. 13. – С. 5-147.
10. Закономерности уплотнения почвы под воздействием колес сельскохозяйственных машин / И.Н. Шило [и др.] // Агропанорама. – 2016. – № 2. – С. 2-8.
11. Влияние количества осей ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники на глубину следа / И.Н. Шило [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 4. – С. 37-42.
12. Влияние многоосной ходовой системы машинно-тракторных агрегатов на плотность почвы /

И.Н. Шило [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – № 1. – С. 31-36.

13. Закономерности накопления повторных осадков почвы при воздействии ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники / И.Н. Шило [и др.] // Агропанорама. – 2014. – № 6. – С. 2-7.

14. Обоснование закономерностей деформирования почв различных агрофонов под воздействием колес / И.Н. Шило [и др.] // Агропанорама. – 2018. – № 2. – С. 2-6.

15. Влияние почвенных условий эксплуатации на проходимость колесных машин / И.Н. Шило [и др.] // Агропанорама. – 2020. – № 1. – С. 2-5.

16. Влияние типа опорной поверхности на сопротивление качению колесных транспортно-тяговых средств / Н.Н. Романюк [и др.] // Агропанорама. – 2022. – № 6. – С. 2-7.

17. Моделирование взаимодействия с почвой ходовых систем колесных транспортно-тяговых машин / Н.Н. Романюк [и др.] // Агропанорама. – 2023. – № 3. – С. 2-8.

18. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 08.02.2024

УДК 637.115:637.116.2

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2024-161-1-7-11>

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МОЛОКОВЫВЕДЕНИЯ В СИСТЕМЕ СОСОК – ДОИЛЬНЫЙ СТАКАН

Д.А. Григорьев,

зав. каф. технологий и механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.О. Китиков,

директор ГНУ «Институт жилищно-коммунального хозяйства» НАН Беларуси, докт. техн. наук, профессор

И.В. Авдошка,

доцент каф. информационных технологий БГУ, канд. физ.-мат. наук, доцент

К.В. Король,

соискатель каф. математики и технических дисциплин ГГАУ

В статье теоретически обоснованы и представлены в графическом виде расчетные значения решения аппроксимирующих уравнений, описывающих процесс выхода молока из сфинктера соска под действием вакуумметрического и внутривыменного давления в процессе доения. Полученные результаты соответствуют современным тенденциям, направленным на обеспечение щадящего физиологически обусловленного доения, путем изменения длительности такта сосания.

Ключевые слова: доильное оборудование, физиология доения коров, фазы пульсации, аппроксимирующие уравнения молокоотдачи, гидравлика истечения жидкостей, доильный стакан, сосковый сфинктер, вакуумметрическое давление.

The article provides a theoretical foundation and presents graphically calculated values from approximating equations describing the process of milk output from the teat sphincter under the action of vacuum-metric and intra-oval pressure in the process of milking. The obtained results are in line with the current trends to ensure gentle physiological milking by changing the duration of the suckling tact.

Key words: milking equipment, physiology of milking cows, pulsation phases, approximating milk flow equations, fluid flow hydraulics, teat cup, teat sphincter, vacuum pressure.

Введение

Республика Беларусь входит в число 20 стран, производящих 80 % мирового объема молока, и является лидером в СНГ по производству продовольствия на душу населения, которое в два раза превышает норму рационального потребления. В 2019 году уровень самообеспечения республики по молоку и молокопродуктам составил 241 %. Нарращивание валового производства молока осуществлялось за счет реализации потенциала

продуктивности коров молочного стада при сохранении их численности на уровне 1,4 млн голов [1]. Обзор мирового молочного рынка, сделанный продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО), показал, что Беларусь входит в число лидеров по производству молока в Европе. В 2022 году из 232 млн т молочной продукции Беларусь произвела 7,860 млн т, при этом 4,113 млн т были экспортированы [2].

Модернизация и техническое переоснащение молочного скотоводства республики рассматриваются как основной фактор развития, важнейшим звеном которого является строительство новых и реконструкция существующих ферм и комплексов. Современный этап развития доильного оборудования связан с информационными технологиями, использование которых обеспечивает инновационный синергетический эффект за счет максимальной адаптивности процессов к физиологии животных и условиям реализации технологии на каждой конкретной ферме [3].

В Республике Беларусь данное научное направление разрабатывалось в рамках государственных программ и исследовалось научными коллективами под руководством ведущих ученых в области физиологии и техники доения – М.В. Барановского, В.И. Передни и других.

Создание и системное применение нового оборудования опирается на теоретическое моделирование и экспериментальное обоснование физиологических режимов и адаптивных алгоритмов функционирования сложной детерминированной системы – человек – машина – животное, которое рассматривается в рамках конкретных технологических процессов и реализуется на основе удобных для практического применения математических моделей.

Целью работы является обоснование теоретических зависимостей и определение количественных параметров процесса выхода молока из сфинктера соска, обеспечивающих возможность дальнейшего развития общей теории молокоотдачи в процессе доения.

Основная часть

Существует несколько концепций моделирования процесса извлечения (выхода) молока из сфинктера. Интерес представляют как закономерности, полученные в результате практических исследований, так и попытки представить этот процесс в виде теоретических зависимостей [4]. Чаще всего такие зависимости представляют в виде аппроксимации экспериментальных данных полиномами различной степени. Действительно, такой подход позволяет достаточно точно описать искомую функцию и получить эмпирические уравнения с высокой достоверностью. В то же время такие уравнения зачастую получаются громоздкими и неудобными для использования. Наилучшими для практического применения являются уравнения, полученные с использованием стандартных и легко преобразуемых математических функций. Очевидно, что такой способ является самым удобным, но в то же время и самым ответственным, поскольку требует подтверждения соответствия полученных моделей показателям реальных производственных процессов.

Расчет искомых величин может быть проведен на основе знания скорости молокоотдачи коровы, которая является наиболее часто измеряемым параметром, используемым для оценки как генетического потенциала, так и факторов технологии производства

молока, включая физиологичность машинного доения. Скорость молокоотдачи может быть рассчитана исходя из разового удоя коровы и измеренного времени доения. Известно, что большинство производителей доильного оборудования считают данный показатель ключевым, поэтому стремятся измерять его техническими средствами (счетчиками и датчиками расхода потока) различной конструкции практически на каждой современной молочно-товарной ферме.

Получить в программе управления стадом данные о скорости молокоотдачи для каждой коровы и для стада в целом представляется доступной задачей. При этом скорость молокоотдачи является основным входным параметром, используемым для управления процессом доения.

Теоретическое обоснование динамического доения опирается на зависимость потока молока через сфинктер в такте сосания. Для определения параметров потока необходимо вычислить средний расход молока $Q_{\text{сфср}}$ ($\text{м}^3/\text{с}$) через сфинктер в такте сосания. Если предположить, что расход линейно связан со средней скоростью молокоотдачи, получим:

$$Q_{\text{сфср}} = \frac{M_{\text{ср}}}{60n\rho\sigma_c}, \quad (1)$$

где $M_{\text{ср}}$ – средняя скорость молокоотдачи, кг/мин;

n – количество доящихся долей вымени, шт.;

ρ – плотность молока, кг/м³;

σ_c – относительная длительность такта сосания, которая показывает, какую долю он занимает в общем времени цикла.

Расчет проведем на основании ранее полученных уравнений, моделирующих процесс молокоотдачи [5]. Запишем уравнение для определения расхода потока жидкости через отверстие сфинктера:

$$Q_{\text{сф}} = \mu_c S_c v_c = \mu_c S_c \sqrt{2g \left(H + \frac{P_a - P_c}{\rho g} \right)}, \quad (2)$$

где μ_c – коэффициент расхода для отверстия сфинктера;

S_c – площадь сфинктера, м²;

v_c – скорость истечения струи молока из сфинктера соска, м/с;

H – высота соска, м;

P_a – давление, действующее в сечении венного кольца, Па;

P_c – давление, действующее в сечении сфинктера, Па;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Коэффициент расхода μ_c [6] зависит от числа Рейнольдса. На его величину влияют также числа Фруда и Вебера, определяющие отношения сил инерции к силам тяжести и поверхностного натяжения. По данным А.Д. Альтшуля [7], влияние оказывает в основном число Рейнольдса в диапазоне: $Fr \geq 10$ и $We \geq 2500$. От числа Рейнольдса также зависит коэффициент сжа-

тия, поскольку им определяются условия течения при подходе к отверстию.

Анализ графиков и цифровых данных, полученных учеными Висконсинского университета [8], а также циклический характер процесса доения, позволили предположить, что кривая, ранее описанная в источнике [5], ограничивающая зону изменяющегося потока от максимального значения расхода Q_{\max} до минимального его значения Q_{\min} , может быть аппроксимирована тригонометрической функцией $y = \cos x$ в интервале от 0 до π (рис. 1). Тогда мгновенное значение расхода потока через сфинктер составит:

$$Q_{\text{сф}B}(t_c) = Q_{\text{ампл}} \left(\cos \left(\frac{\pi}{\tau_B} (t_c - \tau_A) \right) + 1 \right) + Q_{\min}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{сф}B}$ – расход потока молока через сфинктер в фазе B , $\text{м}^3/\text{с}$;

t_c – момент времени такта сосания, с;

$Q_{\text{ампл}}$ – амплитудное значение расхода потока, $\text{м}^3/\text{с}$;

Q_{\min} – минимальное значение расхода потока, $\text{м}^3/\text{с}$;

τ_B – длительность фазы B такта сосания, с;

τ_A – длительность фазы A такта сосания, с.

Анализ графиков и цифрового материала также показывает, что значения $Q_{\text{ампл}}$, Q_{\min} , Q_{\max} связаны между собой определенным соотношением при различных значениях скорости молокоотдачи. Полученные результаты [8] позволяют предположить, что данная зависимость соответствует золотому сечению, поэтому можем записать:

$$Q_{\max} = 1,618 Q_{\min}, \quad (4)$$

где 1,618 – золотое число, равное пределу отношения последовательных чисел Фибоначчи.

Учитывая, что

$$Q_{\max} = 2Q_{\text{ампл}} + Q_{\min}, \quad (5)$$

выразим Q_{\min} через $Q_{\text{ампл}}$ и получим:

$$Q_{\min} = 3,236 Q_{\text{ампл}}. \quad (6)$$

Тогда уравнение (3) можем переписать в следующем виде:

$$Q_{\text{сф}B}(t_c) = Q_{\text{ампл}} \left(\cos \left(\frac{\pi}{\tau_B} (t_c - \tau_A) \right) + 1 \right) + 3,236 Q_{\text{ампл}}. \quad (7)$$

Изучением влияния вакуумметрического давления на соски занимались ряд исследователей [8, 9]. Опыт показывает, что раскрытие сфинктера происходит очень быстро, поэтому длительность раскрытия можно приравнять к интервалу времени, равному длительности переходной фазы A . В государственных стандартах [10] и стандартах ISO длительность пере-

ходной фазы A не регламентируется. Значение фазы всасывания B должно составлять не менее 30 % от всего цикла пульсации. В соответствии с рекомендациями производителей оборудования фазы могут изменяться в пределах: $A=110\dots160$ мс и $B = 425\dots525$ мс. Тогда, рассчитав значения молокоотдачи в начале такта сосания и приняв условие, что к моменту начала фазы B сфинктер полностью раскрыт и молокоотдача имеет максимальное значение, запишем уравнение восходящей части графика расхода потока:

$$Q_{\text{сф}A}(t_c) = \frac{Q_{\max}}{2} \left(1 - \cos \left(\frac{t_c \pi}{\tau_A} \right) \right), \quad (8)$$

где $Q_{\text{сф}A}$ – расход потока молока через сфинктер в фазе A , $\text{м}^3/\text{с}$.

Обозначим расход, соответствующий среднему значению тригонометрической функции на участке от Q_{\max} до Q_{\min} , как смещенный средний, тогда

$$Q_{\text{смер}} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{2} + Q_{\min} = 4,236 Q_{\text{ампл}}, \quad (9)$$

где $Q_{\text{смер}}$ – смещенный средний расход потока через сфинктер, $\text{м}^3/\text{с}$.

Если для простоты вычисления принять условие, что $Q_{\text{смер}} = Q_{\text{сф}B}$, рассчитанное по формуле (1), то можем определить значения расхода молока из сфинктера для аргумента функции в пределах заданной длительности такта сосания. Подставив значения времени, соответствующие длительности переходной фазы $A=140$ мс и длительности фазы всасывания $B=480$ мс в полученные уравнения, построим группу графиков, описывающих теоретическую зависимость потока молока из сфинктера от времени такта сосания при различных скоростях молокоотдачи (рис. 1).

Из графиков видно, что длительность фазы A можно считать величиной условно постоянной, поскольку она зависит, в основном, от скорости раскрытия соскового чулка, которая в свою очередь определяется параметрами вакуумметрического давления в камерах доильного стакана и упругими свойствами материала, из которого чулок изготовлен, а также его натяжением и толщиной. Скорость молокоотдачи положительно коррелирует с внутривыменным давлением, которое также может повлиять на длительность фазы A . И хотя это влияние незначительно, но его необходимо учитывать при проведении точных гидравлических расчетов.

Аналогичные зависимости могут быть построены для любой длительности такта сосания в пределах от 0 до 1200 мс. Графики зависимости для такта сосания длительностью от 520 до 820 мс приведены на рис. 2.

Как видно из графиков, при уменьшении длительности фазы B такта сосания теоретическое значение расхода потока молока растет, что на первый взгляд выглядит вполне логично, поскольку за меньший промежуток времени необходимо извлечь большее количество молока. Однако на практике данные графики могут выглядеть несколько

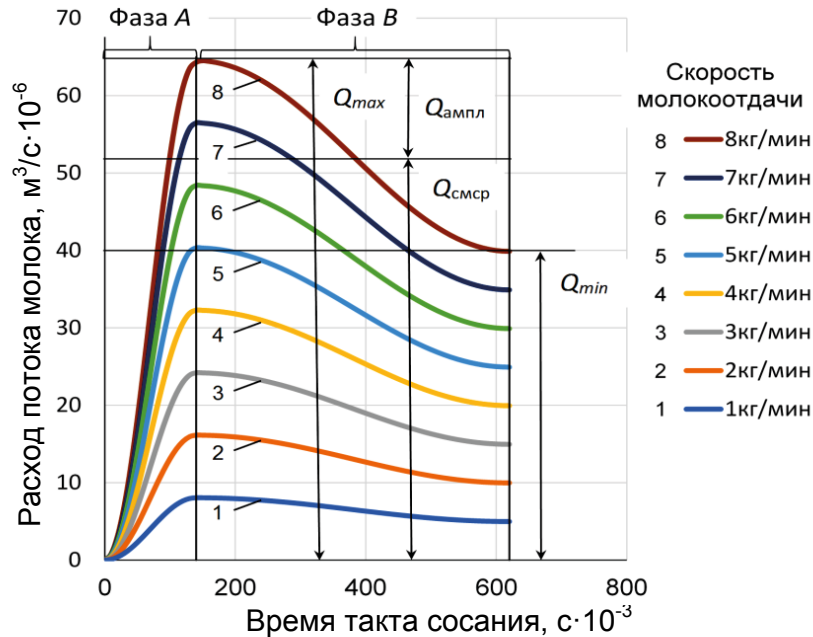


Рисунок 1. Расчетные графики расхода потока молока из сфинктера при различных скоростях молокоотдачи коровы: значения Q_{max} , Q_{min} , $Q_{смер}$ указаны на графике, построенном для скорости молокоотдачи – 8 кг/мин.

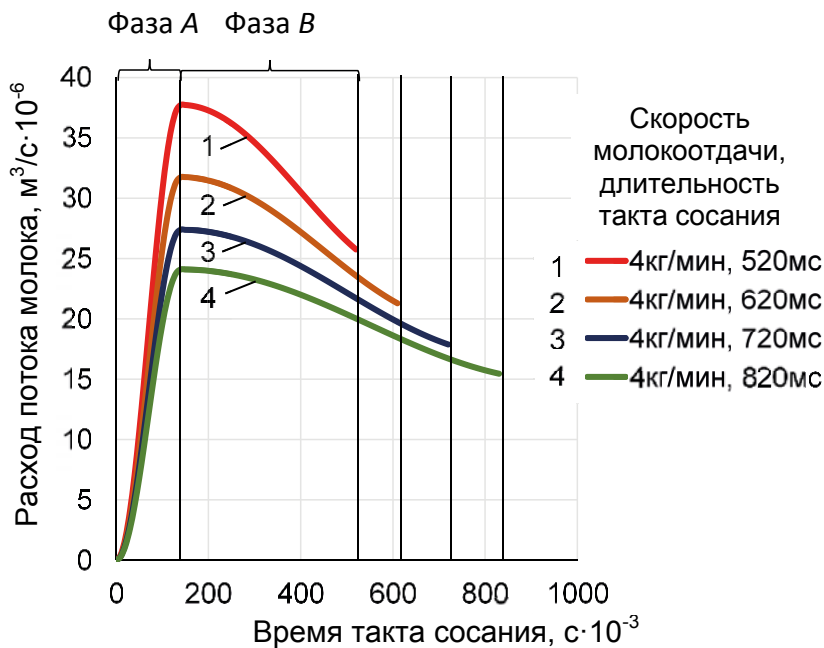


Рисунок 2. Расчетные графики расхода потока молока из сфинктера при различной длительности такта сосания для скорости молокоотдачи – 4 кг/мин.

иначе вследствие того, что для реализации более высокой молокоотдачи потребуются более высокий уровень вакуумметрического давления и пропускная способность линии транспортировки молока от аппарата до молокопровода. На самом же деле увеличение потока приведет к пропорциональному падению вакуумметрического

давления и снижению пропускной способности молочной линии, что не позволит получить искомую скорость. Несмотря на это, полученные кривые позволяют количественно оценить параметры процесса выхода молока из соска. При этом очевидно, что длительность такта сосания может быть как недостаточной, так и избыточной, при данном конкретном расходе потока.

Как показывает опыт ведущих компаний – производителей доильного оборудования, изменение характера пульсации доильного чулка, когда система подстраивается под поток молока, увеличивая или уменьшая длительность, то есть, изменяя соотношение и частоту тактов в зависимости от измеренной скорости молокоотдачи, является наиболее эффективным приемом обеспечения адаптивности машинного доения [11].

Полученные результаты теоретического исследования позволяют определить параметры механики жидкости доильного стакана и могут быть использованы для гидравлического расчета системы «доильный аппарат – вымя».

Заключение

1. Моделирование сложно детерминированных технологических процессов взаимодействия человека, машины и животного, таких как выход молока из сфинктера соска, направлено на создание удобных для практического применения алгоритмов управления оборудованием.

2. В уравнениях расхода потока молока используются стандартные математические функции для описания циклического процесса пульсации доильного стакана. В качестве входного параметра для расчета используется общая скорость молокоотдачи, которая является наиболее часто контролируемым и важным технологическим показателем организации технологии доения.

3. Графики зависимости расхода потока молока позволяют говорить о существенной значимости длительности такта сосания, которая является фактором, обеспечивающим не только интенсификацию процесса молоковыведения, но и теоретически

позволяет снизить нагрузку на сфинктер соска, что приведет к сохранению здоровья животных и продлению срока их хозяйственного использования. Данное утверждение подтверждается опытом ведущих производителей оборудования для доения, которые используют динамическую пульсацию, управляемую по скорости молокоотдачи коровы.

4. Представленная модель молоковыведения не учитывает падение вакуумметрического давления в линии транспортирования молока от доильного стакана до молокопровода, поэтому значения расхода потока необходимо скорректировать, поскольку при увеличении скорости растут и потери напора в системе.

5. Результаты научного исследования направлены на развитие теории молоковыведения и обеспечивают более высокий уровень физиологичности взаимодействия элементов системы «человек – машина – животное» путем создания адаптивных алгоритмов реализации процесса доения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аналитическая записка о выполнении Государственной программы развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016-2020 годы за 2019 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mshp.gov.by/programms/ca5bed93374821f3.html>. – Дата доступа: 14.11.2023.

2. Dairy Market Review: Emerging trends and outlook 2022 / Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). – Rome, 2023. – 10 p.

3. Григорьев, Д.А. Технология машинного доения коров на основе конвергентных принципов управления автоматизированными процессами:

монография / Д.А. Григорьев, К.В. Король. – Гродно: ГГАУ, 2017. – 216 с.

4. Establishing the influence of technical and technological parameters of milking equipment on the efficiency of machine milking / E. Aliiev [et al.] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: February, 24. – 2022. – P. 44-55.

5. Григорьев, Д.А. Уравнение равновесного потока жидкости в системе сосок – доильный стакан / Д.А. Григорьев, А.М. Кравцов // Агропанорама. – 2023. – № 5. – С. 2-6.

6. Пильгунов, В.Н. Особенности истечения жидкости через отверстия некруглой формы / В.Н. Пильгунов, К.Д. Ефремова // Наука и образование: электрон. журнал МГТУ им. Баумана. – М, 2015. – № 2. – С. 1-23.

7. Альтшуль, А.Д. Гидравлические сопротивления / А.Д. Альтшуль; 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Недра, 1982. – 224 с.

8. Mein, Graeme A. Machine Milking / Graeme A. Mein, Douglas J. Reinemann. – Create Space Independent Publishing, 2015. – Vol. 1. – 174 p.

9. Besier, J. Vacuum levels and milk-flow-dependent vacuum drops affect machine milking performance and teat condition in dairy cows / J. Besier and R.M. Bruckmaier // Journal of Dairy Science. – 2016. – Vol. 99. – № 4. – P. 3096-3102.

10. Установки доильные. Конструкция и рабочие характеристики: СТБ 5707-2014. – Минск: Беларусь / Гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2014. – 23 с.

11. MC 200. Модуль управления дойкой: руководство по эксплуатации, версия 4.5 // S.C.R Engineers Ltd, 2007. – 74 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 29.11.2023

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

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

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

Стоимость подписки на 1-е полугодие 2024 года: для индивидуальных подписчиков - 42,78 руб., ведомственная подписка - 44,94 руб.

УДК 621.43.065.001.57

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2024-161-1-12-16>

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГЛУШИТЕЛЯ ШУМА ТРАКТОРОВ «БЕЛАРУС»

М.В. Кунаш,*аспирант факультета «Технический сервис в АПК» БГАТУ***Г.И. Белохвостов,***доцент каф. управления охраной труда БГАТУ, канд. техн. наук, доцент***Н.И. Зезетко,***гл. конструктор научно-технического центра ОАО «МТЗ», канд. техн. наук*

В статье приводятся результаты исследования шума трактора «БЕЛАРУС», укомплектованного серийным глушителем 800-1205015-А и экспериментальным глушителем 800-1205100, который изготовлен по конструкторской документации Белорусского государственного аграрного технического университета. Установлено, что экспериментальный глушитель позволяет снизить уровень звука и противодействие в сравнении с серийным глушителем.

Ключевые слова: экспериментальный глушитель шума, выхлопные газы, уровень звука, противодействие, отработавшие газы, экспериментальный образец.

The results of noise research of the BELARUS tractor equipped with the standard muffler 800-1205015-A and the experimental muffler 800-1205100 manufactured according to the design documentation of Belarusian State Agrarian Technical University are given in the article. Positive results on back pressure in comparison with the serial muffler were obtained.

Key words: experimental muffler, exhaust gases, sound level, back pressure, exhaust gases (EG), experimental sample.

Введение

При работе трактора возникает внешний шум, который проникает в кабину. Для снижения уровня шума в конструкции трактора предусмотрена система выпуска отработавших газов. Снижение уровня шума трактора является важным средством улучшения имиджа товарного знака машины, защиты физического и психологического здоровья работников [1].

Во время работы трактора сильный акустический отклик вызывает проникновение шума в кабину через стеклянные окна и ветровое стекло, а повторяющееся отражение звука от тонких пластин создает вибрацию, которая значительно усложняет снижение шума в кабине трактора.

Проблеме борьбы с шумом тракторных двигателей посвящены работы Разумовского М.А., Груданова В.Я., Шабуни Н.Г., Безручко А.Ф., Иванова Н.И., Комкина А.И. и других ученых.

В Республике Беларусь постановлением Совета Министров от 25.01.2021 № 37 введен в действие Гигиенический норматив «Показатели безопасности и безвредности шумового воздействия на человека», согласно которому уровень шума на рабочем месте оператора не должен превышать 80 дБА [2]. Уровень звука внешнего шума при его измерении в соответствии с требованиями ГОСТ 33678-2015 не должен превышать 85 дБА (для тракторов с эксплуатационной

массой не более 1500 кг) и 89 дБА (для тракторов с эксплуатационной массой, превышающей 1500 кг) [2].

Выявление источников шума и применение надлежащего обучения и эффективных методов снижения уровня шума, производимого трактором, могут значительно снизить вредное воздействие шумовых выбросов на здоровье механизатора.

Усовершенствование глушителей шума и снижение уровня шума могут значительно повысить конкурентоспособность трактора «БЕЛАРУС» на рынке. Негативное воздействие шума на физическое и психологическое здоровье трактористов также будет снижено.

Более 30 % работников, занятых в сельскохозяйственном производстве, подвергаются неблагоприятному воздействию шума, превышающего допустимые нормы. Организм человека, не приспособленный к перманентному воздействию шума, реагирует на звуковые раздражители достаточно негативно. Отрицательное влияние шума на работоспособность проявляется даже при его небольшой интенсивности [3-5].

К основным источникам шума транспортных и самоходных сельскохозяйственных машин, оборудованных ДВС, относится шум на такте выпуска. Шум не заглушенного выпуска может достигать 140 дБА (болевой порог). Это во много раз превосходит шум всех остальных источников [3].

Рациональным решением вопроса борьбы с шумом является устранение шумообразования в самом источнике, но это удастся осуществить в сравнитель-

но небольшом числе случаев. Поэтому для снижения аэродинамического шума основное внимание уделяется конструированию глушителей шума [3, 4].

Целью настоящей работы является сравнение характеристик шума трактора «БЕЛАРУС-1221.3», укомплектованного серийным глушителем 800-1205015-А и экспериментальным глушителем 800-1205100.

Основная часть

Уровень баланса звуковой энергии (мощности) в глушителе (рис. 1) имеет вид [5]:

$$P_{\text{прош}} = P_{\text{пад}} - (P_{\text{отр}} + P_{\text{погл}} + P_{\text{изл}}) + P_{\text{ген}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{прош}}$, $P_{\text{пад}}$, $P_{\text{отр}}$, $P_{\text{погл}}$, $P_{\text{изл}}$, $P_{\text{ген}}$ – соответственно, звуковая энергия прошедших, падающих, отраженных волн, энергия, поглощенная в глушителе, излучаемая в пространство и генерируемая в нем в единицу времени, Вт [5].

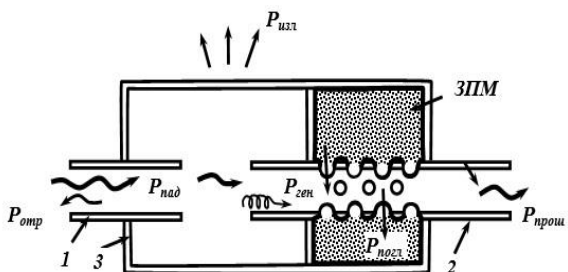


Рисунок 1. Распределение потоков звуковой энергии в глушителе шума: 1 – приемная труба; 2 – выпускная труба; 3 – корпус; ЗПМ – звукопоглощающий материал [5]

В правильно спроектированном глушителе энергией $P_{\text{ген}}$ в приведенном уравнении баланса можно пренебречь. Эффективными средствами уменьшения генерации энергии являются – уменьшение скорости потока газов в глушителе и придание его внутренним элементам обтекаемой формы.

Передача звука через глушитель происходит по газу, находящемуся в полости глушителя, и по элементам конструкции глушителя. Энергия, передаваемая по конструкции, обычно невелика вследствие большой разницы акустических сопротивлений воздуха и металла (материала корпуса глушителя) [4, 5].

Выбор того или иного типа глушителя определяется необходимым уровнем снижения шума, его спектром, мощностью источника и физическими свойствами материала: высоким звукопоглощением в требуемом диапазоне частот, малым объемным весом, экономичностью и т.д. Важно, чтобы глушители шума также оказывали небольшое гидравлическое сопротивление [3, 4].

Решение задачи шумопоглощения включает следующие этапы:

- определение допустимого шума;
- расчет шума в точке наблюдения по известной акустической характеристике источника, шум которого необходимо снизить;

– определение необходимой акустической эффективности глушителя шума;

– выбор схемы глушителя и конструкции звукопоглощающих элементов;

– акустический и гидравлический расчеты глушителя [3, 4].

При разработке глушителя шума системы выпуска следует находить правильное соотношение необходимого шумоглушения и минимального противодействия. Для ДВС увеличение противодействия на 3...5 кПа приводит к потере проектной мощности двигателя на 2...3 %. При этом потери связаны не только с конструкцией глушителя, но и типом двигателя (бензиновый, дизельный, атмосферный или с турбонаддувом) [6].

Противодействие зависит от ряда факторов, главными из которых являются: гидравлическое сопротивление глушителя, режим работы двигателя и волновое сопротивление системы выпуска. В свою очередь, гидравлическое сопротивление зависит от режима работы двигателя, поэтому оценку противодействия и связанного с ним снижения мощности принято относить к ее номинальному значению [6].

Противодействие рассчитывается по следующей формуле [6]:

$$\Delta p = \frac{(K_{\text{вх}} + K_{\text{вых}} + \lambda_{\text{т}} l_{\text{т}} / d_{\text{г}}) \rho v^2}{2}, \quad \text{Па} \quad (2)$$

где $K_{\text{вх}}$ и $K_{\text{вых}}$ – соответственно коэффициенты местного сопротивления на входе потока в трубу и на выходе из нее;

$\lambda_{\text{т}}$ – коэффициент трения потока газов о стенку трубы;

$l_{\text{т}}$ – длина трубы, м;

$d_{\text{г}}$ – гидравлический диаметр трубы, определяемый по формуле:

$$d_{\text{г}} = 4 S_{\text{т}} / F_{\text{т}} \quad (\text{для трубы с круговым сечением } d_{\text{г}} = d_{\text{т}});$$

$d_{\text{т}}$ и $F_{\text{т}}$ – внутренний диаметр и внутренний периметр трубы соответственно, м;

$S_{\text{т}}$ – площадь проходного сечения трубы, м²;

ρ – плотность газов в трубе, кг/м³;

v – средняя скорость движения газов в трубе, м/с [6].

Если срезы соединительных труб располагаются в камерах, то для вычисления коэффициентов $K_{\text{вх}}$ и $K_{\text{вых}}$ применяется выражение [6]

$$K_{\text{вх}} = (S_{\text{к}} / S_{\text{т}} - 1)^2, \quad (3)$$

$$K_{\text{вых}} = (1 - S_{\text{т}} / S_{\text{к}})^2, \quad (4)$$

где $S_{\text{к}}$ – площадь сечения камеры, м² [5, 6].

Для выходной трубы глушителя коэффициент местного сопротивления на выходе из нее при расчете принимается равным единице [6].

Выхлопная система тракторов наряду с отводом отработавших газов обеспечивает снижение шума двигателя. В настоящее время, как правило, на тракторах повсеместно применяются двигатели с турбонаддувом, а конструкция реактивного глушителя, то есть без элементов звукопоглощения (диссипации),

осталась прежней. По центру перфорированная труба и объем разделен на 2-3 резонансные камеры глухими перегородками. Такое решение было оправдано, так как глушитель выполнял еще и функцию искрогасителя.

Для сравнения шумовых характеристик исследования проводились на тракторе «БЕЛАРУС-1221.3», укомплектованном серийным глушителем шума 800-1205015-А и экспериментальным глушителем 800-1205100 (изготовлен по конструкторской документации Белорусского государственного аграрного технического университета). В экспериментальном глушителе применялась перфорированная вставка в виде трубы Вентури [2]. Данные исследования проводились на основе международных стандартов по уровню шума (ISO 7216 и ISO 5131) с учетом типа выхлопной системы, положения микрофона, частоты вращения двигателя (об/мин.) и положения передачи.

В табл. 1 представлено испытательное оборудование, которое использовалось для оценки шумового загрязнения.

Результаты измерения уровня звука и уровней звукового давления [9] процесса выпуска двигателя у выпускной трубы глушителя (микрофон располагался на расстоянии 0,25 м от края отверстия выпускной трубы глушителя и под углом 60° к оси потока выхлопных газов) приведены в таблице 2.

Во время исследований были зафиксированы следующие показатели:

- скорость ветра – 1 м/с;
- атмосферное давление – 98,7 кПа;
- температура окружающего воздуха – минус 5 °С.

Все показатели на момент испытаний полностью соответствовали условиям, определенным регламентами.

В режиме эксплуатационной мощности двига-

Таблица 1. Испытательное оборудование

Тип средств измерения испытательного оборудования (зав./инв. №, диапазон и единицы измерения)	Точность измерения	Номер свидетельства	Дата калибровки/поверки	Организация поверитель
Дорога Д002	–	85/1-02	10.08.2022	ОГМетр МТЗ
Комбинированный прибор testo 400 № 01390345/708 с дат. 0610 9714 № 708; дат. 0604.9993, № 10158350/711	–	ВУ 01 № 0014613-5522 ВУ 01 № 0014129-5522	05.09.2022 09.09.2022	БелГИМ
Барометр-анероид метеорологический БАММ-1 №17378	±0,2 кПа	ВУ 01 № 0028911-4922	20.06.2022	БелГИМ
Шумомер-анализатор спектра Октава-110А, зав. № А070749 в комплекте с капсюлем изм. микрофона ВМК-205, № 2464 и предусилителем Р200, № 185443	±0,7 дБ	ВУ 01 № 0003809-3422 1-0110765-3422	11.08.2022	БелГИМ
Калибратор звука 4231 № 2605996	±0,2 дБ	ВУ 01 № 0016163-3422-В	10.11.2022	БелГИМ
Рулетка, зав. № 56-22, (0...5 000) мм	±1 мм	ВУ 01 № 0020790-4122	07.07.2022	БелГИМ
Пьезометр	–	–	–	–

Таблица 2. Результаты измерения на срезе глушителя

Наименование глушителя	Эквивалентный уровень звука (дБА)	Уровень звукового давления (дБА) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										
		31,5	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	16 000	
Серийный глушитель	Холостые обороты двигателя	91,6	105,1	91,1	86,4	83,4	80,0	79,2	83,3	88,1	74,2	59,5
	Макс. обороты без нагрузки	101,8	85,9	101,6	108,5	99,2	95,5	92,6	93,6	94,9	91,9	86,5
	Эксплуатационная мощность двигателя	109,4	89,7	98,7	113,1	107,7	102,9	101,7	102,0	102,8	100,3	87,3
Экспериментальный глушитель	Холостые обороты двигателя	92,1	103,9	91,8	84,7	83,7	85,4	82,3	85,6	87,2	77,6	61,9
	Макс. обороты без нагрузки	105,9	91,2	101,8	106,2	103,7	103,3	95,9	98,1	98,7	96,3	91,2
	Эксплуатационная мощность двигателя	112,7	92,0	101,0	112,3	109,5	108,5	106,3	105,6	105,0	100,6	88,4

теля мощность на привод ВОМ составляла 94,5 кВт.

В ходе исследований установлено, что уровень звука на срезе у экспериментального глушителя 800-1205100 на режиме номинальной мощности был на 3,3 дБА выше, чем у серийного глушителя 800-1205100-А.

На рисунках 2-4 представлены графики сравнения уровней звукового давления на срезе глушителя.

Эквивалентный уровень звука у экспериментального глушителя был выше, чем у серийного, на следующих режимах:

- холостые обороты двигателя – на 0,5 дБА;
- максимальные обороты двигателя без нагрузки – на 4,1 дБА;
- эксплуатационная мощность двигателя – на 3,3 дБА.

Преимущества экспериментального глушителя по уровню звукового давления проявляются в основном при среднегеометрических частотах свыше 125 Гц.

Получены положительные результаты по противодействию (ТУ РБ 101326441.142-2004) в экспериментальном глушителе двигателя Д-260.2S2 в сравнении с серийным образцом. Сопротивление выхлопным газам глушителя 800-1205100 составило 7 кПа и соответствует требованиям.

Результаты измерения противодействия приведены в таблице 3.

Экспериментальный глушитель позволяет снизить противодействие на холостых оборотах двигателя на 0,1 кПа, на максимальных оборотах – на 3,1 кПа и при эксплуатационной мощности – на 9 кПа.

Из-за ограниченных и фиксированных размеров глушителя возникла проблема «лучевого эффекта», которая впоследствии может быть решена установкой перфорированных конусообразных обтекателей.

Заключение

При разработке глушителей шума системы выпуска тракторов «БЕЛАРУС» следует находить правильное соотношение необходимого шумоглушения и минимального противодействия.

Для двигателей внутреннего сгорания увеличение противодействия на 3...5 кПа приводит к потере проектной мощности двигателя на 2...3 %.

Предложена конструкция глушителя с улучшенными характеристиками, обеспечивающая повышение эквивалентного уровня шума в сравнении с серийным, в зависимости от режима работы двигателя:

- на холостых оборотах двигателя – на 0,5 дБА;
- на максимальных оборотах двигателя без нагрузки – на 4,1 дБА;

ХОЛОСТЫЕ ОБОРОТЫ ДВИГАТЕЛЯ



Рисунок 2. Уровень звукового давления на срезе глушителей на режиме холостых оборотов двигателя

МАКСИМАЛЬНЫЕ ОБОРОТЫ БЕЗ НАГРУЗКИ

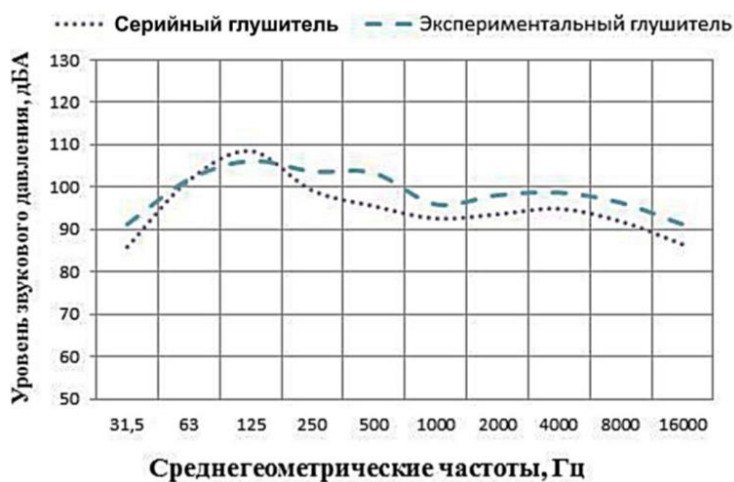


Рисунок 3. Уровень звукового давления на срезе глушителей на режиме максимальных оборотов двигателя

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ МОЩНОСТЬ



Рисунок 4. Уровень звукового давления на срезе глушителей на режиме эксплуатационной мощности двигателя

**Таблица 3. Результаты измерения
противодавления**

Наименование глушителя	Противодавление, кПа	
	Серийный глушитель	Холостые обороты двигателя
Максимальные обороты без нагрузки		6,1
Эксплуатационная мощность двигателя		16
Эксперимен- тальный глушитель	Холостые обороты двигателя	0,5
	Максимальные обороты без нагрузки	3,0
	Эксплуатационная мощность двигателя	7,0

– при эксплуатационной мощности двигателя – на 3,3 дБА.

При этом снижение противодавления на указанных режимах, соответственно, составило: 0,1; 3,1; 9 кПа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кунаш, М.В. Перспективная модель глушителя шума трактора / М.В. Кунаш, Г.И. Белохвостов, А.И. Мельнов // Актуальные проблемы и перспективы развития сельских территорий и кадрового обеспечения агропромышленного комплекса: сб. ст. III Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 7-8 июня 2023 г. / Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т. – Минск: БГАТУ, 2023. – С. 417-422.

2. Улучшение гидравлических характеристик глушителей шума / М.В. Кунаш [и др.] // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сб. ст. VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 30-31 марта 2023 г. / Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т; редкол.: В.Я. Груданов [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2023. – С. 294-296.

3. Глушители шума поршневых двигателей внутреннего сгорания: классификация, основные требования, инновационные конструкции / Г.И. Белохвостов

[и др.] // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: сб. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 23-25 нояб. 2022 г. / Воронежский гос. аграрн. ун-т; редкол.: Н.М. Дерканосова [и др.]. – Воронеж, 2022. – С. 56-64.

4. Груданов, В.Я. Моделирование и оптимизация гидравлических и акустических характеристик глушителей шума поршневых двигателей на основе теории чисел / В.Я. Груданов, Г.И. Белохвостов, Л.Т. Ткачева // Горная механика и машиностроение. – 2020. – № 4. – С. 28-42.

5. Новые направления в конструировании глушителей шума поршневых двигателей внутреннего сгорания / В.Я. Груданов [и др.] // Вестник БарГУ. Сер. Технические науки. – 2022. – № 2 (12). – С. 74-84.

6. Современные подходы к разработке глушителей шума поршневых двигателей внутреннего сгорания / Г.И. Белохвостов [и др.] // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. / редкол.: В.В. Гусаров (гл. ред.) [и др.]. – Горки: БГСХА, 2023. – Вып. 8. – С. 40-45.

7. Расчет противодавления глушителя шума ДВС / А.Г. Коляда [и др.] // Обеспечение безопасности жизнедеятельности на современном этапе развития общества: материалы Междунар. студенч. науч.-практ. конф., Горки, 20-21 апр. 2023 г. / Белорус. гос. с.-х. академия; редкол.: В.Н. Босак (гл. ред.) [и др.]. – Горки, 2023. – С. 111-114.

8. Безручко, А.Ф. Улучшение характеристик глушителей шума сельскохозяйственных тракторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / А.Ф. Безручко; БПИ. – Минск, 1989. – 15 с.

9. Груданов, В.Я. Научно-практические подходы к совершенствованию конструкций глушителей шума поршневых двигателей внутреннего сгорания на основе теории чисел / В.Я. Груданов, Г.И. Белохвостов, Л.Т. Ткачева // Наука и техника. – 2021. – Т. 20. – № 4. – С. 434-444.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 09.11.2023

Навесной оборотный плуг ПНО-3-40/55



Плуг навесной оборотный ПНО-3-40/50 предназначен для гладкой вспашки старопашотных не засоренных камнями почв с удельным сопротивлением до 0,09 МПа. Плуг агрегируется с тракторами класса 2,0 («Беларус 1221»).

Преимущества разработки:
- регулируемая ширина захвата;
- цена на 30-40% ниже зарубежных аналогов.

*Производство плугов освоено на ДП «Минотровский ремонтный завод».
В 2010 году на сельскохозяйственной выставке в г. Москве плуг удостоен золотой медали.*

Основные технические данные

Тип.....навесной
Тип корпуса.....полувинтовой
Производительность за 1 ч сменного времени, га.....0,65...1,14
Конструкционная ширина захвата корпуса, мм.....400/450/500/550
Рабочая скорость движения на основных операциях, км/ч.....7...9
Масса плуга конструкционная, кг.....не более 1150
Конструкционная ширина захвата плуга, м.....1,20/1,35/1,50/1,65

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СНОСА КАПЕЛЬ РАБОЧЕГО РАСТВОРА ПЕСТИЦИДОВ ВЕТРОМ

И.С. Крук,

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

О.В. Гордеенко,

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

Ф.И. Назаров,

*доцент каф. технологий и механизации животноводства и переработки
сельскохозяйственной продукции БГАТУ*

А.А. Тиунчик,

зав. каф. высшей математики БГАТУ, канд. физ.-мат. наук, доцент

А.А. Анищенко,

аспирант каф. механики материалов и деталей машин БГАТУ

В статье выполнен анализ способов проведения исследований влияния технологических параметров распыливающего оборудования и метеорологических условий на потери рабочего раствора пестицидов из-за сноса ветром. Обоснован выбор целевых функций и управляемых факторов для разработки соответствующих программ и методик планирования и проведения исследований в лабораторных и полевых условиях.

Ключевые слова: распылитель, потери пестицидов, снос капель, метеорологические условия, технологические параметры, методика исследований.

The article provides the analysis of research methods of the influence of technological parameters of spraying equipment and meteorological conditions on losses of pesticide working solution due to wind drift. The choice of target functions and controllable factors for the development of appropriate programs and methods of planning and conducting research in laboratory and field conditions was substantiated.

Key words: sprayer, pesticide losses, droplet drift, meteorological conditions, technological parameters, research methodology.

Введение

Эффективность применения пестицидов в растениеводстве определяется равномерностью распределения препарата по обрабатываемому объекту, характеризующейся дисперсностью распыла и густотой покрытия поверхности, которые во многом зависят от метеорологических условий и качественной работы всех систем опрыскивателя. При этом распылители должны обеспечивать качественную обработку с наименьшими потерями, к которым относятся испарение и вынос капель рабочего раствора ветром за пределы рабочей зоны опрыскивания. Величина сноса препарата оказывает существенное влияние на равномерность распределения пестицидов по ширине захвата агрегата и экологию. В процессе исследований определяются потенциальные и абсолютные потери пестицидов из-за сноса. К потенциальным потерям относится часть жидкости, которая остается во взвешенном состоянии в воздухе после прохода опрыскивателя, и может быть снесена. К абсолютным – часть жидкости, которая выносится из зоны обра-

ботки под действием воздушных потоков и осаждается вне целевого объекта обработки [1].

Изучению закономерностей падения капель пестицидов в неподвижной и подвижной воздушных средах посвящено большое количество исследований отечественных и зарубежных ученых: Боума Э., Джонса В.Р., Дмитрачкова В.П., Домбровски Н., Кот Т.П., Клочкова А.В., Ловкиса З.В., Маркевича А.Е., Нагорского И.С., Никитина Н.В., Нюттенса Д., Ронкина В.С., Ротенберга Ю.Ю., Сидихмеда М.М., Спиридонова Ю.Я., Степука Л.Я., Фаруга М., Шестакова В.Г., Шпаара Д. и других. Ими обоснована важность исследований качества внесения пестицидов при обработках в ветреную погоду, а также определено влияние на него различных технологических и метеорологических факторов. Однако, несмотря на многообразие проведенных исследований, проблема сноса является актуальной и в настоящее время, а полученные теоретические и практические результаты носят различный, зачастую противоречивый, характер.

В результате различных исследований отмечено, что наиболее значимыми факторами, влияющими на

процесс осаждения капель при опрыскивании, являются их размер и масса, стабильность атмосферы и скорость (вертикальная и горизонтальная составляющие) ветра [2-15]. Определено, что сносу подвержены капли размером менее 150 мкм, при этом капли размером менее 100 мкм за короткий промежуток времени приобретают горизонтальную траекторию движения и быстро испаряются [5]. Капли пестицидов диаметром менее 50 мкм остаются во взвешенном состоянии в воздухе до тех пор, пока полностью не испарятся [2]. В результате проведенных лабораторных исследований Домбровски Н. и Джонс В.Р. определили, что капли вылетают из сопел гидравлических распылителей со скоростями в диапазоне 15...25 м/с [2]. Д. Нюттенс, используя лазерную установку для исследований движения капель в факеле распыла, установил, что капли диаметром более 400 мкм имеют начальную скорость вылета 4,5...8,5 м/с, а капли диаметром менее 400 мкм – 0,5...2 м/с [2]. Сидихмед М.М. обосновал, что скорости капель определяются типом сопла, и при их диаметрах более 70 мкм находятся в пределах 16...18 м/с, а менее – 10...12 м/с. Кроме того, им отмечено, что капли приобретают начальные скорости вылета на расстоянии 0,04 м от сопла. Следует отметить, что в большинстве проведенных исследований основное внимание акцентировалось на доминирующих вертикальных составляющих скоростей капель, которые при вылете из сопел распылителей носят трехмерный характер, а распылители устанавливаются под углом к вертикали в направлении движения опрыскивателя. Из приведенной информации очевидна большая разница между полученными результатами.

Целью данной работы является обоснование методик проведения исследований закономерностей движения капель в лабораторных и реальных условиях при изменяемых технологических параметрах распылительного оборудования и метеорологических условиях.

Основная часть

Механизм осаждения капель рабочего раствора пестицидов на обрабатываемой поверхности сложен и многообразен (рис. 1). Жидкость, вытекая из сопла распылителя в виде пленки [17], теряет устойчивость и распадается на капли, причиной чего служат возрастающие волновые возмущения ее поверхности, которые распространяются от сопла к периферии пленки. Время существования пленки и ее геометрические размеры зависят от конструктивных (форма, площадь сопла и тип распылителя) и технологических (рабочее давление в напорной магистрали, параметры установки распылителей) параметров распылительного оборудования. Капля, оторвавшись от выброшенной из сопла распылителя струи рабочего раствора пестицида, обладая запасом кинетической энергии, движется под действием силы тяжести и силы сопротивления среды. Величина кинетической энергии зависит от размера капли и начальной скорости ее вылета, которые определяются типом распылителя, формой и площадью его сопла, а также рабочим

давлением в гидравлической системе опрыскивателя. При этом следует отметить, что капли больших размеров имеют большие начальные скорости вылета и скорости падения, что позволяет дольше сохранить их импульс [2, 3]. Увеличение давления рабочего раствора в большинстве конструкций гидравлических распылителей приводит не только к более мелкой дисперсности капель в факеле распыла, но и к увеличению их начальной скорости вылета из области распада струи [2; 4, 5]. При этом увеличение начальной скорости капель уменьшает расстояние сноса [5].

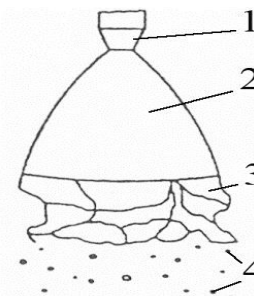


Рисунок 1. Процесс образования и падение капли [16]: 1 – распылитель; 2 – пленка жидкости; 3 – зона распада пленки; 4 – капли

Начальные условия истечения жидкости из сопла и параметры состояния окружающей среды определяют период времени движения капли, по истечении которого взаимно уравновесятся силы тяжести и силы сопротивления воздушной среды, после чего она продолжит падение по определенной траектории с постоянной скоростью движения, либо будет витать в воздухе до полного испарения.

Все факторы, влияющие на закономерности полета капель рабочей жидкости при внесении пестицидов методом опрыскивания, можно разделить на следующие группы [5]:

- физико-механические свойства рабочей жидкости (вязкость, летучесть, липкость, наэлектризованность);
- техническое состояние и технологический уровень применяемой техники (использование устройств и приспособлений для эффективного осаждения капель);
- метеорологические (природно-климатические) условия во время проведения технологической операции (состояние окружающей среды: температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра);
- состояние и уровень профессионализма механизатора (опыт, навыки, степень усталости, отношение к работе).

Исследования влияния различных факторов на закономерности падения капель проводятся в реальных полевых и (или) лабораторных условиях. Полевые исследования позволяют получить оценку сноса в реальных условиях [6-8]. Однако оценить степень единоличного или совокупного влияния различных факторов, в связи с их непостоянством, на закономерности сноса капель (относительные значения сноса [9-14]) не представляется возможным. Это в первую очередь связано с постоянно изменяющимися условиями состояния (фак-

торами воздействия) окружающей среды, таких, как температура, относительная влажность, скорость и направление восходящих потоков воздуха, направление и скорость ветра, и переменной рабочей скоростью агрегата [2-14]. Поэтому результаты практических исследований зачастую носят различный характер. Кроме того, существенно различаются результаты исследований, полученные в полевых и лабораторных условиях.

Многими исследователями отмечено, что в реальных условиях диаметр (d_k) и масса (m_k) капель меняются при изменении параметров состояния окружающей среды [1-3]:

$$d_k, m_k = f(T, w),$$

где T, w – соответственно температура (°C) и относительная влажность (%) окружающего воздуха.

Следует отметить, что данные параметры капель существенным образом оказывают влияние на степень и дальность сноса препарата при воздействии ветра (рис. 2). При исследовании закономерностей сноса капель рабочего раствора пестицидов ветром в качестве целевой функции принимается один из следующих параметров: дальность сноса капель, степень сноса (объем снесенной или осевшей на целевом объекте обработки жидкости, либо объем осевшей жидкости за пределами целевого объекта обработки на различных расстояниях). Количественно оценить снос рабочего раствора позволяет коэффициент целевого использования жидкости ($K_{ЦИЖ}$), измеряемый в долях или процентах [3; 20], и определяемый по формулам

$$K_{ЦИЖ} = \frac{m_э}{m_{общ}} = \frac{V_э}{V_{общ}},$$

или

$$K_{ЦИЖ} = \frac{m_э}{m_{общ}} \cdot 100 = \frac{V_э}{V_{общ}} \cdot 100,$$

где $m_э, m_{общ}$ – соответственно масса рабочей жидкости, осевшая на целевом объекте обработки, и масса рабочей жидкости, прошедшая через распылитель за определенный период времени, кг;

$V_э, V_{общ}$ – соответственно объем рабочей жидкости, осевшей на целевом объекте обработки, и объем рабочей жидкости, прошедший через распылитель за определенный период времени, м³.

Для исследования влияния различных факторов на закономерности сноса в лабораторных условиях используются установки открытого и закрытого типов (рис. 3). Они позволяют моделировать процесс сноса в условиях, максимально приближенных к реальным. Основным преимуществом лабораторных установок является возможность исследования изменения целевых функций при варьировании различных факторов (расход рабочего раствора, дисперсность распыла, параметры установки распылителей (высота, угол установки и ориентация факела распыла), параметры ветра (скорость и направление), состояние окружающей среды (влажность и температура)), исключив влияние случайных факторов (неровности поля, прямолинейность движения агрегата) [2; 15; 18].

В качестве установки закрытого типа используются аэродинамические трубы различных исполнений, отличительной особенностью проведения исследований в которых является возможность создания постоянной скорости направленного воздушного потока (ветра) на всем протяжении исследуемого участка, в то время как в установках открытого типа он замедляется по мере удаления от вентилятора. Одним из основных преимуществ испытаний в аэродинамической трубе является

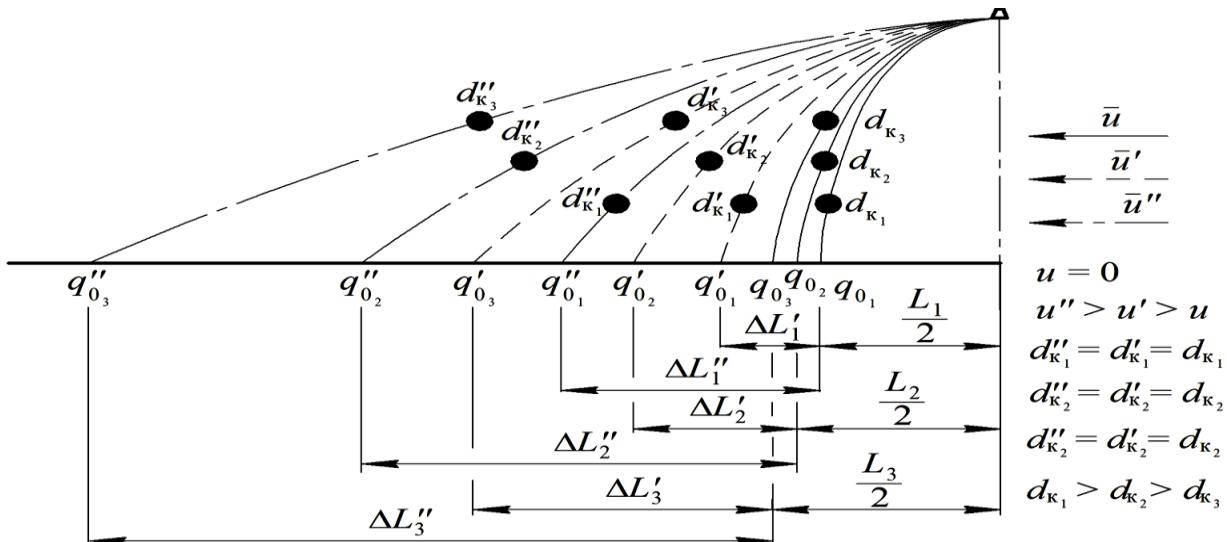
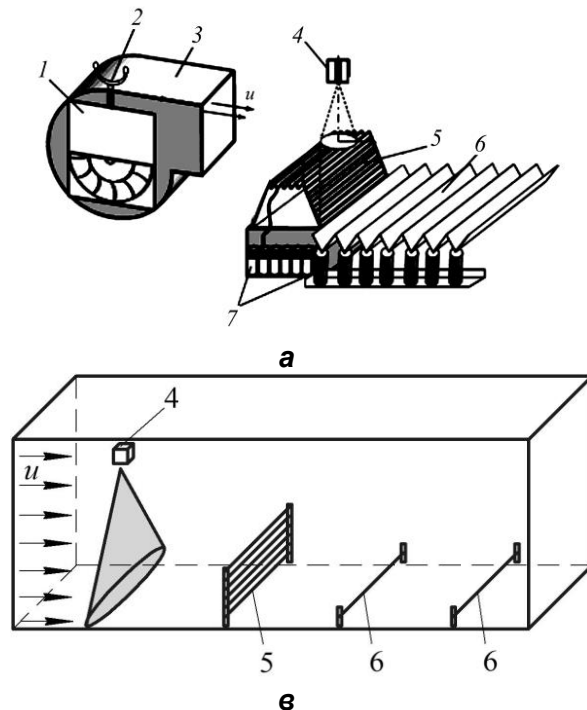


Рисунок 2. Наглядная схема обоснования зависимости дальности сноса капель, вылетевших из сопла распылителя, от их диаметров и скоростей ветра: u – скорость ветра, м/с; d_k – диаметр капли, мкм; q_0 – объем осевшей жидкости, дм³; L – расстояние падения капли от оси факела распыла в идеальных условиях, м; ΔL – расстояние сноса капли, м; ('', ' – индексы, соответствующие заданной скорости ветра)



б



г

Рисунок 3. Лабораторные установки открытого (а, б) [3, 21, 22] и закрытого (б, в) типов [18; 22] для количественной оценки сноса жидкости: а, в – схемы; б, г – общий вид; 1 – заслонка; 2 – регулятор; 3 – вентилятор; 4 – распылитель; 5, 6 – улавливающие коллекторы (принимающие поверхности); 7 – мерные цилиндры; u – скорость ветра

возможность проведения многократных исследований различных распылителей и систем в непосредственно сравнимых и повторяемых условиях, что практически невозможно сделать при использовании установок открытого типа и в полевых условиях. Исследования в аэродинамической трубе позволяют получить сведения о потенциальном и абсолютном сносе, выраженные соответствующими коэффициентами [18-19]. При этом результаты, полученные в аэродинамических трубах, установках открытого типа и в полевых условиях, могут существенно отличаться.

Постановка и проведение экспериментов в полевых условиях является сложной задачей. Это связано в первую очередь с постоянным изменением условий, в которых осуществляются опыты: переменчивость направления и скорости восходящих от земли воздушных потоков, скорости и направления ветра, относительной влажности и температуры воздуха и других.

Проведение экспериментов в реальных условиях позволяет работать с готовыми растворами пестицидов, определять снос не только с технической стороны, но и с агрономической (биологической), то есть оценивать степень воздействия гербицидов на растения, их повреждаемость на различных расстояниях от обрабатываемого поля. Поэтому в полевых условиях могут использоваться установки различного назначения (рис. 4): для количественной оценки выноса жидкости из зоны обработки; оценки количества капель, дрейфующих в воздухе после прохода опрыскивателя; для оценки дрейфа и сноса капель на различном

расстоянии от обрабатываемого участка. Для этих целей используются желобчатые улавливающие поверхности и мерные сосуды, улавливающие вертикальные шесты, улавливающие карточки, например, Novartis, которые меняют цвет при осаждении на них капель рабочей жидкости.

В качестве примеров можно привести следующие результаты, которые невозможно было получить в лабораторных условиях. При штанговом опрыскивании капли диаметром 20 мкм сносятся на расстоянии одного км и более. Повреждения сельскохозяйственных культур пестицидами могут происходить на расстоянии до 20 км от места обработки [21].

В соответствии с поставленной целью исследований выбирается способ оценки потерь из-за сноса, разрабатывается программа и методика исследований, подбирается соответствующее оборудование и материалы.

Заключение

Выбор способа исследований процесса сноса капель рабочего раствора пестицидов и разработка для него соответствующих программ и методик имеют основополагающее значение. При проведении данных экспериментов в зависимости от поставленной цели и задач исследований в качестве целевой функции могут приниматься следующие показатели: расстояние выноса капель за пределы зоны обработки, степень дрейфующих капель в воздушном потоке после прохода опрыскивателя, величина потерь пестицидов, определяемая коэффициентом целевого использования жидкости. В

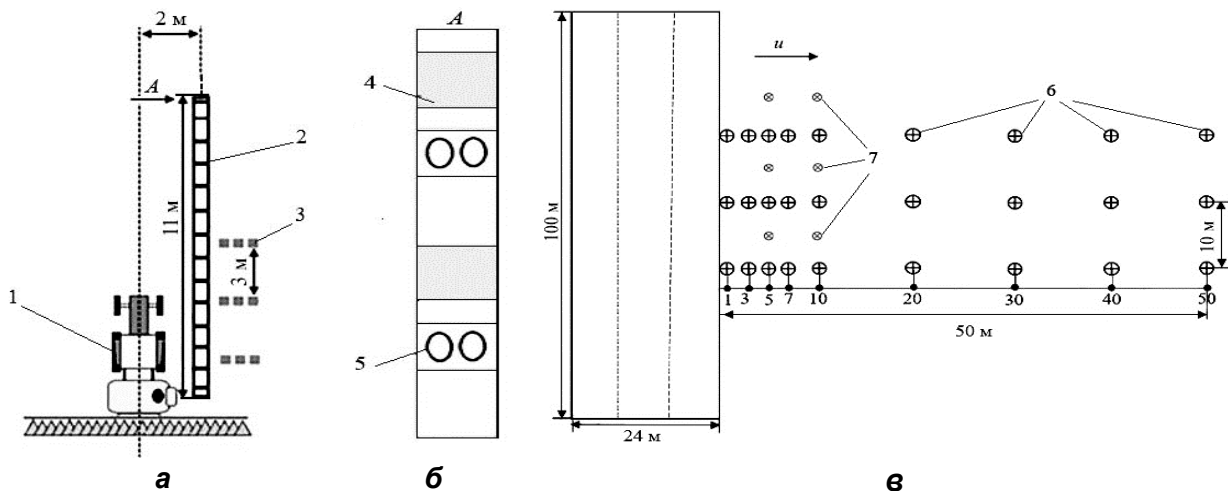


Рисунок 4. Исследования процесса сноса в полевых условиях [23]: а – установка улавливающего оборудования; б – конструкция улавливающего вертикального шеста; в – схема расположения улавливающих карточек и установки вертикальных шестов; 1 – штанговый опрыскиватель; 2 – устройство для сбора капель; 3 – устройство для сбора снесенных капель; 4 – раздвижная крышка; 5 – принимающие коллекторы; 6 – улавливающие карточки для измерения расстояния сноса капель; 7 – вертикальные шесты для улавливания дрейфующих в воздухе капель; u – скорость ветра.

качестве управляемых факторов рассматривают технологические (дисперсность факела распыла (определяется типом распылителя, формами и размерами их сопел, давлением в напорной магистрали), расстояние до обрабатываемой поверхности (угол и высота установки распылителя), параметры и метеорологические условия (скорость и направление ветра, относительная влажность и температура окружающего воздуха). На основе выбора данных факторов и обоснования пределов их варьирования составляются программы и методики лабораторных или полевых исследований.

Проведение исследований в полевых условиях позволяет изучить процесс в реальных условиях, хотя это сопряжено со многими проблемами. Среди них можно отметить непостоянные и неуправляемые метеорологические условия, которые необходимо контролировать в ходе проведения экспериментов, и низкую вероятность проведения повторных опытов в идентичных условиях. Кроме того, существует высокая вероятность воздействия на конечные результаты факторов, связанных с управлением и работой технического средства. Однако данный способ исследований позволяет определить дальность сноса капель и возможность оценить степень воздействия сносимых пестицидов на другие культуры, расположенные рядом с обрабатываемым полем и не подлежащие обработке при проведении данной операции химической защиты растений.

Проведение исследований в лабораторных условиях с использованием установок открытого типа позволяет проводить эксперименты в условиях, приближенных к реальным. При этом можно управлять направлением и скоростью ветра, учитывая ее снижение по мере удаления от исследуемого факела распыла. При этом имеется возможность исследовать различные способы защиты факела распыла от воздействия ветра, начиная от использования различных конструкций щитков, и заканчивая применением струй сжатого воздуха для

транспортировки капель к обрабатываемой поверхности. Также возможно учитывать влияние на конечный результат скорости и направления восходящих от поверхности почвы потоков воздуха. Однако существует вероятность проведения повторных опытов при измененных значениях показателей состояния окружающей среды и необходимость постоянного контроля температуры влажности в помещении.

Наиболее оптимальными являются лабораторные исследования с использованием установок закрытого типа (аэродинамические трубы), которые позволяют сохранять требуемую скорость ветра на большом интервале расстояний от исследуемого факела распыла, проводить многократно повторяющиеся исследования в практически идентичных условиях и исключить влияние на конечные результаты неуправляемых факторов. При этом есть необходимость контроля температуры и влажности воздуха только внутри самой установки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Field-crop-sprayer potential drift measured using test bench: Effects of boom height and nozzle type / P. Balsari [et al.] // Journal of Biosystems Engineering. – № 154. – 2017. – С. 3-13.
2. Droplet size and velocity characteristics of agricultural sprays / D. Nyuttens [et al.] // American Society of Agricultural Engineers. – 52 (5). – P. 1471-1480.
3. Крук, И.С. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей: монография / И.С. Крук, Т.П. Кот, О.В. Гордеенко. – Минск: БГАТУ, 2015. – 284 с.
4. Farooq, M.. Agricultural sprays in cross flow and drift / M. Farooq [et al.] // Journal of Agricultural Engineering Research. – № 78 (4). – 2001. – P. 347-358.

5. Herbicide application methodologies: influence of nozzle selection, droplet size and spray drift on effective spraying – a review. / C.R. Chethan [et al.] // Innovative Farming. – № 4 (1). – 2019. – P. 45-53.

6. Hewitt, A.J. An international database on pesticide drift. / A.J. Hewitt, T.M. Wolf // Aspects of Applied Biology. – № 71. – 2004. – P. 165-168.

7. Nyuttens, D. Drift from field crop sprayers: the influence of spray application technology determined using indirect and direct drift assessment means. PhD thesis no. 772, Katholieke Universiteit Leuven. – 293 pp.

8. The influence of operator controlled variables on spray drift from field crop sprayers. / D. Nyuttens [et al.] // Transactions of the ASABE. – № 50 (4). – 2007. – P. 1129-1140.

9. Experimental air-assisted spraying of young cereal plants under controlled conditions / E.C. Hislop [et al.] // Crop Protection. – № 12 (3). – 1993. – P. 193-200.

10. Effect of injection angle on drift potential reduction in pesticide injection nozzle spray applied in domestic agricultural drones / Seung-Hwa Yu [et al.] // Journal of Biosystems Engineering. – № 189. – 2021. – P. 129-138.

11. Symmetrical multi-foil shields for reducing spray drift. / M.M. Sidahmed [et al.] // Biosystems Engineering. – № 88 (3). – 2004. – P. 305-312.

12. A comparison of the drift potential of a novel twin fluid nozzle with conventional low volume flat fan nozzles when using a range of adjuvants. / J.H. Combellack [et al.] // Crop Protection. – № 15 (2). – 1996. – P. 147-152.

13. Shields to reduce spray drift / H.E. Ozkan [et al.] // Journal of Agricultural Engineering Research. – 67. – P. 311-322.

14. Никитин, Н.В. Научно-практические аспекты технологии применения современных гербицидов в растениеводстве / Н.В. Никитин; под общ. ред. Ю.Я. Спиридонова и В.Г. Шестакова. – М.: Печатный Город, 2010. – 200 с.

15. The effect of boom selection and nozzle configuration on the risk of spray drift. / S.D. Murphy [et al.] // Journal of Agricultural Engineering Research. – № 75. – 2000. – P. 127-137.

16. Защита растений в устойчивых системах земледелия: в 4-х книгах / Под общей ред. Д. Шпаара. – Торжок: ООО «Вариант», 2004. – Кн. 4. – 345 с.

17. Братуга, Э.Г. Диагностика капельных потоков при внешних воздействиях / Э.Г. Братуга. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1987. – 144 с.

18. Influence of nozzle type and size on drift potential by means of different wind tunnel evaluation methods / D. Nyuttens [et al.] // Biosystems Engineering. – № 103 (3). – 2009. – P. 271-280.

19. Drift classification of boom sprayers based on single nozzle measurements in a wind tunnel. / P.J. Walklate [et al.] // Aspects of Applied Biology. – № 57. – 2000. – P. 49-57.

20. British Crop Protection Council scheme for the classification of pesticide application equipment by hazard. / C.S. Parkin [et al.] // Crop Protection. – № 13. – 1994. – P. 281-285.

21. Направления повышения качества внесения пестицидов в ветреную погоду / И.С. Крук [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2022. – Т. 60. – № 3. – С. 320-331.

22. Методика оценки технического состояния полевых штанговых опрыскивателей и технологические требования к ним / И.С. Крук [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2016. – 140 с.

23. Evaluation of compact airinduction flat fan nozzles for herbicide applications: Spray drift and biological efficacy / Shilin Wang [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2023. – P. 1-10.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 15.02.2024

Радиоволновой влагомер зерна

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

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



Основные технические данные

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

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ С ЗОНИРОВАННЫМИ ЭЛЕКТРОДНЫМИ СИСТЕМАМИ

М.А. Прищепов,

зав. каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

И.Г. Рутковский,

ст. преподаватель каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ

В статье приведено исследование функциональных возможностей электродных электронагревателей с зонированными электродными системами. Показано, что разработанные методики и алгоритмы расчета статических и динамических характеристик основных электротепловых схем электродных электронагревателей-датчиков, обеспечивающие допустимые плотности тока в межэлектродном пространстве нагревателей и заданную интенсивность нагрева сред, на примере обраба молока продемонстрировали высокую адекватность характеристик. Выявленные дополнительные свойства их многофункционального использования позволяют защитить электронагревательные установки от аварийных режимов работы, контролировать образование отложений на электродах и интенсивность кипения.

Ключевые слова: электродный электронагреватель, электродный электронагреватель-датчик, математическая модель, информационный сигнал, аварийный режим работы, отложения на электродах, кипение.

The article presents a study of the functional power of electrode electric heaters with zoned electrode systems. It is shown that the developed methods and algorithms for calculating the static and dynamic characteristics of the main electrode systems of electrode electric heaters-sensors, providing allowable current densities in the interelectrode space of heaters and a given heating intensity of media, using electrothermal treatment of skimmed milk as an example, demonstrated high adequacy of characteristics. The discovered additional properties of their multifunctional use make it possible to protect electric heating installations from emergency operation modes, control the formation of deposits on the electrodes and the boiling intensity.

Key words: electrode electric heater, electrode electric heater with sensor function, mathematical model, information signal, emergency operation, deposits on electrodes, boiling.

Введение

Использование электрической энергии для тепловых нужд на современном этапе непрерывно возрастает. Доля электрического нагрева будет увеличиваться еще больше в связи с вводом в эксплуатацию Белорусской АЭС и применением двухставочных дифференцированных тарифов на электрическую энергию. При получении тепловой энергии в настоящее время широко используется косвенный электронагрев на основе ТЭНов. Однако ограниченная теплопроводность обрабатываемых сред и невысокая допустимая температура на контактной поверхности теплообмена существенно снижают его эффективность. Значительно снизить стоимость и повысить энергоэффективность обработки сельскохозяйственных термолabileльных сред можно применением электронагревательных установок (ЭНУ) с электродными электронагревателями (ЭЭН). При исследованиях, направленных на разработку проточных и непроточных ЭЭН с зонированными электродными

системами, обеспечивающими допустимые плотности тока в межэлектродном пространстве нагревателей и заданную интенсивность нагрева текучих термолabileльных сред, проведен анализ тепловых процессов сельскохозяйственного производства. Анализ показал, что основные тепловые процессы – низкотемпературные, и в большинстве из них возможен объемный ввод тепловой энергии в обрабатываемую среду, то есть прямой электронагрев сопротивлением, который является термозависимым, так как удельное сопротивление практически всех обрабатываемых сельскохозяйственных сред зависит от их температуры. При этом температура и интенсивность нагрева сред ограничиваются допустимой температурой и распределением плотности тока в среде межэлектродного пространства.

В работах Кудрявцева И.Ф., Карасенко В.А., Герасимовича Л.С. и других ученых отмечается, что использование ЭНУ с ЭЭН перспективно во многих технологических процессах сельскохозяйственного производства для тепловой обработки термолabileльных сред

[1-6]. Однако этим не ограничивается их использование, так как они могут выполнять и другие функции.

Цель настоящей работы – обосновать возможности многофункционального использования многозонных ЭЭН.

Основная часть

Так как процессы термообработки термолabileльных сред, как правило, быстротечны, то для упрощения системы автоматического регулирования (САР) температуры ЭЭН необходимо использовать малоинерционные датчики температуры. Вместе с тем зонирование электродной системы позволяет использовать в качестве термочувствительного элемента термозависимое сопротивление нагреваемой среды. При этом измерение ее сопротивления наиболее просто и его с высокой точностью можно производить методом нулевого или дифференциального сравнения. Для этого ЭЭН должен иметь один или несколько промежуточных (дополнительных) электродов и градиент температуры в обрабатываемой среде. Такой ЭЭН будет выполнять функции датчика, и называться электродным электронагревателем-датчиком (ЭЭН-Д). В результате моделирования выявлено, что повышение эффективности работы ЭНУ на базе зонированных или многозонных ЭЭН-Д достигается за счет наличия в них внутренних обратных связей, обеспечивающих перераспределение мощности и контроль температурного поля при нагреве обрабатываемой среды [7].

При создании ЭНУ с заданным распределением плотности тока в среде межэлектродного пространства на базе зонированных ЭЭН-Д рассмотрим электротепловые схемы (ЭТС) ЭЭН-Д с плоскопараллельным исполнением электродных систем (рис. 1), которые обеспечивают наиболее равномерное распределение плотности тока по ширине электродов. Для этих ЭТС разработаны математические модели (ММ) и алгоритмы теоретического исследования их статических и динамических характеристик [6-9].

Зонированные ЭЭН-Д с плоскопараллельными электродами могут иметь различную конфигурацию электродных систем [6-8]. Вместе с тем они будут частным случаем ЭТС (рис. 1).

Электротепловые процессы (ЭТП) в зонированных ЭЭН-Д с плоскопараллельными электродами (рис. 1) описываются следующим уравнением [6, 7]:

$$C_p \cdot \rho_c \left(\frac{\partial \theta_c}{\partial \tau} + v(x) \cdot \frac{\partial \theta_c}{\partial x} \right) = \frac{U_k^2 \cdot \eta}{\rho_t(\theta_c) \cdot H_k^2}, \tag{1}$$

где C_p – удельная теплоемкость обрабатываемой среды, Дж/(кг · °С);

ρ_c – плотность обрабатываемой среды, кг/м³;

θ_c – температура обрабатываемой среды, °С;

τ – переменная по времени нагрева, с;

$v(x)$ – скорость обрабатываемой среды в межэлектродном пространстве на расстоянии x от начала ЭЭН-Д, м/с;

η – коэффициент полезного действия, о.е.;

ρ_t – удельное сопротивление обрабатываемой среды, Ом·м;

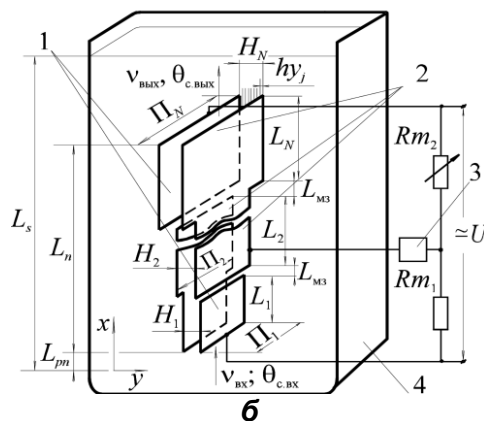
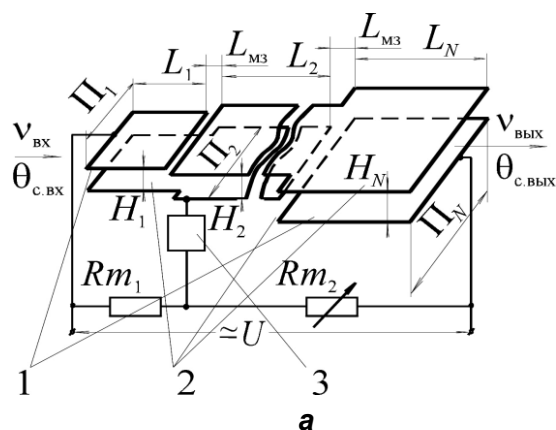


Рисунок 1. ЭТС проточного (а) и непроточного (б) ЭЭН-Д с плоскопараллельной зонированной электродной системой: 1 – основные токоподводящие электроды; 2 – промежуточные электроды; 3 – управляющий элемент САР; 4 – емкость; $v_{вх}$, $v_{вых}$ – скорость обрабатываемой среды на входе и выходе ЭЭН-Д, м/с; $\theta_{с. вх}$, $\theta_{с. вых}$ – температура на входе и выходе ЭЭН-Д, °С; $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_N$ – ширина электродов на 1, 2, ..., N-й последовательно соединенной зоне ЭЭН-Д, м; N – количество последовательно соединенных зон (на единицу меньше количества электродов электродной системы ЭЭН-Д); L_1, L_2, \dots, L_N – длина электродов на 1, 2, ..., N-й последовательно соединенной зоне ЭЭН-Д, м; H_1, H_2, \dots, H_N – межэлектродное расстояние на 1, 2, ..., N-й последовательно соединенной зоне ЭЭН-Д, м; h_{y_j} – толщина слоя обрабатываемой среды по оси y , ЭЭН-Д ($j=1...J_s$, где J_s – количество слоев в межэлектродном пространстве по оси y), м; y – текущая координата межэлектродного расстояния, ЭЭН-Д, м; R_{m1}, R_{m2} – термнезависимые сопротивления измерительного моста ЭЭН-Д, Ом; U – напряжение питания, В; $L_{м3}$ – расстояние между зонами нагрева, м; $L_{рп}$ – расстояние между ЭЭН-Д и дном емкости, м; L_n – длина ЭЭН-Д, м; L_s – высота уровня обрабатываемой среды в емкости, м.

U_k – напряжение на k -й зоне ЭЭН-Д ($k = 1, 2, \dots, M$), В;
 N – количество последовательно соединенных зон (на единицу меньше количества электродов электродной системы ЭЭН-Д);

H_k – межэлектродное расстояние на k -й зоне ЭЭН-Д, м.

При описании ЭТП с ЭЭН-Д (рис. 1) к уравнению (1), записанному для k -й зоны, необходимо дополнительно записать систему уравнений для вычисления напряжения U_k на k -й зоне ЭЭН-Д [6, 7]:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_k = \sum_{k=1}^N I \cdot R_k; \\ I = U / R; \\ R = \sum_{k=1}^N R_k; \\ R_k = \frac{\int_0^{L_k} \rho_t(\theta_c) dx \cdot \int_0^{L_k} H_k dx}{\int_0^{L_k} \Pi_k dx \cdot L_k^2}, \end{array} \right. \quad (2)$$

где I – текущее значение полного тока ЭЭН-Д, А;

R_k – сопротивление k -й зоны ЭЭН-Д, Ом;

R – полное сопротивление ЭЭН-Д, Ом;

L_k – длина электродов k -ой зоны ЭЭН-Д, м;

Π_k – ширина электродов на k -й зоне ЭЭН-Д, м.

На входе проточного ЭЭН-Д температура $\theta_{с.вх}$ задается по требованиям технологического процесса. Скорость обрабатываемой среды на его входе и на расстоянии x от входа ЭЭН-Д рассчитывается по формуле:

$$v(x) = G / (\rho_c \cdot H(x) \cdot \Pi(x)),$$

где G – массовый расход обрабатываемой среды, кг/с;

$H(x)$ – межэлектродное расстояние на удаленности x от начала ЭЭН-Д ($H(x) = H_k$), м;

$\Pi(x)$ – ширина электродов на расстоянии x от начала ЭЭН-Д ($\Pi(x) = \Pi_k$), м.

Температура $\theta_{с.вх}$ на входе для непроточного ЭЭН-Д принимается равной температуре θ_{pn} под нагревателем, в начале нагрева она будет равна начальной температуре $\theta_{с.н}$ обрабатываемой среды. В процессе нагрева температура $\theta_{с.вх}$ будет равняться температуре θ_E у дна емкости, которая определяется из решения уравнения (3) совместно с уравнением (1) [7]:

$$\frac{\partial \theta_E}{\partial \tau} + v_E \cdot \frac{\partial \theta_E}{\partial x_E} + \alpha \frac{\partial^2 \theta_E}{\partial x_E^2} = 0, \quad (3)$$

где θ_E – температура обрабатываемой среды в емкости вне ЭЭН-Д, °С;

v_E – скорость обрабатываемой среды в емкости вне ЭЭН-Д ($v_E = v(x) \cdot H(x) \cdot \Pi(x) / S_{смк}$), м/с;

α – коэффициент диффузии, м²/с;

$S_{смк}$ – площадь поперечного сечения емкости с обрабатываемой средой, м².

Тепловое движение обрабатываемой среды в межэлектродном пространстве непроточного ЭЭН-Д получим из решения системы уравнений [7]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial v_k}{\partial \tau} - \frac{\mu}{\rho_c} \cdot \frac{\partial^2 v_k}{\partial y^2} = \beta \cdot g(\theta_{нн} - \theta_{si}); \\ v(x) = \frac{1}{J_s} \sum_{j=1}^{J_s} v_{kj}; \\ \theta_{нн} = \theta_{сн} + \\ + \int_0^{\tau_p} \frac{\Delta \theta_v \cdot v(x) \cdot \Pi(x) \cdot H(x) \cdot \rho_c}{M_{нн}} dt; \\ \theta_{si} = \frac{1}{L_n} \int_0^{L_n} \theta_F dx, \end{array} \right. \quad (4)$$

где v_{kj} – скорость обрабатываемой среды на условно выделенном вертикальном j -м слое k -й зоны ЭЭН-Д, м/с;

μ – коэффициент динамической вязкости, Па · с;

β – коэффициент теплового расширения обрабатываемой среды, 1/°С;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$\theta_{нн}$ – температура среды над нагревателем, °С;

θ_{si} – среднеинтегральная температура среды в межэлектродном пространстве ЭЭН-Д по оси x , °С;

τ_p – время нагрева, с;

$\Delta \theta_v$ – превышение температуры на выходе из ЭЭН-Д над температурой обрабатываемой среды в емкости над нагревателем, °С;

$\theta_{сн}$ – начальная температура обрабатываемой среды, °С;

$M_{нн}$ – масса обрабатываемой среды над нагревателем ($M_{нн} = M(L_s - L_n - L_{pn}) / L_s$; $L_s = M / (\rho_c \cdot S_{смк})$), кг;

M – масса обрабатываемой среды в нагреваемой емкости, м;

θ_F – температура секций ЭЭН-Д по оси x , превышающая $\theta_{нн}$ и обеспечивающая возникновение подъемной силы, °С.

Расчет величины информационного сигнала (ИС) в измерительной диагонали моста ЭЭН-Д ΔU (рис. 1) проводится по выражению [7, 9]:

$$\Delta U = U \cdot R_{pr} \times \frac{Rm_3 \cdot Rm_2 - Rm_4 \cdot Rm_1}{Rm_{12} \cdot R_{pr} \cdot R + Rm_3 \cdot Rm_4 \cdot Rm_{12} + Rm_1 \cdot Rm_2 \cdot R}, \quad (5)$$

где R_{pr} – внутреннее сопротивление измерительного прибора, Ом;

Rm_3, Rm_4 – термозависимые сопротивления ЭЭН-Д, образующие мостовую измерительную схему, Ом;

$Rm_{12}=Rm_1+Rm_2$ – сумма термнезависимых сопротивлений мостовой измерительной схемы, Ом.

Решение дифференциального уравнения (1), описывающего изменение температуры в межэлектродном пространстве, а также дифференциального уравнения (3), описывающего распределение температуры в нагреваемой емкости вне ЭЭН-Д, и дифференциального уравнения системы уравнений (4), которое описывает скорость теплового движения обрабатываемой среды в межэлектродном пространстве, проводилось конечно-разностным методом. Для этого использовалась методика аппроксимации указанных дифференциальных уравнений в виде конечно-разностных схем, которые преобразовывались к рекуррентным формулам, обеспечивающим построение систем алгебраических уравнений с трехдиагональной матрицей, решаемых методом прогонки. Расчет электротепловых процессов в проточном ЭЭН-Д проводился путем совместного решения дифференциального уравнения (1) и системы уравнений (2) [6]. Для расчета электротепловых процессов в непроточном ЭЭН-Д при решении дифференциального уравнения (1) и системы уравнений (2) и (4) находилась температура θ_c на выходе ЭЭН-Д и температура $\theta_{нн}$ в емкости над нагревателем. При решении дифференциального уравнения (3), описывающего распределение температуры в нагреваемой емкости, в качестве начального значения принималось полученное после решения уравнения (1) значение температуры $\theta_{нн}$. В результате решения дифференциального уравнения (3) находилось распределение значений температуры θ_E в емкости и температура θ_{pn} под нагревателем. При расчете температур на следующем конечно-разностном временном слое указанная последовательность расчета повторялась [7].

Теоретические и экспериментальные исследования ЭТП в зонированных ЭЭН-Д показывают, что их динамические характеристики имеют экспоненциальный вид, на который существенное влияние оказывает температурный коэффициент сопротивления обрабатываемой среды, а также зонирование ЭЭН-Д [6-9].

При разработке ЭЭН-Д необходимо получить наибольшую величину напряжения ИС разбаланса мостовой измерительной схемы. Результаты моделирования показали, что наибольшую величину напряжения ИС можно получить в случае, когда термозависимые сопротивления измерительного моста, сбалансированного в холодном состоянии ЭЭН-Д, будут максимально близки по величине. Это условие выполняется при использовании в качестве измерительного промежуточного электрода, который расположен в средней части ЭЭН-Д. Размещение в одном корпусе нескольких пар электродов может приводить к прохождению тока между электродами соседних зон нагрева. Это увеличивает неравномерность плотности тока в обрабатываемой среде межэлектродного пространства и влияет на величину напряжения ИС. Результаты экспериментальной проверки адекватности разработанных ММ показали, что для снижения взаимного влияния друг на друга соседних зон нагрева

ва расстояние между этими зонами $L_{мз}$ (рис. 1) необходимо принимать не менее 4 и более межэлектродных расстояний. При этом разработанные ММ позволяют проводить расчет электротепловых характеристик, включая и величину ИС ЭЭН-Д, с погрешностью, не превышающей 8,3% относительно экспериментальных данных, что вполне достаточно при практическом проектировании ЭНУ [6, 7; 9].

Разработка ЭНУ с ЭЭН-Д для нагрева обратного молока показала, что существенное влияние на его удельное сопротивление и ТКС помимо температуры оказывает кислотность и концентрация хлоридов. Увеличение температуры обратного молока приводит к снижению его удельного сопротивления. При повышении кислотности обратного, а также при повышении в нем концентрации хлоридов происходит снижение удельного сопротивления и ТКС [10]. Математическое моделирование статических и динамических электротепловых характеристик непроточных ЭЭН-Д с зонированной плоскопараллельной электродной системой при нагреве обратного молока, учитывающее процесс теплового движения обрабатываемой среды в межэлектродном пространстве, подтвердило высокую адекватность разработанной ММ (погрешность расчета по отношению к экспериментальным данным не превышает 4,3%).

При расчете конструктивных параметров электродных схем проточных ЭЭН-Д (рис. 1а) вначале определяется температура обрабатываемой среды θ_c , затем удельное сопротивление $\rho_\lambda(\theta_c)$, допустимая плотность тока $J_{доп}$ ($J_{доп} = f(\rho_\lambda(\theta_c))$) и межэлектродное расстояние $H(x)$ ($H(x) = K_3 \cdot U(x) / (J_{доп} \cdot \rho_\lambda(\theta_c))$,

где K_3 – коэффициент запаса по допустимой плотности тока;

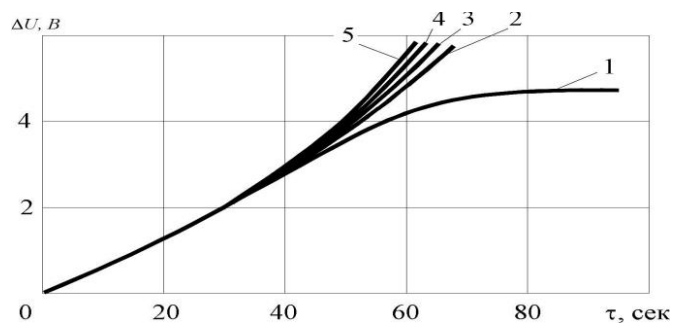
$U(x)$ – напряжение на k -й зоне на расстоянии x от начала ЭЭН-Д, В.

Межэлектродное расстояние $H(x)$ для последующих секций длиной h рассчитывают аналогично, однако при этом температуру обрабатываемой среды на входе для последующей секции определяют исходя из уравнения (1), а напряжение $U(x)$ ($U(x) = U_k$) определяется решением системы уравнений (2) [11].

При расчете непроточного ЭЭН-Д необходимо рассчитать требуемую мощность нагревателя, которая определяет суммарное время нагрева τ_p . Поскольку изменение длины зон нагрева L_1, L_2, \dots, L_N и межэлектродных расстояний H_1, H_2, \dots, H_N оказывает существенное влияние на величину напряжения ИС, то для расчета ЭЭН-Д на требуемую величину мощности допустимо варьировать только шириной электродов $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_N$. На следующем этапе разработки ЭНУ с ЭЭН-Д проводится уточнение соотношения длины зон нагрева L_1, L_2, \dots, L_N и межэлектродных расстояний H_1, H_2, \dots, H_N с целью получения требуемого (или максимально возможного) значения величины напряжения ИС используя многопараметрическую оптимизацию.

Реализация разработанных алгоритма и программы технико-экономической оптимизации конструктивных параметров многозонного непроточного ЭЭН-Д [12] в ЭНУ подогрева обратного молока с 10 °С до 38 °С для выпойки телят позволила снизить приведенные затраты на 5,6% за счет использования ЭЭН-Д в сравнении с ЭНУ на базе ЭЭН, оснащенной датчиком температуры РТ-100(ТСП-100), подключенным к контроллеру АЛ2-14МР-А через адаптер АЛ2-2РТ-АДР.

Практическую значимость применения ЭЭН-Д представляет не только мощный ИС о температуре нагрева среды, существенно превосходящий ИС от серийно выпускаемых датчиков температуры, но и дополнительные свойства многофункциональности, являющиеся результатом контроля электротепловых процессов в межэлектродном пространстве с обрабатываемой средой. Например, снижение величины массового расхода обрабатываемой среды ниже допустимой величины, которое является одной из наиболее распространенных причин, приводящих к отклонениям режима нагрева проточных ЭЭН-Д от требований технологического процесса, несложно отслеживать по величине ИС (рис. 2). Образование отложений на электродах ЭЭН-Д приводит к образованию дополнительного электрического сопротивления на границе электрод-среда (рис. 3), что вызывает перераспределение напряжений на зонах ЭЭН-Д, отражается на величине ИС и позволяет контролировать процесс образования отложений на электродах [13]. Кипение сопровождается образованием у верхнего электрода пузырьков пара, которые увеличивают сопротивление смеси вода-пар и приводят к изменению величины ИС разбаланса моста (рис. 4) [14].



1 – $G=0,002$ кг/с; 2 – $G=0,0015$ кг/с; 3 – $G=0,001$ кг/с;
4 – $G=0,0005$ кг/с; 5 – $G=0$ кг/с

Рисунок 2. Зависимости изменения напряжения разбаланса моста ΔU пятизонного ЭЭН-Д во времени τ при:
 $H=0,006$ м; $\Pi=0,04$ м; $\rho_0=37,9$ Ом·м; $\alpha=-0,009$ 1/°С;
 $L_1=0,161$ м; $L_2=0,126$ м; $L_3=0,119$ м;
 $L_4=0,114$ м; $L_5=0,11$ м

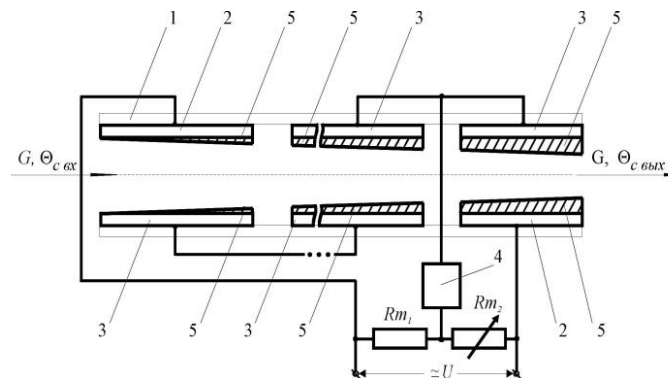
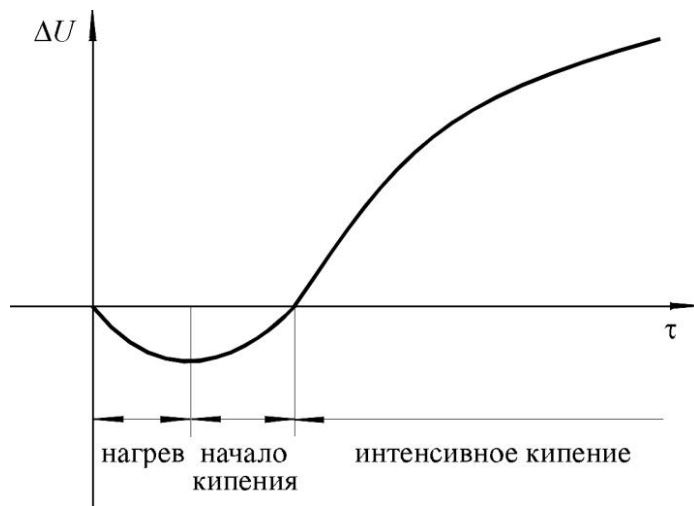
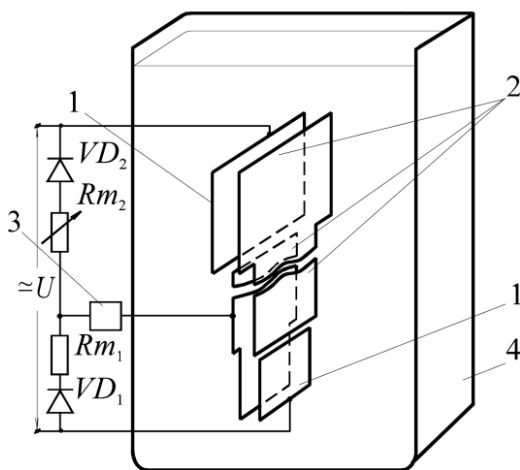


Рисунок 3. ЭТС проточного многозонного ЭЭН-Д с отложениями на электродах: 1 – корпус; 2 – основные токоподводящие электроды; 3 – промежуточные электроды; 4 – отложения на электродах; 5 – управляющий элемент САР; R_{m1} , R_{m2} – термoneзависимые сопротивления измерительного моста



а

б

Рисунок 4. ЭТС непроточного ЭЭН-Д с зонированной электродной системой при работе в режиме кипения (а); изменение ИС ΔU при переходе режима работы ЭЭН-Д от нагрева к кипению (б); 1 – основные токоподводящие электроды; 2 – промежуточные электроды; 3 – управляющий элемент САР; 4 – емкость; R_{m1} , R_{m2} – термoneзависимые сопротивления измерительного моста; VD_1 , VD_2 – диоды для получения ИС о кипении в межэлектродном пространстве

Заключение

1. Разработанные методики и алгоритмы расчета статических и динамических характеристик основных электротепловых схем ЭЭН-Д, обеспечивающие допустимые плотности тока в межэлектродном пространстве нагревателей и заданную интенсивность нагрева сред, показали высокую адекватность характеристик. Для проточного ЭЭН-Д (на примере нагрева воды) погрешность не превысила 8,3% относительно экспериментальных данных. Для непроточного ЭЭН-Д (на примере нагрева обратного молока) погрешность не превысила 4,3% относительно экспериментальных данных.

2. Многопараметрическая оптимизация ЭЭН-Д с непроточным ЭЭН-Д при подогреве обратного молока с 10 °С до 38 °С для выпойки телят позволила снизить приведенные затраты на 5,6% в сравнении с ЭЭН-Д на базе ЭЭН, оснащенной датчиком температуры PT-100(TSP-100), подключенным к контроллеру AL2-14MR-A через адаптер AL2-2PT-ADP.

3. Выявленные дополнительные свойства многофункционального использования ЭЭН-Д позволяют защитить ЭЭН-Д от аварийных режимов работы, контролировать образование отложений на электродах и интенсивность кипения.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ
ИСТОЧНИКОВ**

1. Кудрявцев, И.Ф. Электрический нагрев и электротехнология / И.Ф. Кудрявцев, В.А. Карасенко. – Минск: Колос, 1975. – 384 с.

2. Герасимович, Л.С. Разработка научно-технических основ низкотемпературного поверхностно-распределенного электронагрева в сельском хозяйстве: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.02 / Л.С. Герасимович. – Челябинск, 1982. – 45 с.

3. Шишнина, Н.Г. Сравнительная характеристика электродных водонагревателей для сельскохозяйственного производства / В.А. Глухарев, Н.Г. Шишнина // Вестник Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова. – 2007. – № 2. – С. 48-50.

4. Птицына, Е.В. Низковольтные электродные водоподогреватели с питанием током сложной формы / Е.В. Птицына, Д.В. Птицын, А.Б. Кувалдин // Омский научный вестник. – 2018. – № 2 (158). – С. 20-27.

5. Прищепов, М.А. Основы термозависимого резистивного электронагрева в технологических

процессах сельскохозяйственного производства / М.А. Прищепов. – Минск: БАТУ, 1999. – 295 с.

6. Герасимович, Л.С. Математическое моделирование динамических характеристик секционированных проточных электродных электронагревателей / Л.С. Герасимович, М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Проблемы развития энергетики и электрификации АПК: сб. науч. тр. / БелНИИагроэнерго. – Минск, 1994. – С. 17-25.

7. Прищепов, М.А. К вопросу совершенствования непроточных электродных нагревателей-датчиков с зонированной плоскопараллельной электродной системой / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Агропанорама. – № 1. – 2002. – С. 9-11.

8. Прищепов, М.А. Повышение эффективности электротепловой обработки термолабильных сред / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Материалы, технологии, инструменты. – 1997. – № 1. – С. 52-55.

9. Прищепов, М.А. Оптимизация информационной чувствительности емкостных электродных электронагревателей-датчиков / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский, Wojciech Tanas // Aktualne problemy inzynierii rolniczej w aspekcie integracji Polski z unia Europejska: Jubileuszowa miedzynarodowa konferencja naukowa, XXX lat Wydzialu Techniki Rolniczej AR w Lublinie, Lublin, 13-14 wrzesnia 2000 r. – Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie, 2000. – S. 151-153.

10. Прищепов, М.А. Исследование температурной зависимости удельного сопротивления обратного молока при изменении его кислотности и содержания в нем хлорида натрия / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Агропанорама. – 2023. – № 1. – С. 35-40.

11. Прищепов, М.А. Расчет конструктивных параметров проточных электродных электронагревателей с секционированными и зонированными электродными системами / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Агропанорама. – 2023. – № 2. – С. 16-22.

12. Прищепов, М.А. Технично-экономическая оптимизация параметров электродных электронагревателей-датчиков / М.А. Прищепов, И.И. Гургенидзе, И.Г. Рутковский // Агропанорама. – 2006. – № 3. – С. 20-24.

13. Прищепов, М.А. Математическое моделирование работы проточных многозонных электродных электронагревателей-датчиков при наличии отложений на электродах / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Агропанорама. – 2023. – № 5. – С. 23-31.

14. Электронагреватель токопроводящих сред: пат. ВУ 13705 / М.А. Прищепов, А.Н. Кубарко, И.Г. Рутковский. – Опубл. 29.07.2010.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 07.12.2023

ПОВЫШЕНИЕ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СТОКОВ ПОСТОВ МОЙКИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

М.А. Бойко,

ст. преподаватель каф. электроснабжения и электротехники БГАТУ

В статье рассмотрены различные установки для очистки сточных вод постов мойки автотракторной техники. Изложены методы их электрохимической очистки и обеззараживания. Исследовано влияние материала электродов на эффективность очистки. Обосновано обеззараживающее действие анолита и католита на сточные воды.

Ключевые слова: сточные воды, очистка, нефтепродукты, электрокоагуляция, флотация, обеззараживание, плотность тока, напряженность электрического поля, анолит, католит.

The article considers various installations for wastewater treatment of automotive equipment washing stations. Methods of their electrochemical cleaning and disinfection are described. The effect of the electrode material on the cleaning efficiency is investigated. The disinfecting effect of anolyte and catholyte on wastewater is proved.

Key words: wastewater, treatment, oil products, electrocoagulation, flotation, disinfection, current density, electric field strength, anolyte, catholyte.

Введение

Одним из наиболее распространенных и опасных загрязнителей водных ресурсов являются нефтепродукты. Этому способствует широкое использование нефти и ее продуктов в различных отраслях экономики, в том числе и в сельском хозяйстве. К примеру, в сточных водах машинных дворов сельскохозяйственных организаций содержание нефтепродуктов может составлять от 200 до 350 мг/л [1]. Современные системы очистки сточных вод автомоек укомплектованы в основном оборудованием с фильтрующими элементами грубой и тонкой очистки. Они обеспечивают очистку до 85 – 97 % загрязнений, находящихся во взвешенном состоянии. Бессточные системы очистки уменьшают расход водных ресурсов и обеспечивают более надежную защиту гидросферы от загрязнений. Замкнутая система водоснабжения моек с очисткой до допустимых для моечного оборудования норм загрязнений наиболее подходит при использовании безреагентных (нехимических) способов очистки.

Исследованию процессов очистки и обеззараживания сточных вод различных производств посвящены работы В.И. Ильина, А.В. Едчика, С.А. Дубенок, В.А. Колесникова, Б.С. Ксенофонова, В.А. Проскуракова, О.В. Смирнова [2-7].

В настоящее время в агропромышленном комплексе Республики Беларусь при очистке сточных вод в основном применяются биологические способы. К устройствам биологической очистки относятся: аэротенки, метатенки, окситенки, биофильтры. Биочистка основана на поглощении аэробными или анаэробными микроорганизмами некоторых загряз-

нений органического и неорганического характера. Сточные воды, содержащие данные загрязнения, являются питательной средой для микроорганизмов, продукты жизнедеятельности которых выводятся из стоков в виде активного ила. Однако присутствие в исходной воде загрязнений техногенного характера – нефтепродуктов, синтетических моющих средств и других поверхностно активных веществ, а также тяжелых металлов (медь, серебро, бром, фтор) и хлора приводит к задержке (вплоть до полной остановки) роста разлагающих загрязнения микроорганизмов и, как следствие, к снижению качества очищенной воды.

Цель работы – повысить степень очистки и обеззараживания сточных вод постов мойки автотракторной техники и сельскохозяйственных машин от нефтепродуктов применением электротехнологических методов.

Основная часть

В Республике Беларусь используются установки для очистки сточных вод автомоек российского (АРОС, УКОС, МОЙДОДЫР, ОСМА) и немецкого (KARCHER HDR и др.) производства (таблица). Практически все они требуют наличия отстойника – накопителя для временного хранения сточных вод, их отстоя и осаждения твердых минеральных загрязнений, нефтепродуктов, а большинство из них – наличия реагентного хозяйства. В качестве реагента используется сернокислый алюминий, железный купорос, импортные реагенты немецкого и итальянского производства. В качестве коагулянта применяется полиакриламид.

Таблица. Характеристика установок для очистки стоков автомоек [8-10]

Установка	Производительность, м ³ /ч	Степень очистки, %	Установленная мощность, кВт	Производители
АРОС-1 (реагентная обработка, электрокоагуляция, фильтрация)	1,0	94	2,4	ООО «Новые технологии», РФ
АРОС-5 К	5	97	3,8	
АРОС-10	10	95	4,2	
ОСМА -3,0 (реагентная обработка, электрокоагуляция, фильтрация)	3	97	2,3	«Национальные водные ресурсы», РФ
Радуга-500 (напорная фильтрация)	20	92	22,4	«ЭКОС», РФ
Скат-4,1 (биокоагуляция, напорная фильтрация)	4,4	95	4,4	«АКВОСЕРВИС», РФ
А-4 (реагентная обработка, фильтрация)	4,0	95	2,5	НИИ «ВОДГЕО», РФ
УКОС АВТО-6 (электрокоагуляция с алюминиевыми электродами, фильтрация)	6,5	97	10,0	НИЦ «Потенциал-2», РФ
МОЙДОДЫР М-4, 8 (электрокоагуляция, флотация, фильтрация)	4-8	95	11-16	ЗАО «ЭПФК «МОЙДОДЫР», РФ
МО – 1,5 (реагентная обработка, УФ-облучение, обеззараживание гипохлоритом натрия)	1,5	97	5,8	ООО «СТРОЙПРОЕКТ – МО», РФ
KARCHER HDR 555	0,2	85	0,6	Германия
KARCHER HDR 777	0,6	85	1,2	

Системы очистки KARCHER HDR используют для регенерации загрязненных маслами сточных вод, применяя специальные реагенты. Зарубежное очистное оборудование для автомойки компактно, но имеет малую производительность. Стоимость реагентов, используемых в установке, очень высокая и в условиях санкций ЕС импортировать их сложно.

После мойки с применением синтетических моющих средств, находящиеся в стоках нефтепродукты переходят в стойкие эмульсии. Их удаление с помощью нефтеловушек различных модификаций и фильтров, механическим или химическим способами малоэффективно.

Проведенные исследования по очистке стоков после мойки автотракторной техники и сельскохозяйственных машин показали высокую эффективность метода электрофлотокоагуляции [11-13].

Для проведения опытов была разработана и изготовлена экспериментальная установка – электролизер, представляющая собой ячейку со сменными электродами, которая питается от источника постоянного тока. Электролиз модельных сточных вод, содержащих до 50 мг/л углеводородных примесей, проводился в электрическом поле постоянного тока с алюминиевыми электродами (АМцМ) при плотности тока – 120...170 А/м², напряженности электрического поля – 1700-2000 В/м, а также со стальными электродами (СтЗ) при плотности тока – 200...300 А/м², напряженности электрического поля – 2400-3000 В/м. Продолжительность электрообработки стоков составляла 20 мин., их объем – 2 л. Результаты исследований представлены на рисунке.

В установке происходит анодное растворение электрода и электрохимическое образование коагу-

лянта (в зависимости от материала электродов это может быть хлорное железо, железный купорос, серноокислый алюминий). Электролизер отличается компактностью, простотой управления и обслуживания. В нем одновременно с электрокоагуляцией происходит электрофлотация скоагулировавших частиц. Углеводородные загрязнения поднимаются на поверхность пузырьками водорода, выделяющимися на катоде. При этом отсутствует потребность в дополнительных помещениях для хранения реагентов, уменьшаются экономические затраты на мойку, а эффективность очистки увеличивается.

Применение алюминиевых электродов оказалось более эффективным по сравнению со стальными. Электрокоагуляция загрязнений проходила примерно в 1,4 раза быстрее. Однако незначительная экономия затрат на электроэнергию при использовании алюминиевых электродов уступает их стоимости по сравнению с электродами из стали. Электрокоагуляторы с алюминиевыми пластинчатыми электродами следует применять для очистки сточных вод с высокой концентрацией нефтепродуктов (10 г/л и более) [1; 5, 6]. В результате электрообработки концентрация углеводородных и других органических загрязнений за 20 минут снизилась практически до 0,5-0,2 % (следы) (рисунок). Механические примеси выпали в осадок в результате отстоя, их концентрация составила не более 5-10 мг/л.

В используемой для мойки грузовых автомобилей осветленной производственной сточной воде концентрация механических примесей не должна превышать 70 мг/л, для мойки легковых автомобилей и автобусов – 40 мг/л. Концентрация нефтепродуктов не должна превышать, соответственно, 20 и 15 мг/л [10].

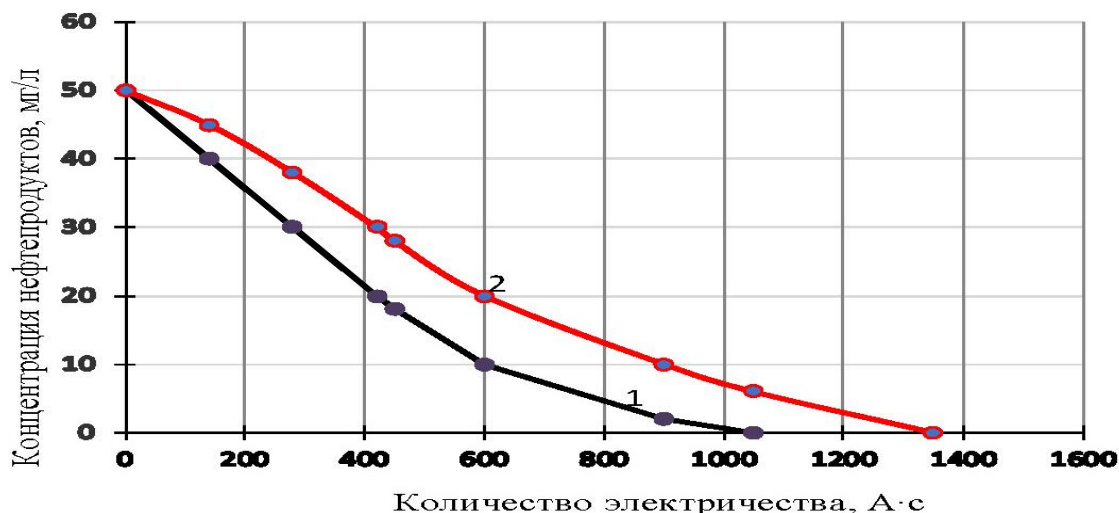


Рисунок. Зависимость концентрации нефтепродуктов в электролизере от количества электричества при использовании алюминиевых и стальных электродов: 1 – электроды из алюминия; 2 – электроды из стали

После вывозки органики на поля и мойки сельскохозяйственной техники в сточных водах присутствуют патогенные микробы. С целью устранения опасности их распространения при использовании очищенной воды в оборотном водоснабжении применяются различные способы обеззараживания. Наиболее часто используются – химические (хлорирование, озонирование), физические (термическая, ультразвуковая обработка, ультрафиолетовое излучение) [2-7; 10].

В ходе исследования обеззараживающее действие анолита и католита (продукты электрохимической активации) на сточные воды машинных дворов показало высокие результаты [1; 11].

Способ обеззараживания анолитом заключается в следующем. Для получения анолита слабоминерализованный водный раствор хлорида натрия (5-7 мг/л) был обработан в диафрагменном электрохимическом реакторе. Диафрагма в виде пористой диэлектрической перегородки между электродами реактора препятствует смешиванию объемов воды (растворов) в анодной и катодной камерах. В то же время она обеспечивает ионный обмен между этими объемами. В результате обработки в катодной камере реактора вода насыщается продуктами катодных электрохимических реакций, обычно гидроксидами металлов, образовавшимися из растворенных солей, гидроксид-ионами, водородом. При анодной обработке вода в анодной камере насыщается продуктами окисления, в том числе кислотами, синтезированными из растворенных солей, перекисью водорода, кислородом, хлором (т.е. анолит насыщен высокоактивными окислителями).

В нашем опыте концентрация активного хлора в анолите достигала 4250 мг/л. Показатель pH анолита в зависимости от электрического заряда доводился в одном случае от 2,5 до 3,5 (электроды из нержавеющей стали Х18Н10Т, напряженность электрического поля $E = 700$ В/м, плотность тока $j = 830$ А/м²), в другом – от 5,5 до 7,0 (электроды из низкоуглеродистой стали Ст3, напряженность электрического поля $E = 300$ В/м, плот-

ность тока $j = 800$ А/м²). В анодной камере происходит электрокаталитическое окисление органических примесей воды, их деструкция и уничтожение микроорганизмов.

Опыты по обработке оборудования, сточных вод, загрязненных бактерицидной и вирусной микрофлорой, показали положительные результаты после их обеззараживания анолитом [1; 11]. Анолит АНК (нейтральный) и анолит АН (кислый), католит с pH = 12 предназначены для дезинфекции и мойки тракторных прицепов и другой сельскохозяйственной техники, оборудования, инструментов. Перед применением анолита поверхности обрабатываемого объекта должны быть очищены от пыли, навоза и других загрязнений.

Антимикробная активность анолита и католита была определена в микробиологической лаборатории. Испытания вышеназванных образцов электрохимической активации проводились согласно общепринятым методикам и указаниям по исследованию действия антисептиков и дезинфицирующих средств на различные микроорганизмы (инструкция БелСЭС №11-20-2004). Данная методика основана на ингибировании (подавлении) роста тест-культур микроорганизмов. Продукты электрохимической активации показали высокий антимикробный эффект: католит – по отношению к грамотрицательным бактериям *Esherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и анолит – к грамположительным бактериям *Staphylococcus aureus*.

Устойчивое обеззараживание сточных вод с колииндексом 5000-15000 достигается при смешивании их в равных объемах с анолитом, имеющим pH = 3, концентрации активного хлора – 3...5 мг/л. Достаточно сильное обеззараживающее действие анолита на вышперечисленные тест-штаммы микроорганизмов было проявлено и при больших значениях pH, близких к 7,0. В этом случае концентрации гипохлорит-ионов и хлорноватистой кислоты примерно одинаковы, а расход количества электричества – в 2, 3 раза меньше. Общее микробное число (титр КОЕ) в 1 мл

питательного раствора, приготовленного по вышеизложенной методике, было равно нулю уже при концентрации активного хлора – 5 мг/л и рН анолита – 6,5.

При этом катодная вода (католит) обладает высоким рН и, соответственно, моющими свойствами. Она может направляться на повторное использование в моечную установку, а анодная вода (анолит), обладающая бактерицидными свойствами, собирается для обеззараживания инфицированных сточных вод, обработки сельскохозяйственной техники, задействованной на вывозке органических удобрений или в других целях, как дезинфицирующее средство. С учетом замкнутых систем использования воды на моечные цели, характера загрязнений сточных вод работа электроактиватора регулируется в зависимости от потребности в анолите. В случаях отсутствия в стоках бактерицидных загрязнений, их электрохимическая обработка проводится без межэлектродной перегородки.

Исследовалась также и очистка с использованием переменного электрического поля. Через обрабатываемую среду пропускали переменный электрический ток. Применение в этом случае мембранной перегородки существенного эффекта не оказало. В обеих камерах рН был одинаковый, близкий к нейтральному. Однако в этом случае для достижения того же эффекта очистки удельный расход электроэнергии увеличился почти в 1,5 раза [12, 13]. Низкую эффективность обработки стоков в переменном электрическом поле подтверждают и исследования других авторов [14, 15].

По сравнению с переменным током бактерицидное действие постоянного тока на микроорганизмы возрастает с уменьшением температуры обработки. Воздействие постоянного электрического тока и ионов H^+ и OH^- (при разделении камеры электролизера мембраной на анодную и катодную) усиливает антимикробное действие в 100 раз [15].

Заключение

1. Применение электрохимического способа очистки сточных вод постов мойки автотракторной техники с электрофлоккоагуляцией позволяет увеличить степень очистки от углеводородных загрязнений с 95 до 99,8 %.

2. Для одновременного обеззараживания сточных вод машинных дворов сельскохозяйственных организаций очистка предпочтительна применением способа электрохимической обработки с разделением катодной и анодной камер диафрагменной перегородкой. Обеззараживающее действие на бактерицидную микрофлору сточных вод и оборудование имеют продукты электрохимической активации – анолит кислый с рН = 3,0 и концентрацией в нем активного хлора 4...7 мг/л и анолит нейтральный с рН = 6,5 с такой же концентрацией активного хлора, а также католит с рН = 12,0. Установлено, что количество электричества на приготовление нейтрального анолита в 2,3 раза меньше, чем анолита кислого. Общее микробное число (титр КОЕ) равно нулю при концентрации активного хлора – 5 мг/л и рН анолита – 6,5.

3. Обеззараживание сточных вод переменным электрическим током для достижения того же эффекта, что и постоянным, требует увеличения удельного расхода электроэнергии на 40 – 50 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Крутов, А.В. Обеззараживание сточных вод машинных дворов продуктами электрохимической активации / А.В. Крутов, М.А. Бойко // Перспективы и направления развития энергетики АПК: материалы Междунар. науч.-технич. конф., Минск, 23-24 ноября 2007 г. / Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т ; под ред. М.А. Прищепова. – Мн.: БГАТУ, 2007. – С. 246-249.

2. Ильин, В.И. Электрохимическая очистка промышленных сточных вод с оборотным циклом / В.И. Ильин, В.А. Колесников // Химическая технология. – 2002. – № 1. – С.31-35.

3. Ксенофонов, Б.С. Флотационная очистка сточных вод / Б.С. Ксенофонов. – М.: Новые технологии, 2003. – 160 с.

4. Едчик, А.В. Наилучшие доступные технические методы для очистки сточных вод / А.В. Едчик, С.А. Дубенок // Экология. – 2021. – № 1. – С. 96-107.

5. Removal of toxic pollutants from pulp mill effluents by electrocoagulation / M. Vepsäläinen [et al] // Purif. Technol. – 2011. – Vol. 9. – P. 141-150.

6. Katal, R. Influence of different combinations of aluminum and iron electrode on electrocoagulation efficiency: Application to the treatment of paper mill wastewater / R. Katal, H. Pahlavanzadeh // Desalination. – 2011. – Vol. 265. – P. 199-205.

7. Проскуряков, В.А. Очистка нефтепродуктов и нефтесодержащих вод электрообработкой / В.А. Проскуряков, О.В. Смирнов. – СПб: Химия, 1992. – 112 с.

8. Можаяев, Л.В. Современные технологии и оборудование для очистки сточных вод после мойки автомобилей / Л.В. Можаяев, В.К. Романов // Сантехника, отопление, канализация. – 2006. – № 3. – С.25-29.

9. Тихонов, И.А. Водно-химический режим автомойки. Оборотно-водоснабжение / И.А. Тихонов // Журнал СОК. – 2022. – № 5. – С.18-21.

10. Тихонов, И.А. Водно-химический режим автомойки. Оборотно-водоснабжение / И.А. Тихонов // Журнал СОК. – 2022. – № 6. – С.44-45.

11. Крутов, А.В. Обеззараживание дренажных вод при выращивании овощей способом малообъемной гидропоники / А.В. Крутов, М.А. Бойко, В.В. Боровская // Агропанорама. – 2011. – № 5. – С.13-16.

12. Крутов, А.В. Математические модели силового воздействия переменного электромагнитного поля на водные дисперсные системы / А.В. Крутов, М.А. Бойко // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы Междунар. науч.-технич. конф., Минск, 23-24 октября 2009 г. / Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т; под ред. М.А. Прищепова: в 2-х ч. – Мн.: БГАТУ, 2009. – Ч. 1. – С. 167-170.

13. Крутов, А.В. Доочистка стоков постов мойки автотракторной техники применением метода электрофлокоагуляции / А.В. Крутов, М.А. Бойко, М.М. Суворов // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 24-25 ноября 2011 г. / Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т ; под ред. М.А. Прищепова. – Минск: БГАТУ, 2011. – С. 210- 213.

14. Salman, Hussein Abbas. Electrocoagulation Technique Used To Treat Wastewater: A Review / Hussein Abbas Salman // American Journal of Engineering Research (AJER). – 2018. – Vol. 7. – № 10. – P. 74-88.

15. Николаенок, М.М. О влиянии электрического тока на микроорганизмы в органических средах / М.М. Николаенок, П.В. Кардашов, Е.Е. Заяц // Агропанорама. – 1997. – № 4. – С.32-34.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 04.01.2024

УДК 658.345:681.3:621.315

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2024-161-1-33-38>

К ВОПРОСУ РАСПОЗНАВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПО НАВОДИМОМУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ПОЛЮ

В.В. Русских,

аспирант факультета «Технический сервис в АПК» БГАТУ

Г.И. Белохвостов,

доцент каф. управления охраной труда БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.Г. Андруш,

зав. каф. управления охраной труда БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.И. Зеленкевич,

зав. каф. электроснабжения и электротехники БГАТУ, канд. техн. наук

Статья посвящена решению актуальной научно-практической задачи – обеспечению электробезопасности при работе крупногабаритной сельскохозяйственной техники (КСХТ) под линиями электропередачи (ЛЭП) путем разработки устройства, сигнализирующего о приближении к ним. Представлена классификация устройств и способов определения приближения техники к ЛЭП. Предложен метод зеркальных проекций расчета напряженности электрических и магнитных полей, создаваемых ЛЭП. Произведен расчет тормозного пути комбайна и порога срабатывания разработанного сигнализатора. Приведены результаты расчета напряженностей электрического и магнитного поля ЛЭП напряжением 110кВ. Выполнен сравнительный анализ теоретических и полученных экспериментальных данных. Дана оценка соответствия расчетных данных экспериментальным.

Ключевые слова: сельское хозяйство, обнаружение линий электропередачи, крупногабаритная сельскохозяйственная техника, сигнализатор, электромагнитное поле.

The paper is devoted to the actual scientific and practical problem – electrical safety when operating large-sized agricultural machinery (LSAT) under electric power lines (EPL) by developing a device that signals an unsafe distance to the power line. A classification of devices and methods for detecting the proximity of machinery to power lines is presented. The method of mirror projections for calculating the intensity of electric and magnetic fields created by power lines is proposed. The calculation of the combine harvester braking distance and the threshold of the developed signalling device operation is made. The results of the calculations of electric and magnetic field strengths of 110 kV power line are given. A comparative analysis of theoretical and experimental data obtained by the authors is carried out. The conformity of the calculated data to the experimental ones is assessed.

Key words: agriculture, power line detection (PLD), large-sized agricultural machinery (LSAM), signaling device, electromagnetic field.

Введение

Предоставление прав и гарантий работникам сельскохозяйственного производства в сфере охраны труда, формирование условий для достойной трудовой деятельности, приносящей удовлетворение работнику и пользу окружающим, является одним из основных направлений социальной политики страны.

В начале XIX века были созданы первые рабочие прототипы тракторов, комбайнов и другой крупногабаритной сельскохозяйственной техники с целью повышения эффективности и снижения затрат ручного труда [1, 2]. Наряду с положительным эффектом это привело к повышению требований к квалификации работников и увеличению риска для здоровья и жизни людей.

Сельское хозяйство входит в число отраслей с вредными и опасными условиями труда. В своей трудовой деятельности операторы КСХТ подвергаются влиянию разного рода опасных производственных факторов, нередко приводящих к потере трудоспособности и гибели. По ходу движения техники возникают опасные зоны, границы которых определяются скоростью движения, габаритами и массой транспортного средства, временем реакции водителя, эффективностью тормозного устройства и коэффициентом сцепления шин с поверхностью дороги [3].

Наиболее сложными и ответственными этапами в производственном процессе работников агропромышленного комплекса являются посевные работы, заготовка кормов и уборка зерновых культур. Их организация и осуществление требуют от работодателей принятия хорошо обдуманных управленческих решений, нацеленных на получение максимального результата по производству сельскохозяйственной продукции [4, 5].

Машины и агрегаты, используемые для производства и послеуборочной обработки продукции растениеводства, должны быть технически исправны и отвечать требованиям безопасности при эксплуатации, а также полностью укомплектованными защитными ограждениями, устройствами сигнализации, отрегулированными агрегатами и механизмами, приборами, противопожарным инвентарем [6].

Одна из опасных ситуаций возникает при приближении поверхности машинно-тракторного агрегата (МТА) к проводу линии электропередачи, что может вызвать электротравму механизатора. Причинами травм в зоне ЛЭП при выполнении работ на МТА являются контакты с провисшими и оборванными проводами, либо приближение к ним на недопустимое расстояние [7].

К сожалению, в связи с низкой квалификацией или пренебрежением правилами охраны труда работниками, недостаточным контролем и управлением со стороны руководителей сельскохозяйственных организаций, несчастные случаи происходят ежегодно [8].

С развитием науки и техники были достигнуты определенные успехи в вопросе электробезопасности при работе техники в зоне ЛЭП, особенно это касается эксплуатации грузоподъемных механизмов, используемых в строительной отрасли (строительные краны), а также в железнодорожном транспорте. Главной причиной электротравматизма является невыполнение операций по проверке отсутствия напряжения в местах проводимых работ при помощи указателей напряжения. Ввиду отсутствия на сегодняшний день таких разработок и исследований в области сельского хозяйства, обеспечение электробезопасности при работе КСХТ под ЛЭП является актуальной проблемой, требующей решения задач более узкого круга и дополнительных исследований.

Вопросы расчета электрических и магнитных полей от ЛЭП описаны в трудах Жилейкина М.М., Рощина В.А., Парахина А.М., Долина П.А., Косарева И.А., Морозова А.С. и других ученых [9-12; 23].

Целью настоящей работы является обеспечение электробезопасности при работе крупногабаритной сельскохозяйственной техники под ЛЭП путем разработки устройства, сигнализирующего о приближении к ЛЭП.

Основная часть

Для предотвращения приближения КСХТ на недопустимое расстояние к ЛЭП используются различные устройства, способные их обнаруживать (рис 1).

Фотообрабатывающие дальнометры. 1. Анализ снимка с фотокамеры с использованием метрических и угловых размеров и алгоритма, позволяющего находить удаленность от одного объекта до другого.

Если объект имеет небольшие размеры или не обладает определенной формой, то для анализа создается модель движения объекта по нескольким кадрам, и расстояние до него определяется на основании метрического и углового смещения объекта. В результате имеется способ определения расстояния до удаленных

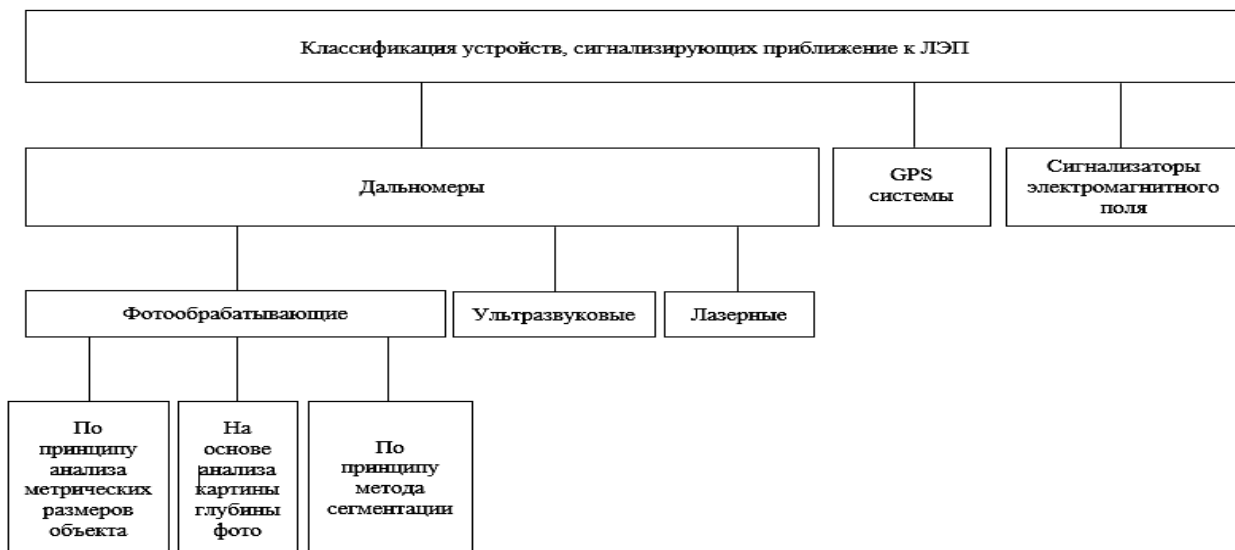


Рисунок 1. Классификация устройств, сигнализирующих приближение к ЛЭП

объектов с помощью видеокамеры, без предварительной калибровки ее местоположения [13].

2. *Анализ изображения в цветовых каналах и картинах глубины.* Специалистами Финансового университета при Правительстве Российской Федерации [14] был разработан алгоритм, который позволяет находить дальность от одного объекта до другого, анализируя изображение в цветовых каналах и картинах глубины. Первое изображение соответствует цветовому фрейму, т.е. является таким, каким его знает обычный обыватель, а на втором демонстрируются возможности современных камер, с получением снимка с картиной глубины.

3. *Метод сегментации изображений.* При помощи разработанного алгоритма происходит обработка изображения с камеры, в результате которой на изображении появляются границы всех объектов [15].

Ультразвуковые дальнометры. Принцип работы датчика схож с навигационной эхолокацией летучих мышей. Создаются обособленные звуковые импульсы ультразвукового диапазона, недоступные человеческому уху. Как только данный звук достигает ближайшей границы объекта, находящегося напротив, то он отражается от нее по принципу возникновения эхо. Затем датчик, принимающий отраженный сигнал, вычисляет расстояние до объекта, от которого произошло отражение. Однако в связи с малой площадью отражения проводов ЛЭП, этот способ предполагает значительные габариты антенны локатора, что не совсем приемлемо в нашем случае [16];

Лазерные дальнометры. Посредством лазерной триангуляции лазерный луч отражается от поверхности, на которую он направлен, и фиксируется линзой камеры. Мы временно отказались от этого метода, т.к. в данном случае необходимы: коллимированная среда с малой расходимостью и ручная наводка лазера на объект. Размеры проводов малы для замеров [17];

GPS системы. Работа подобных систем основывается на возможности получения данных о приближении к ЛЭП в местных отделениях электросетей или через глобальную навигационную спутниковую систему (ГНСС);

Сигнализаторы электромагнитного поля. Обнаружение ЛЭП происходит по наводимому электрическому и магнитному полю, с фиксированием некомпенсированной составляющей, которая используется для обнаружения ЛЭП. Подобный принцип применяется на небольших расстояниях, так как поля от различных проводов на большом расстоянии взаимно компенсируются, и используется в малогабаритных устройствах (например, в устройстве защиты строительного крана от опасного напряжения).

Использование сигнализаторов электромагнитного поля является, по мнению авторов, наиболее целесообразным для сельского хозяйства. При относительно небольших финансовых затратах он позволяет получить систему предупреждения о приближении к ЛЭП с удовлетворительными характеристиками.

Для достижения безопасного движения наземных транспортных средств под ЛЭП необходима их

идентификация на расстоянии, превышающем тормозной путь.

Согласно агротехническим требованиям, рекомендуемые рабочие скорости движения комбайнов находятся в следующих пределах [18, 19]:

- при уборке зерновых культур:
 - в валки – 6-8 км/ч;
 - при подборе валков – 4,5-8 км/ч;
 - при прямом комбайнировании – 3-8 км/ч;
- при уборке силосных культур – 5-12 км/ч;
- при уборке сахарной свеклы – 3-9 км/ч;
- при уборке картофеля – 1-5 км/ч.

Зная допустимую скорость, можно рассчитать тормозной путь комбайна (S_0), который при однократном нажатии на педаль рабочего тормоза и холдных тормозах должен быть не более, м

$$S_0 \leq 0,18 \cdot v_0 + v_0^2 / 90, \quad (1)$$

где v_0 – скорость в момент начала торможения, м/с [21];

0,18 (с) и 1/90 (c^2/m) – корректирующие коэффициенты [21].

В случае нагрева тормозов до температуры, превышающей 100 °С, расчетные значения S_0 следует увеличивать на 25 %.

Используя формулу (1) и рекомендации по выбору рабочей скорости комбайна [18-20], получим значение тормозного пути S_0 – 2,15 м (с учетом нагрева тормозов – 2,69 м).

Для определения эффективности обнаружения ЛЭП по наводимому электрическому полю разработанным авторами устройства [22] опытным путем было зафиксировано расстояние до ЛЭП (S), при котором прибор начинает срабатывать (порог срабатывания) – 11 м.

Проведем сравнение полученного значения S_0 и порога срабатывания прибора: $S/S_0 = 11/2,69 = 4,08$ раза.

Экспериментальными исследованиями установлено, что метод обнаружения ЛЭП по наводимому электрическому полю оказался наиболее оптимальным и доказал свою эффективность. Порог срабатывания разработанного сигнализатора был выше, чем тормозной путь комбайна, в 4,08 раза, что позволяет своевременно предупредить оператора крупногабаритной техники о приближении к ЛЭП, обеспечив тем самым его защиту от поражения электрическим током.

Для определения сходимости теоретических и практических данных необходимо произвести расчет напряженности электрического и магнитного полей по параметрам ЛЭП, провести измерительные работы для получения действительных значений напряженности, сравнить расчетные и действительные значения с предельно допустимыми (установленными санитарными нормами и правилами ТКП). Было принято, что грозозащитный трос изолирован от опоры, т.е. не оказывает существенного влияния на электрическое поле проводов.

Согласно собранной статистике электротравматизма [8], наибольшее количество несчастных случаев зафиксировано под ЛЭП напряжением 110 кВ и 10 кВ.

Для расчета использовался метод зеркальных проекций (рис. 2) [11;23]. Напряженность поля рассчитывалась для ЛЭП напряжением 110кВ, на уровне двух метров от поверхности земли.

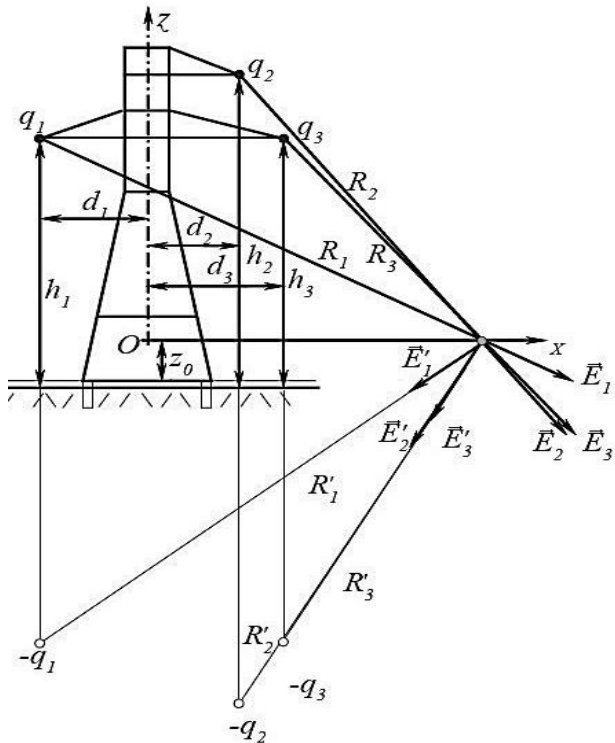


Рисунок 2. К расчету напряженности электрического и магнитного поля вблизи воздушной линии электропередачи: z_0 – высота точки наблюдения, м; h_1, h_2, h_3 – высота размещения проводов ЛЭП над поверхностью земли, м; R_1, R_2, R_3 – кратчайшие расстояния от провода до точки, в которой определяется напряженность, м; R'_1, R'_2, R'_3 – зеркальные отображения кратчайших расстояний от провода до точки, в которой определяется напряженность, м; d_1, d_2, d_3 – расстояния между осями соседних проводов линии, м; q_1, q_2, q_3 – заряды проводов, В/м; E_1, E_2, E_3 – напряженности электрических полей, проводов над поверхностью земли, В/м; E'_1, E'_2, E'_3 – напряженности вторичных полей, проводов над поверхностью земли, В/м

Согласно методике расчета, имеем следующие данные:

– для электрического поля:

$$|\vec{E}_i + \vec{E}'_i| = \frac{U_\phi l \cdot e^{j(i-1)\Delta}}{4 \ln \frac{2h_i}{a}} \sqrt{\frac{1}{R_i^4} + \frac{1}{R_i'^4} - \frac{1}{R_i^2 (R_i')^2}}, \quad (2)$$

где \vec{E}_i – напряженность электрического поля, i -го провода над поверхностью земли, В/м;

\vec{E}'_i – напряженность вторичного поля, i -го провода над поверхностью земли, В/м;

U_ϕ – класс напряжения ЛЭП, В;

l – длина анализируемого участка ЛЭП, м;

j – мнимая единица;

$\Delta = 120^\circ$ – фазовый сдвиг;

h_i – высота размещения i -го провода над поверхностью земли, м;

a – шаг расщепления проводов, м;

R_i – кратчайшее расстояние от i -го провода до точки, в которой определяется напряженность, м;

R'_i – зеркальное отображение кратчайшего расстояния i -го провода до точки, в которой определяется напряженность, м;

– для магнитного поля:

$$|\vec{H}_i + \vec{H}'_i| = \frac{I \cdot e^{j(i-1)\Delta}}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{R_i^2} + \frac{1}{(R'_i)^2} - \frac{1}{R_i^2 (R'_i)^2} \cos \psi}, \quad (3)$$

где \vec{H}_i – напряженность магнитного поля, i -го провода над поверхностью земли, А/м;

\vec{H}'_i – напряженность вторичного поля, i -го провода над поверхностью земли, А/м;

I – ток в i -м проводе;

ψ – угол, образованный векторами \vec{H}_i и \vec{H}'_i , град.

По полученным данным построены графики (рис. 3, 4).

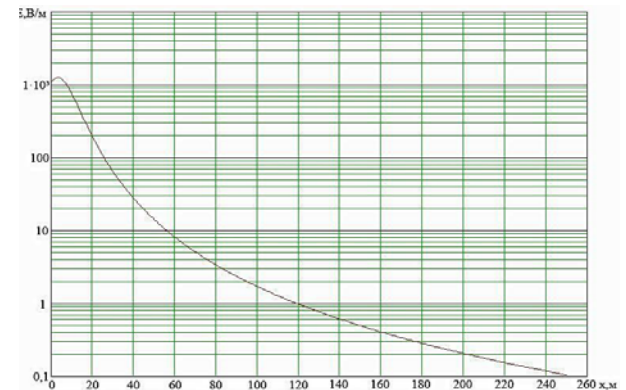


Рисунок 3. Распределение напряженности электрического поля ЛЭП в поперечном направлении к оси ЛЭП

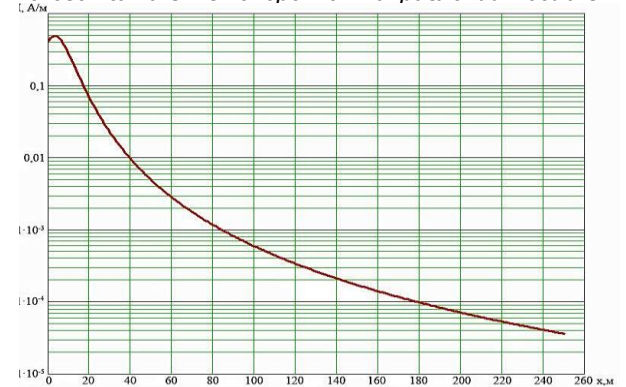


Рисунок 4. Распределение напряженности магнитного поля ЛЭП в поперечном направлении к оси ЛЭП

Для экспериментального определения напряженности электрического и магнитного поля ЛЭП использовался сертифицированный в Республике Беларусь измеритель напряженности электрических и магнитных полей ПЗ –80 (рис. 5).



Рисунок 5. Измеритель напряженности электрических и магнитных полей ПЗ-80

Для измерений была выбрана ЛЭП «Северная – Восточная» напряжением 110 кВ. Высота замера составляла 2 м.

На основании результатов замеров напряженности электрического и магнитного полей с использованием прибора ПЗ-80 построены графики распределения напряженности электрического и магнитного поля ЛЭП в поперечном направлении к оси ЛЭП (рис. 6, 7).

Анализ расчетных данных распределения напряженности электрического и магнитного полей ЛЭП напряжением 110 кВ в поперечном направлении к оси ЛЭП (рис. 4, 5) и данных, полученных экспериментальным путем (рис. 6, 7), показал высокую степень их соответствия.

Заключение

Выполнен анализ способов обнаружения ЛЭП и обоснован выбор для дальнейших исследований использования в крупногабаритной сельскохозяйственной технике способа обнаружения по электрическому полю.

Это в первую очередь связано с возможностью его использования на небольших расстояниях, т.к. поля от различных проводов на большом расстоянии

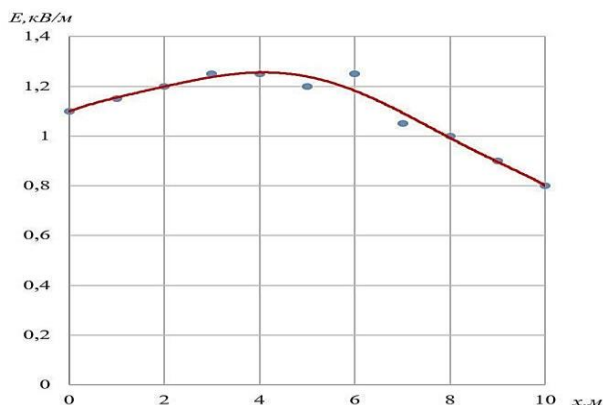


Рисунок 6. Экспериментальные данные распределения напряженности электрического поля ЛЭП в поперечном направлении к оси ЛЭП

взаимно компенсируются.

По результатам проведенного эксперимента с применением прибора ПЗ-80 сделан вывод о нелинейности полученных зависимостей. Картина распространения напряженности электромагнитного поля показывает, что с увеличением расстояния от проводов ЛЭП, его величина убывает. При измерениях магнитного поля наблюдается разброс показаний прибора, влияние на которые оказывают условия измерения и техногенная обстановка окружающей среды.

Полученные экспериментальные данные с учетом аппроксимации имеют достаточную сходимость с теоретическими, но для уточнения влияния помех от работы техники и получения большего массива экспериментальных данных необходимо провести серию опытов в полевых условиях при работающей КСХТ.

Предложено устройство, сигнализирующее о небезопасном расстоянии до ЛЭП, порог срабатывания которого превышает наименьшее расстояние торможения комбайна в 4 раза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Самый первый трактор в мире. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tractor-server.ru/samyj-pervyj-tractor-v-mire>. – Дата доступа: 20.12.2023.
2. Из истории развития зерноуборочной техники в XXI – первой половине XX века. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/iz-istorii-razvitiya-zernoubochnoy-tehniki-v-xix-pervoy-pолоvine-hh-veka>. – Дата доступа: 20.12.2023.
3. Система стандартов безопасности труда. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности: ГОСТ 12.2.002-91. – Взамен ГОСТ 12.2.002-81; введ. 1992.07.01. – Минск: Госстандарт, 2011. – 56 с.
4. Ермак, И.Т. Проблемы охраны труда в сельском хозяйстве и возможные пути их решения / И.Т. Ермак, А.К. Гармаза, С.В. Киселев // Переработ-

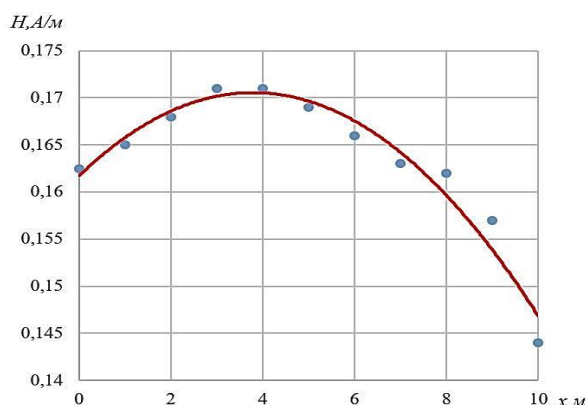


Рисунок 7. Экспериментальные данные распределения напряженности магнитного поля ЛЭП в поперечном направлении к оси ЛЭП

ка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сборник статей V Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 25-26 марта 2021 г./ Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – Минск: БГАТУ, 2021 – С. 153-155.

5. Проектирование воздушных и кабельных линий напряжением до 220 кВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tiberti.kz/services/proektirovanie/proektirovanie-vozdushnykh-i-kabelnykh-linij-napryazheniem-do-220kv/>. – Дата доступа: 20.12.2023.

6. Система стандартов безопасности труда. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности: ГОСТ 12.2.019-2015. – Взамен ГОСТ 12.2.019-2005; введ. 2017.11.01. – Минск: Госстандарт, 2017. – 20 с.

7. Машины сельскохозяйственные. Требования безопасности: ГОСТ ISO 4254-1-2015. – Ч. 1. Общие требования; введ. 2021.12.15.

8. Русских, В.В. Об актуальности оснащения крупногабаритной сельскохозяйственной техники устройствами сигнализации о приближении к воздушным линиям электропередач / В.В. Русских // Техника и технология пищевых производств: материалы XV Юбилейной Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 19-20 апреля 2023 г.: в 2 т./ Белорус. гос. ун-т пищевых и химических технологий. – Могилев: БГУТ, 2023. – Т. 2. – С. 320-321.

9. Косарев, И.А. Многофакторная оценка условий электробезопасности при выполнении путевых работ на электрифицированных железных дорогах: дис. ... канд. тех. наук: 05.26.01 / И. А. Косарев. – М., 2016. – 158 с.

10. Морозов, А.С. Повышение электробезопасности при эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 10 кВ путем разработки и внедрения средств бесконтактного контроля наличия напряжения на проводах: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.26.01 / А.С. Морозов; Национальный исследовательский ун-т «МЭИ». – М., 2005. – 20 с.

11. Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: учеб. пособие для вузов / П.А. Долин. – 3-е издание, перераб. и доп. – М.: «Знак», 2000. – 440 с.

12. Игаева, М. Л. Обнаружение воздушных линий электропередач по наведенному электрическому полю / М.Л. Игаева, А.В. Хабаров // Датчики и системы. – 2009. – № 4. – С. 35-37.

13. Измеритель дальности и размерных параметров объектов на основе цифровой фотокамеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/5009/1/09%D0%9A%D0%BE%D0%B7%D0%BB%D0%BE%D0%B2.pdf>. – Дата доступа: 20.12.2023.

14. Определение расстояния до объекта в зоне движения автомобиля, используя анализ видеоданных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1511/1511.07963.pdf>. – Дата доступа: 20.12.2023.

15. Способ определения расстояния до объекта при помощи камеры (варианты): патент № 2014137990/28; RU2602729C2 / И.С. Шишалов, Н.В. Погорский, А.В. Филимонов, О.А. Громазин.

16. Ультразвуковой дальномер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://yandex.ru/patents/doc/RU189788U120190604> – Дата доступа: 20.12.2023.

17. Русских, В.В. Классификация устройств-дальномеров, сообщающих расстояние до линий электропередач / В.В. Русских, Г.И. Белохвостов // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сборник науч. трудов. – Горки: БГСХА, 2023. – Вып. 8. – С. 138-141.

18. Технологии и техническое обеспечение производства: учеб. пособие / Т.А. Непарко, А.В. Новиков, И.Н. Шило; под общ. ред. Т.А. Непарко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 199 с.

19. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://belagromech.by/rekomendacii-rekomendacii-po-podgotovke-zernouborochnoj-tehniki-i-zernosushilnogo-hozjajstva-k-uborke-urozhaja>. – Дата доступа: 20.12.2023.

20. Регулировки зерноуборочного комбайна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.arrsagro.ru/regulirovki-zernouborochnogo-kombajna>. – Дата доступа: 20.12.2023.

21. Андруш, В.Г. Производственная безопасность в АПК. Лабораторный практикум: учеб. пособие / В.Г. Андруш, Т.П. Кот, О.В. Абметко. – Минск: БГАТУ, 2019. – 308 с.

22. Русских, В.В. К вопросу разработки устройства для сигнализации приближения к воздушным линиям электропередач / В.В. Русских [и др.] // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сборник статей VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 30-31 марта 2023 г.; ред.: В.Я. Груданов [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2023. – С. 303-305.

23. Дровбыш, В.Н. Экологический мониторинг состава почвы в зоне размещения высоковольтной ЛЭП / В.Н. Дровбыш, М.Ю. Маслов О.Ю. Сарокваша // Вестник Самарского гос. ун-та. Естественнонаучная серия. – 2006. – № 4. – С. 172-182.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 12.01.2024

КЛЮЧЕВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОДВИЖЕНИЯ АГРОПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ТОВАРОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ НА РЫНОК СИНГАПУРА

Н.В. Киреенко,

зав. каф. инновационного развития АПК Института повышения квалификации и переподготовки
кадров АПК БГАТУ, докт. экон. наук, профессор

В статье изучены нормативные и правовые основы формирования системы условий доступа агропродовольственных товаров Республики Беларусь на рынок Сингапура. Определены особенности национальной законодательства страны в области таможенно-тарифного и нетарифного регулирования в отношении государств – членов Евразийского экономического союза. Обоснованы ключевые параметры продвижения агропродовольственных товаров Республики Беларусь на рынок Сингапура.

Ключевые слова: система продвижения, условия доступа на рынок, таможенно-тарифное регулирование, нетарифное регулирование, агропродовольственные товары, прогноз, эффективность.

The article investigates the normative and legal basis for the formation of the system of access conditions for agri-food products of the Republic of Belarus to the market of Singapore. The specific features of the country's national legislation in the area of customs tariff and non-tariff regulation in relation to the member states of the Eurasian Economic Union are determined. The key parameters for promoting agri-food products of the Republic of Belarus to the market of Singapore are proved.

Key words: promotion system, market access conditions, customs and tariff regulation, non-tariff regulation, agri-food products, forecast, efficiency.

Введение

Диверсификация экспорта является ключевой задачей внешнеторговой политики Республики Беларусь на 2021-2025 годы. При этом реализация последней ограничивается не только абсолютно новыми направлениями, но и поиском научно обоснованных рекомендаций и предложений по повышению эффективности реализации продукции на уже освоенных ранее рынках. Одним из таких рынков является Республика Сингапур (далее – Сингапур), характеризующийся ежегодным ростом экспорта белорусских агропродовольственных товаров.

Сингапур является островным городом-государством, расположенным у южного побережья Малайзии. Благодаря выгодному географическому расположению и тесным связям с государствами Юго-Восточной Азии, страна стала экономическим и туристическим центром всего региона.

Как показывают исследования, для экспортеров Республики Беларусь данный рынок является не только емким, но и маржинальным. Это обусловлено тем, что, во-первых, общая земельная площадь в Сингапуре составляет 72,4 тыс. га, из которых 2,8 % – сельскохозяйственные земли. Во-вторых, по состоянию на 1 января 2023 г. численность населения страны составила 5 637,0 тыс. чел. При этом, согласно официальной статистике, в стране проживает 100 % городское население. В-третьих, Сингапур произво-

дит около 10 % собственных продуктов питания и продовольствия, а оставшиеся 90 % импортирует. Животноводство в основном сконцентрировано на производстве куриных яиц, мяса птицы, свинины, рыбы и морепродуктов. Основными выращиваемыми сельскохозяйственными культурами являются овощи (потребляются на внутреннем рынке), декоративные растения и орхидеи (экспортируются). В-четвертых, на продовольственном рынке Сингапура отмечаются стабильный уровень потребительских расходов и высокие располагаемые доходы населения, рост спроса на органические продукты и напитки, активное развитие электронной коммерции [1-8]. Все вышеуказанное в совокупности является первостепенным и определяющим при обосновании данного направления для расширения экспортных поставок и увеличения объемов реализации продукции Беларуси.

В развитие изложенного выше целью настоящей статьи является проведение комплексного анализа таможенно-тарифных и нетарифных условий доступа, а также обоснование ключевых параметров, обеспечивающих повышение эффективности системы продвижения белорусских агропродовольственных товаров на рынок Сингапура.

Материалы и методы

Научное исследование базировалось на изучении национального законодательства Сингапура в области таможенно-тарифного и нетарифного регулирования

агропродовольственных товаров, правовой базы торгово-экономического сотрудничества государств – членов Евразийского экономического союза (ЕАЭС) с Сингапуром, а также данных Национального статистического комитета Республики Беларусь. Использовались методы системного и сравнительного анализа.

Основная часть

Торговля Республики Беларусь с Сингапуром базируется на Соглашении о свободной торговле между ЕАЭС и его государствами – членами (далее – Соглашение), с одной стороны, и Республикой Сингапур, с другой стороны, и Рамочном соглашении о всеобъемлющем торгово-экономическом сотрудничестве между ЕАЭС и его государствами – членами, с одной стороны, и Республикой Сингапур, с другой стороны, которые подписаны 1 октября 2019 г. (рис.).

Выполненный обзор ключевых положений торговой политики позволяет сделать следующие выводы: во-первых, Соглашение о формировании зоны свободной торговли, договоренности между Сингапуром и ЕАЭС базируются на нормах Всемирной торговой организации (ВТО); во-вторых, в соответствии со статьей 2.6 Соглашения «Уменьшение и отмена таможенных пошлин», Сингапур отменяет таможенные пошлины на все товары, происходящие из ЕАЭС; в-третьих, определен перечень критериев происхождения (табл. 1).

Сингапур импортирует большую часть продовольствия (около 90 % всех потребляемых продуктов

питания в стране). Импорт и реализация продовольственных товаров, включая пищевые добавки, регулируются Законом о продаже продуктов питания (Sale of Food Act), Законом о безопасности мяса и рыбы (Wholesome Meat and Fish Act), актами Продовольственного агентства Сингапура (Singapore Food Agency – SFA) и иными нормативными актами.

Анализ нетарифных мер для агропродовольственных товаров проведен автором в соответствии с международными правилами ВТО по доступу на рынок.

1. Санитарные и фитосанитарные меры.

Сингапур позволяет свободный ввоз продовольствия и продуктов, но ВТО внедряет и применяет строгие режимы регулирования для обеспечения безопасности и поставок продовольствия, которые возымаются в страну.

Ветеринарные власти Сингапура (Food and Veterinary Authority), а также Департамент контроля продуктов питания (Food Control Department) являются основными руководящими органами продовольственной торговли Сингапура.

Субъекты хозяйствования Сингапура, импортирующие мясную или рыбную продукцию, свежие фрукты или овощи, а также яйца, должны получить соответствующую лицензию, а импортирующие переработанные продовольственные товары должны быть зарегистрированы в SFA.

Ввозимые в Сингапур продовольственные товары должны соответствовать требованиям SFA в отношении отдельных видов продукции. Например,



*Рисунок. Основные положения Соглашения о свободной торговле и Рамочного соглашения о всеобъемлющем торгово-экономическом сотрудничестве между ЕАЭС и его государствами – членами и Республикой Сингапур в части торговой политики
Примечание. Выполнен автором по данным [9]*

Таблица 1. Особые критерии происхождения в отношении чувствительных агропродовольственных товаров для Республики Беларусь

ТН ВЭД (определен до 6-значного кода)	Продукция	Критерий происхождения
01	Живые животные	WO
02	Мясо и мясные пищевые субпродукты	WO
04	Молочная продукция	CC
07	Овощи и некоторые съедобные корнеплоды и клубнеплоды	CC
08	Съедобные фрукты и орехи; кожура и корки цитрусовых или дынь	CC
1601	Готовые продукты из мяса, рыбы или ракообразных, моллюсков или прочих водных беспозвоночных	CC
1602	Готовые или консервированные продукты из мяса, мясных субпродуктов или крови и прочие	CC, СТН
1701	Сахар	CC
20	Продукты переработки овощей, фруктов, орехов или прочих частей растений	CC

Примечание.

1) «WO» означает, что товары должны быть полностью произведены или получены полностью странами в соответствии со статьей 4.4 «Полностью полученные или произведенные товары»;
2) «CC» – все неприсходящие материалы, используемые в производстве конечных товаров, претерпели изменение в тарифной классификации на двузначном уровне гармонизированной системы (изменение в главе);
3) «СТН» – все неприсходящие материалы, используемые в производстве конечных товаров, претерпели изменение в тарифной классификации на уровне 4-значного кода гармонизированной системы (изменение в тарифном заголовке).

поставки должны осуществляться аккредитованными в SFA предприятиями и только из стран, одобренных SFA; продукция должна сопровождаться ветеринарным или фитосанитарным сертификатом, иметь отчеты о лабораторных анализах, доказательства того, что поставщик или производитель контролируется уполномоченным органом страны-экспортера посредством системы лицензирования или аналогичной системы регулирования безопасности пищевых продуктов и т. д.

Зарубежные предприятия, которые хотят экспортировать в Сингапур мясные продукты или яйца, должны быть из страны, одобренной SFA для импорта, а также пройти аккредитацию в SFA.

Подать заявку на аккредитацию в SFA можно через компетентные органы страны-экспортера.

Перед подачей заявки необходимо убедиться, что предприятие соответствует критериям, утвержденным SFA.

2. Технические барьеры в торговле. Все предварительно расфасованные/упакованные продовольственные товары, предназначенные для реализации в Сингапуре, должны быть маркированы. По общему правилу маркировка должна содержать следующие сведения на английском языке:

а) название или описание продукта (например, хлеб, фарш или рубленое мясо и т. д.);

б) состав ингредиентов и добавок в нисходящем порядке (т. е. ингредиент, которого больше всего в составе продукта, должен быть указан первым);

в) перечень аллергенов и ингредиентов, вызывающих гиперчувствительность;

г) чистое содержимое продукта, т. е. вес нетто или объем (например, миллилитры, литры, граммы, килограммы);

д) наименование и адрес местного импортера, дистрибьютора или агента;

е) страна происхождения продукта;

ж) информация о содержании определенных подсластителей (например, ацесульфам-К, сахарин и т. д.);

з) информация о специальном назначении продукта, предназначенного для удовлетворения особых диетических потребностей конкретных групп потребителей (например, продукты, не содержащие сахара, низкокалорийные продукты, диабетические продукты и т. д.).

Знак «Здоровый выбор» указывает на то, что продукция является более здоровой. Продукты, маркированные таким знаком, как правило, содержат меньше жира, насыщенных жиров, соды и сахара, а также в них выше содержание цельных зерен и кальция по сравнению с аналогичными продуктами в той же категории продуктов питания.

Знак «Халяль» указывает на то, что продукция была изготовлена согласно исламским законам и не содержит свинину, алкоголь и некоторые иные ингредиенты. Молочные продукты, импортируемые в Сингапур, не требуют маркировки «Халяль». Для получения знака «Халяль» необходимо подать заявку в Исламский центр Сингапура (Islamic Religious Council of Singapore).

3. Специальные защитные меры. При первом ввозе на территорию Сингапура каждая партия подвергается контролю со стороны SFA. В некоторых случаях партия ввозимой продукции будет подвергнута, так называемому, «hold and test» (временной период, необходимый для проведения лабораторных исследований). Данная партия не может быть реализована до тех пор, пока не будут известны результаты лабораторного исследования и партия не будет признана соответствующей законодательству Сингапура

в сфере пищевой безопасности.

Импорт сельскохозяйственной продукции и продовольствия в Сингапуре подлежит лицензированию. В отношении продукции животного происхождения (включая мясо, живых животных, сухое молоко), кормов для животных, специфических видов растений действует неавтоматическое лицензирование. При этом в соответствии с сингапурским законодательством для поставщиков мяса, свежих фруктов и овощей необходимо получение ежегодной лицензии, на основе которой собирается информация и обеспечивается прослеживаемость поставок продукции в Сингапур.

Отдельные виды продовольствия, идентифицируемые как продукты питания высокого риска, в т. ч. молочные продукты, живые животные, мясо и рыба, подлежат дополнительному контрольным процедурам: получению медицинских сертификатов, отчетов о лабораторных анализах или доказательств того, что поставщик или производитель контролируется уполномоченным органом страны-экспортера посредством системы лицензирования или аналогичной системы регулирования безопасности пищевых продуктов. Государственная служба по АПК и ветеринарии Сингапура инспектирует ввозимые продукты питания на основе анализа рисков. Товары, не прошедшие инспекции, уничтожаются либо возвращаются в страну происхождения. Все импортируемые продукты питания должны отвечать установленным требованиям о прослеживаемости товара, включая указание страны происхождения.

4. Импортные сборы. В соответствии с Соглашением в отношении Республики Беларусь Сингапур применяет режим наибольшего благоприятствования в торговле. Импорт товаров, как и торговые операции внутри страны, облагается налогом на товары и услуги (англ. GST, goods and services tax) в соответствии с законом о GST от 1993 г.

GST на импорт взимается таможей со всех товаров, ввозимых в Сингапур. Он рассчитывается на основе:

- а) таможенной стоимости товара плюс все пошлины;
- б) значения последней цены продажи (англ. last selling price) плюс все пошлины, если было совершено

более одной продажи (когда последний покупатель является стороной, объявившей разрешение на оплату).

Текущая ставка GST составляет 7 %. Следует учитывать, что для уплаты GST обязаны регистрироваться только те компании, оборот которых за последние 12 месяцев превысил 1 млн сингапурских долларов, и компании, оборот которых, в соответствии с заключенными договорами, в ближайшие 12 месяцев превысит 1 млн сингапурских долларов.

Специальные, антидемпинговые или компенсационные пошлины в отношении импорта продукции белорусского производства не установлены.

Рынок Сингапура имеет высокий уровень маржинальности и емкости. Его уникальность заключается в том, что страна производит около 10 % собственных продуктов питания, а оставшиеся 90 % импортируются. За период с 2010 г. по 2021 г. объем экспорта Беларуси в Сингапур вырос с 229,7 тыс. долл. США до 4 140,4 тыс. долл. США.

Наиболее активные поставки начались с 2020 г., с момента подписания и вступления в силу Соглашения о свободной торговле между ЕАЭС и его государствами – членами и Сингапуром. В то же время доля чувствительных агропродовольственных товаров для Республики Беларусь на рынке Сингапура незначительна: 0,1 % – молочная продукция; 0,08% – продукты переработки овощей, фруктов и орехов.

Автором выполнены прогнозы развития экспортных поставок белорусской продукции на рынок Сингапура до 2025 г., базирующиеся на трех сценариях: оптимистичный; реалистичный; пессимистичный (табл. 2).

Расчеты показывают, что к 2025 г. общий объем экспорта в Сингапур будет увеличиваться только по оптимистичному прогнозу (5 437,5 тыс. долл. США). При этом рост спроса в 2,0 раза отмечается только по продуктам переработки овощей, фруктов и орехов. По молочной продукции по всем видам прогнозов наблюдается снижение, что свидетельствует о том, что внутренние потребности рынка Сингапура не базируются на чувствительных для Беларуси агропродовольственных товарах.

Установлено, что сдерживающими факторами для белорусских экспортеров являются: большое расстояние

Таблица 2. Прогнозы развития экспортных поставок белорусской продукции на рынок Сингапура до 2025 г., тыс. долл. США

Продукция	Виды прогнозов	2021 г. (факт)	Прогноз		
			2023 г.	2024 г.	2025 г.
Экспорт	оптимистичный	4 140,4	3 002,6	4 040,6	5 437,5
	реалистичный		2 616,9	3 069,3	3 599,8
	пессимистичный		2 231,2	2 231,2	2 231,2
в том числе:					
молочная продукция	оптимистичный	394,4	268,1	275,1	282,3
	реалистичный		264,7	268,2	271,7
	пессимистичный		261,3	261,3	261,3
продукты переработки овощей, фруктов, орехов	оптимистичный	3,2	4,44	7,06	11,20
	реалистичный		3,62	4,69	6,06
	пессимистичный		2,8	2,8	2,8

Примечание. Составлена автором по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь.

доставки продукции и сложная логистика (8 996 км); классификация пищевых продуктов в стране отличается от международной практики в области ветеринарного надзора; Сингапур не применяет непреференциальные правила происхождения в отношении импорта. Такие правила установлены только в отношении экспорта страны (Закон о регулировании импорта и экспорта). В то же время организации из Беларуси должны в наиболее полном формате воспользоваться преференциальными правилами происхождения товаров в соответствии с Соглашением о свободной торговле между ЕАЭС и Республикой Сингапур.

В развитие этого отечественным экспортерам также необходимо:

1) создавать собственную товаропроводящую сеть, как с участием белорусского капитала, так и без его участия. Учитывая большое расстояние до Сингапура, наиболее приемлемым вариантом может быть работа через дилеров и/или дистрибьюторов, что позволяет обеспечить конкурентоспособность белорусской продукции на данном рынке;

2) активнее принимать участие в проводимых в Сингапуре ключевых выставочных мероприятиях (в том числе и для выхода на рынки третьих стран). Перечень наиболее важных международных выставочно-ярмарочных и конгрессных мероприятий, планируемых к проведению в Сингапуре;

3) организовывать торговые миссии. В этом случае целесообразно прорабатывать данный вопрос с Сингапурской федерацией бизнеса и международной торговой палатой Сингапура.

В целом практическая реализация предложенных направлений позволит увеличить объемы экспортных поставок, что подтверждается расчетами по оптимальному и реалистичному прогнозам.

Заключение

Таким образом, ключевыми параметрами при продвижении агропродовольственных товаров Республики Беларусь на рынок Сингапура определены следующие:

1. Торговля базируется на Соглашении о свободной торговле и Рамочном соглашении о всеобъемлющем торгово-экономическом сотрудничестве между ЕАЭС и Сингапуром (подписаны 1 октября 2019 г.). Сингапур отменяет таможенные пошлины на все товары, происходящие из ЕАЭС, с учетом разработанного перечня критериев происхождения. Государства – члены ЕАЭС освобождаются от любых таможенных пошлин. Учитывая, что 90 % продуктов питания в стране являются импортными, с целью обеспечения продовольственной безопасности в Сингапуре действует строгая система санитарных и фитосанитарных требований, а также других нетарифных мер в отношении продовольствия. Тем не менее, данная система базируется на принципах и подходах ВТО.

2. Предложенный комплекс эффективных направлений по продвижению белорусских агропродовольственных товаров на рынок Сингапура включает действенные меры производственно-технического, организационного, маркетингового и рекламно-информационного характера, в том числе создание собственной товаропроводящей сети, участие в выставочно-ярмарочных и конгрессных мероприятиях, организацию торговых миссий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Киреенко, Н.В. Научные концепции и методологические подходы к формированию системы мониторинга внешних рынков сбыта сельскохозяйственных товаров / Н.В. Киреенко, И.А. Войтко // Аграрная экономика. – 2021. – № 8 (315). – С. 29-45.

2. Киреенко, Н.В. Товаропроводящая сеть Беларуси на зарубежных продовольственных рынках / Н.В. Киреенко // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2015. – № 1. – С. 10-21.

3. Киреенко, Н.В. Новая конфигурация глобальных производственно-сбытовых цепочек на агропродовольственном рынке / Н.В. Киреенко // Белорусский экономический журнал. – 2022. – № 1. – С. 62-78.

4. Киреенко, Н.В. Обзор агропродовольственной торговой политики в постсоветских странах 2019 – 2020: Беларусь / Н.В. Киреенко // Обзор агропродовольственной торговой политики в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии: 2019 – 2020. – Рим: Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, 2022. – С. 50-57.

5. Папцов, А.Г. Мировая агропродовольственная система и глобальное изменение климата / А.Г. Папцов, Н.А. Шеламова // АПК: экономика, управление. – 2017. – № 11. – С. 81-94.

6. Серова, Е. В. Мировая аграрная политика / Е.В. Серова, О.В. Шик. – М.: ГУ ВШЭ, 2007. – 407 с.

7. Турбан, Г.В. Мировая торговля и торговые ограничения в условиях COVID-19 в соответствии с правилами ВТО / Г.В. Турбан // Oikonomos: J. Soc. Market Econ. – 2020. – № 2 (17). – P. 27-38.

8. Chen, N. Gravity, trade integration, and heterogeneity across industries / N. Chen, D. Novy // J. Int. Econ. – 2011. – Vol. 85. – № 2. – P. 206-221.

9. Основные положения Соглашения о свободной торговле и Рамочного соглашения о всеобъемлющем торгово-экономическом сотрудничестве между ЕАЭС и его государствами – членами и Республикой Сингапур в части торговой политики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/4d0/EAEU_Singapore-FTA_Main-Agreement.pdf. – Дата доступа: 008.08.2023.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 04.12.2023

УДК 339.187:63-021.66

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2024-161-1-44-48>

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ СТИМУЛИРУЮЩИХ СУБСИДИЙ

И.А. Войтко,

доцент каф. инновационного развития АПК Института повышения квалификации и
переподготовки кадров АПК БГАТУ, канд. экон. наук, доцент

В статье рассмотрены применяемые в настоящее время механизмы поддержки производства отдельных видов сельскохозяйственной продукции на примере выделения надбавок за реализованную и (или) направленную в обработку (переработку) сельскохозяйственную продукцию. Установлено, что выделяемые надбавки могут быть рассмотрены как субсидии, стимулирующие увеличение объемов производства интенсивными методами. На основании разработанного методического подхода обоснованы перспективы развития сельского хозяйства Республики Беларусь в условиях применения стимулирующих субсидий как мер поддержки, направленных на повышение эффективности производства.

Ключевые слова: государственная поддержка, субсидия, надбавка, сельское хозяйство, эффективность, урожайность, продуктивность.

The article examines currently used mechanisms of supporting the production of certain types of agricultural products on the example of allocating allowances for agricultural products sold and (or) sent to processing. It has been established that the allocated allowances can be considered as subsidies that stimulate an increase in production volumes using intensive methods. Based on the developed methodological approach, the prospects for the development of agriculture in the Republic of Belarus in the context of the use of incentive subsidies as support measures aimed at increasing production efficiency are substantiated.

Key words: domestic support, subsidy, allowance, agriculture, efficiency, yield, productivity.

Введение

Аграрная политика, проводимая разными странами мира, сыграла важную роль в формировании современных продовольственных систем. Исторически сложилось так, что оказание поддержки сельскому хозяйству было мотивировано множеством целей, которые включали обеспечение продовольственной безопасности, улучшение экологических результатов и поддержку доходов фермеров. Исследования показывают, что меры аграрной политики нашей страны и ряда других государств не всегда имеют целью стимулирование роста объемов производства и реализации продукции, а также повышение доходности субъектов бизнеса. Это обусловлено тем, что сельское хозяйство, являясь направлением бизнеса, представляет собой уникальную отрасль, создающую базу для обеспечения продовольственной безопасности. Значимую роль в этом играет бюджетная поддержка, благодаря которой многие сельскохозяйственные организации, несмотря на то, что в сложившихся условиях они не всегда способны производить продукцию с высокой прибылью и добавленной стоимостью, сохранили достигнутые объемы производства, рабочие места [1-3]. В то же время немаловажное значение имеет формирование экономических условий для эффективного и стабильного развития аграрного биз-

неса и сельских территорий как места для проживания и работы сельских жителей.

Вопросам формирования эффективной системы государственной поддержки сельского хозяйства уделяют внимание ряд отечественных (Гусаков В.Г., Бельский В.И., Киреевко Н.В., Турбан Т.В.) и зарубежных ученых (С. В. Киселев, Р. А. Ромашкин, Е. В. Серова) [1-8; 12-14]. В научных трудах этих и других авторов представлены подходы к выработке эффективной аграрной политики, оценке эффективности использования мер государственной поддержки сельского хозяйства, в том числе в рамках функционирования международных интеграционных объединений. В то же время, возникающие в последнее время внешние вызовы в сочетании со снижением возможностей бюджета страны, требуют пересмотра действующей практики субсидирования аграрной сферы и выработки подходов, направленных на стимулирование роста эффективности деятельности субъектов хозяйствования интенсивными методами.

Исходя из этого, цель настоящей статьи – обосновать перспективы развития сельского хозяйства Республики Беларусь в условиях применения стимулирующих субсидий, как мер поддержки, направленных на повышение эффективности производства.

Материалы и методы

В ходе исследования изучены международные и национальные нормативно-правовые акты в сфере государственной поддержки сельского хозяйства. Используются методы: монографический, системного и сравнительного анализа, расчетно-конструктивный [9].

Основная часть

Мировые тенденции показывают, что повышение эффективности производства продукции, в том числе сельскохозяйственной, в условиях ограниченности производственных ресурсов в большинстве случаев возможно интенсивными методами. Введение субсидии, увязанной с ростом продуктивности животных и урожайности культур, может создать условия для роста экономической эффективности АПК в целом, в том числе за счет снижения себестоимости единицы производимой продукции. Фактические данные по сельскохозяйственным организациям Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь показывают, что себестоимость единицы производимой продукции снижается по мере роста продуктивности (урожайности) (рис. 1).

В настоящее время в Республике Беларусь согласно Указу № 347 «О государственной аграрной политике», а также Постановлению Совета министров Республики Беларусь от 11 января 2023 г. № 24 «О выплатах в виде субсидий на единицу реализованной и (или) направленной в обработку (переработку) сельскохозяйственной продукции», предусмотрено выделение

надбавок на молоко, молодняк крупного рогатого скота, овец, шерсть, просо, ячмень, гречиху, льнотресту. Размер надбавок установлен в рублях на единицу продукции. В то же время, как свидетельствует зарубежный опыт, стимулирование продуктивности (урожайности) целесообразно устанавливать исходя из используемого в производстве ресурса, а именно: на голову скота либо на единицу посевной площади. При этом получаемые стимулирующие субсидии должны быть направлены на компенсацию части затрат на производство продукции по видам.

Исследования показывают, что в настоящее время механизмы поддержки, направленные на стимулирование роста объемов производства, получили широкое распространение в зарубежных странах. Так, Постановлением Правительства Республики Калмыкия утвержден Порядок предоставления субсидий из республиканского бюджета на стимулирование увеличения производства картофеля и овощей [10]. Порядком предусмотрено выделение субсидий сельскохозяйственным производителям на финансовое обеспечение (возмещение) части затрат на проведение агротехнологических работ, повышение уровня экологической безопасности сельскохозяйственного производства, а также на повышение плодородия и качества почв – по ставке на 1 гектар посевной площади.

При этом распределение субсидий осуществляется исходя из возможностей бюджета, размера посевных площадей и объема производства продукции в размере не более 50 % от годового максимального размера нормы затрат соответствующего направле-

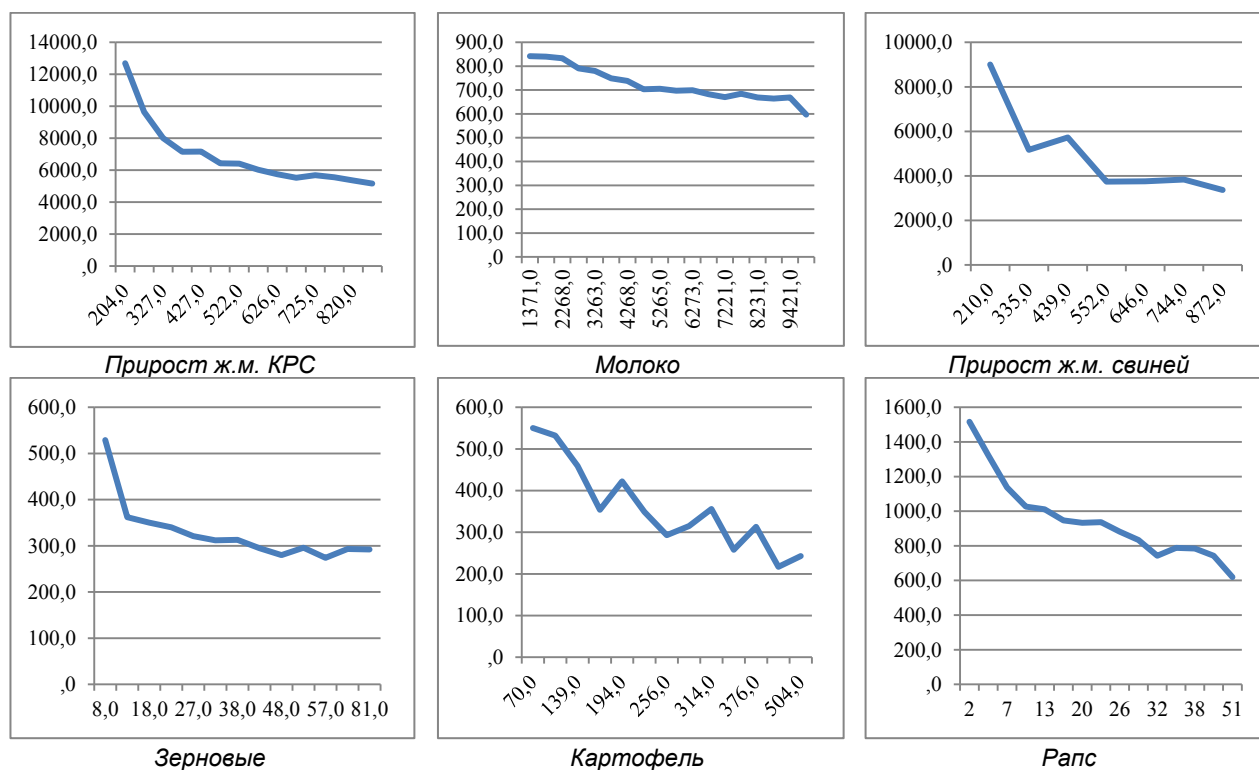


Рисунок 1. Зависимость себестоимости производства 1 т продукции (руб./т) по видам от продуктивности животных (г/гол, кг/гол.) и урожайности культур (ц/га), 2022 г.

ния, установленной уполномоченным органом, и не более 90 % фактически осуществленных расходов. В целом такие подходы отвечают требованиям стимулирования роста урожайности, но не учитывают в полной мере фактические потребности отдельных субъектов бизнеса в финансировании затрат на производство дополнительного объема продукции.

Аналогичные меры применяются в Пензенской и других областях Российской Федерации. Предусматривается выделение субсидий на стимулирование роста объемов производства, как продукции растениеводства, так и животноводства. Правительство Пензенской области Постановлением № 66-пП утвердило Порядок предоставления субсидий, направленных на повышение продуктивности в молочном скотоводстве (на возмещение части затрат на 1 кг реализованного и (или) отгруженного на собственную переработку молока). Порядок определяет механизм предоставления субсидий для молочного скотоводства [11].

Право на получение субсидий предоставлено сельскохозяйственным товаропроизводителям на возмещение части затрат на единицу реализованного и (или) отгруженного на собственную переработку коровьего и (или) козьего молока, отвечающего требованиям по безопасности к сырому молоку, предусмотренным техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 033/2013, и техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

Таким образом, обобщая вышеизложенное, на первоначальном этапе проводимых исследований поставлена задача определения размера стимулирующей субсидии. Как уже отмечалось, такая субсидия должна покрывать часть затрат на производство дополнительной продукции (при росте урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности животных). Для определения размера объективно необходимых затрат на производство дополнительного объема продукции применялся маржинальный анализ и предусматривалось деление затрат на постоянные и переменные. Важность применения такого подхода обусловлена тем, что увеличение объемов производства приводит к уменьшению постоянных расходов, приходящихся на единицу продукции, что повышает прибыль с единицы продукции за счет положительного эффекта масштаба. Совокупный размер переменных затрат напрямую зависит от объема выпуска продукции. То есть, к переменным затратам в рамках имеющейся информации по сельскохозяйственным организациям Республики Беларусь по статьям затрат, можно отнести те затраты на единицу продукции, использование которых объективно необходимо в определенном объеме для соблюдения технологии. В своих расчетах в рамках имеющейся информации с определенной степенью условности к переменным затратам были отнесены:

– по продукции растениеводства: затраты на семена, удобрения и средства защиты растений, стоимость ГСМ на технологические цели, стоимость энергоресурсов на технологические цели;

– по продукции животноводства: затраты на корма, стоимость нефтепродуктов на технологические цели, стоимость энергоресурсов на технологические цели.

Для оценки влияния применения предлагаемых стимулирующих субсидий на развитие сельского хозяйства Республики Беларусь автором проведены прогнозные расчеты по данным сельскохозяйственных организаций Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь за 2022 г. (по таким видам сельскохозяйственной продукции, как зерновые, картофель, сахарная свекла, рапс, молоко коровье, прирост живой массы КРС).

Таким образом, размер стимулирующей субсидии на 1 га посевов и на голову скота определялся исходя из размера переменных затрат на производство дополнительного 1 ц продукции (табл. 1).

Таблица 1. Размеры стимулирующей субсидии на гектар посевов и на голову скота

Вид сельскохозяйственной продукции	Стимулирующая субсидия, руб.
Зерновые	5,2
Картофель	4,3
Сахарная свекла	1,3
Рапс	15,6
Молоко коровье	10,2
Ж.м. КРС	31,2
<i>Примечание. Таблицы 1-3 составлены автором на основании собственных расчетов</i>	

Полученные данные позволили определить потребность в дополнительном бюджетном финансировании для выплаты стимулирующей субсидии. И уже на основе фактических потребностей определялась отдача от их использования и построение прогнозов развития сельского хозяйства на перспективу до 2030 г. по двум вариантам:

первый вариант предполагает применение в расчетах среднего прогнозируемого уровня инфляции;

второй – показывает, как субсидии влияют на перспективу развития в условиях фиксирования всех других показателей системы (этот вариант не учитывает рост цен на перспективу).

В таблице 2 приведен прогноз развития сельского хозяйства Республики Беларусь при условии применения стимулирующих субсидий с учетом прогнозируемого ежегодного уровня инфляции 7,5 %. Размер субсидии определялся исходя из фактически сложившихся затрат на производство дополнительного объема продукции по видам. Таблица 2 представляет собой свод показателей, расчеты которых проводились отдельно по основным видам сельскохозяйственной продукции.

Приведенные в таблице данные свидетельствуют о том, что стимулирование роста урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности животных создает условия для роста эффективности. Так, согласно проведенным расчетам, размер получаемой прибыли на каждый рубль выделенных субсидий увеличится к 2030 г. до 94 руб., производительность

Таблица 2. Прогноз развития сельского хозяйства Республики Беларусь при условии применения стимулирующих субсидий с учетом прогнозируемого ежегодного уровня инфляции 7,5%¹, 2023-2030 гг.

Показатель	Год								
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Выручка от реализации продукции всего, тыс. руб.	13051480	14610484	16347102	18262029	20372243	22696265	25254296	28068366	31162490
Прибыль от реализации продукции, тыс. руб.	1198281	1739345	2355695	3054714	3845335	4737367	5741573	6869763	8134885
Всего необходимо субсидий, тыс. руб.	91135	86931	84434	83117	82671	82901	83684	84934	86596
Получено прибыли от реализации продукции на рубль стимулирующей субсидии, руб.	13,15	20,01	27,90	36,75	46,51	57,14	68,61	80,88	93,94
Производительность труда по выручке, тыс. руб./чел.	76,9	86,1	96,4	107,7	120,1	133,8	148,9	165,5	183,7
Налоговая нагрузка в выручке ² , %	9,8	9,3	8,8	8,4	8,0	7,5	7,2	6,8	6,5
Рентабельность реализации продукции, %	10,11	13,51	16,84	20,09	23,27	26,38	29,42	32,41	35,33

¹ – <https://ilex.by/prognoz-po-inflyatsii-2023-kak-otreguliruyut-tseny-na-lekarstva-mobilnuyu-svyaz-i-toplivo/>
² – Для расчета использовались методические подходы, представленные в источнике [1]

труда при неизменной среднегодовой численности работников, занятых в сельском хозяйстве, возрастет более чем в два раза.

Дальнейшие расчеты, проведенные без учета инфляции, также показывают повышение отдачи от использования выделяемых из республиканского бюджета стимулирующих субсидий (табл. 3).

Как показывают данные таблицы, при условии выделения стимулирующих субсидий и при неизменных прочих условиях, прирост прибыли от реализа-

ции продукции составит порядка 4 раз, производительность труда увеличится на 34 %, налоговая нагрузка в выручке снизится на 0,9 п.п. При этом, как показывают расчеты, при учете прогнозируемого ежегодного уровня инфляции, наблюдается более существенный прирост показателей.

Таким образом, выделение стимулирующих субсидий с увязкой их размера с фактически необходимыми затратами на производство дополнительного объема продукции создает предпосылки для наращивания объ-

Таблица 3. Прогноз развития сельского хозяйства Республики Беларусь при условии применения стимулирующих субсидий без учета инфляции, 2023-030 гг.

Показатель	Год								
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Выручка от реализации продукции всего, тыс. руб.	13051480	13591148	14145681	14700213	15254746	15809279	16363812	16918345	17472878
Прибыль от реализации продукции, тыс. руб.	1198281	1617995	2038460	2458924	2879389	3299854	3720319	4140783	4561248
Всего необходимо субсидий, тыс. руб.	91135	80866	73063	66906	61904	57746	54224	51194	48555
Получено прибыли от реализации продукции на рубль стимулирующей субсидии, руб.	13,15	20,01	27,90	36,75	46,51	57,14	68,61	80,88	93,94
Производительность труда по выручке, тыс. руб./чел.	76,9	80,1	83,4	86,7	89,9	93,2	96,5	99,7	103,0
Налоговая нагрузка в выручке, %	9,8	9,6	9,5	9,3	9,2	9,1	9,0	9,0	8,9

ема производства и реализации сельскохозяйственной продукции и, как следствие, роста основных результативных показателей (производительности труда, выручки и прибыли от реализации продукции и др.).

Заключение

На основании проведенных исследований по обоснованию перспектив развития сельского хозяйства Республики Беларусь в условиях применения стимулирующих субсидий сделаны следующие выводы:

1. В Республике Беларусь субъектам сельского хозяйства предоставляются различные меры поддержки, в том числе, направленные на производство отдельных видов продукции. В рамках реализации Указа Президента Республики Беларусь № 347, а также Постановления Совета Министров Республики Беларусь от 11 января 2023 г. № 24 предусмотрено выделение надбавок на реализованные и переданные в переработку молоко, молодняк крупного рогатого скота, овец, шерсть, просо, ячмень, гречиху, льнотресту.

2. Выделение дополнительных субсидий, стимулирующих рост продуктивности животных и урожайности культур, в размере, установленном исходя из размера затрат на производство дополнительного объема продукции, создает дополнительные экономические условия для повышения эффективности деятельности в сельском хозяйстве интенсивными методами.

3. Применение предлагаемых подходов по выделению стимулирующих субсидий позволяет увеличить объемы производства и реализации сельскохозяйственной продукции по видам, увеличить показатели рентабельности, производительности труда и др.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Войтко, И.А. Рекомендации по формированию методологических подходов по совершенствованию системы государственной поддержки сельского хозяйства с учетом оценки эффективности ее применения / И. А. Войтко, Н.В. Киреенко. – Минск: БГАТУ, 2023. – 155 с.

2. Войтко, И.А. Методологические подходы к определению уровня налоговой нагрузки в цене реализации отдельных видов сельскохозяйственной продукции / И.А. Войтко // Агропанорама. – 2021. – № 6. – С. 40-45.

3. Войтко, И.А. Прямое бюджетное субсидирование как фактор устойчивого развития сельскохозяйственного производства Республики Беларусь / И.А. Войтко // Вести Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. – 2023. – № 2. – С. 95-108.

4. Бельский, В.И. Экономический механизм государственного регулирования сельскохозяйственного производства: теория, методология, практика /

В.И. Бельский. – Минск: Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2018. – 265 с.

5. Гусаков, В. Как обеспечить устойчивость, конкурентность и эффективность национального АПК / В. Гусаков // Аграрная экономика. – 2020. – № 2 (297). – С. 3-11.

6. Киреенко, Н.В. Диверсификация государственной поддержки сельского хозяйства в Беларуси с учетом международных требований и обязательств / Н.В. Киреенко, И.А. Казакевич // Белорусский экономический журнал. – 2018. – № 4. – С. 65-76.

7. Киселев, С.В. Агропродовольственный экспорт России в условиях пандемического шока / С.В. Киселев // Научные исследования экономического факультета. – 2021. – Т. 13. – № 3. – С. 46-56.

8. Ромашкин, Р.А. Обзор правил предоставления сельскохозяйственных субсидий, перспективы их совершенствования и обязательства России в ВТО в области сельского хозяйства / Р.А. Ромашкин // Торговая политика. – 2015. – № 2/2. – С. 116-124.

9. Савицкая, Г.В. Анализ хозяйственной деятельности: учеб. / Г.В. Савицкая. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск: РИГТО, 2012. – 367 с.

10. Об утверждении Порядка предоставления субсидий из республиканского бюджета на стимулирование увеличения производства картофеля и овощей [Электронный ресурс]: постановление Правительства Республики Калмыкия, 12 декабря 2022 г., № 470. – Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0800202212190008>. – Дата доступа: 09.01.2024.

11. О порядке предоставления субсидий на реализацию мероприятий Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы, утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации 14.07.2012 г. № 717 [Электронный ресурс]: постановление Правительства Пензенской области, 13 февраля 2017 г., № 66-пП. – Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/5800201702160003>. – Дата доступа: 09.01.2024.

12. Серова, Е.В. Мировая аграрная политика / Е.В. Серова, О.В. Шик. – М.: ГУ ВШЭ, 2007. – 407 с.

13. Тенденции управления государственными активами в Республике Беларусь в системе обеспечения экономической безопасности государства / Н.В. Киреенко, С.С. Рябова, М.Г. Рубеж, В.А. Урбанович // Проблемы управления. – 2023. – № 3 (89) июль – сентябрь. – С. 83-90.

14. Турбан, Г.В. Мировая торговля и торговые ограничения в условиях COVID-19 в соответствии с правилами ВТО / Г.В. Турбан // Oikonomos: J. Soc. Market Econ. – 2020. – № 2 (17). – Р. 27-38.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 31.01.2024

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

Система поддержки принятия решений по оптимизации структуры сырьевого конвейера для обеспечения хозяйств кормами

В составе программного комплекса имеются следующие приложения:

- расчет годовой потребности хозяйства в кормах;
- оптимизация структур посевов кормовых культур;
- отображение информации о заготовке, хранении и расходовании кормов;
- расчет кормового баланса хозяйства;
- оптимизация загрузки машинно-тракторного парка;
- модуль работы с картографическими данными.

Разработанный программный комплекс позволяет автоматизировать работу по планированию и производству кормов в хозяйстве.

Расчет сбалансированного суточного рациона

Новый рацион | Копировать рацион | Взять заготовку из базы | Закрыть рацион | Сохранить в базу | Печать

Расчет 1

Название рациона: Рацион молочные коровы 550кг удой 14к лактирующие нормы РБ

Группа: молочные коровы | Стадия лактации: Лактирующая

Нормы кормления: РБ | Масса животного: 550 | Удой суточный: 14

Число голов: 1 | Планируемая масса: | Удой за лактацию: |

Начало кормления: 11.05.2017 | Структура рациона: по СВ

Окончание кормления: 11.05.2017 | Отображение масс кормов: в кг, сух. в-ва

Корма	% структура	Масса СВ, кг
Сено бобовых культур, клеверное	15,4	4,000
Сенаж из злаковых культур, ежа сборная	26,9	7,000
Барда ржаная, сушеная	3,8	1,000
Зерно кукуруза	7,7	2,000
Комбикорм для выращивания и откорма КРС, КР-3	46,2	12,000

Компонент	Норма	В рационе	Отклонение
Корм. ед	18,15	17,165	-0,9848 -5,4 %
ОЗ, МДж	216	179,82	-36,183 -16,8 %
Сух. в-во, кг	22,5	26	3,5 15,6 %
Сыр. прот., г	2782,5	2111,7	-670,79 -24,1 %
Перев. прот., г	1827	1466,2	-360,82 -19,7 %
Сыр. жир, г	589,5	529,25	-60,25 -10,2 %
Сыр. клетч., г	5475	1769,4	-3705,6 -67,7 %
Крахмал, г	3220,5	5068,8	1848,3 57,4 %
Сахар, г	1215	432,81	-782,19 -64,4 %
Кальций, г	123	126,75	3,752 3,1 %
Фосфор, г	87	75,12	-11,88 -13,7 %

Корма

Включить в рацион | Исключить из рациона

[Весь список] | Зеленые | Зерно | Комбикорма | Корнеклубнеплоды | Микроэлементы | Минеральные добавки | Молочные корма | Не определена | Отходы производства | Сенаж | **Сено** | Силос | Солома

Название	Цена, р./кг.СВ	Корм. ед	СВ, кг	ОЗ, МДж	Сыр. прот., г	Перев. прот., г
Сено злаково-бобовое	0	0,38226	0,831	6,01644	81,6042	51,4389
Сено бобовых культур, клеверное	0	0,406	0,812	5,67588	110,432	68,4516
Сено бобовых культур, клеверо-тимофеечное	0	0,34486	0,802	5,46162	75,9494	49,0022
Сено бобовых культур, люцерновое	0	0,41307	0,843	6,17076	127,293	83,2884
Сено злаковое	0	0,35552	0,808	5,55904	54,944	28,28
Сено злаковых культур, ежи сборная	0	0,3348	0,837	5,36517	70,308	35,991
Сено злаковых культур, лисохвост	0	0,33374	0,814	5,50264	67,562	34,188
Сено злаковых культур, овсяницы луговой	0	40,373	0,859	6,03018	83,323	42,95

