



ISSN 2078-7138

АГРОПАНОРАМА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

№ 5
октябрь
2022

*Направления повышения эффективности использования
полевых штанговых опрыскивателей*

*Разработка и производственная апробация
доильного аппарата с изменяемым
вакуумметрическим давлением*

*Особенности преобразования электрической энергии
в трансформаторе со схемой соединения обмоток
«звезда-треугольник с зигзагом»*

*Осаждение ферромагнитных частиц в поле
постоянных магнитов*



**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
БЕЛОРУССКИЙ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Агромеханический факультет**

Уважаемые коллеги!

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

***«ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ»***,

***которая состоится в Белорусском
государственном аграрном техническом
университете***

24 - 25 ноября 2022 г.

Основные направления работы конференции:

- Сельскохозяйственная техника: исследование, проектирование, испытание***
- Мобильная энергетика в сельском хозяйстве***
- Инновационные технологии производства продукции растениеводства***
- Инновационные технологии в животноводстве***
- Инновационные технологии подготовки специалистов АПК***

г. Минск, пр-т Независимости, 99, корпус 1

Контактный телефон: (+ 375 17) 272-68-18;

E-mail: ktmg@bsatu.by

www.bsatu.by

АГРОПАНОРАМА 5 (153) октябрь 2022

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:

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

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

Компьютерная верстка
В.Г. Леван

Адрес редакции:

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

Прием статей и работа с авторами:

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

БГАТУ, 2022.

Формат издания 60 x 84 1/8.

Подписано в печать с готового оригинала-
макета 26.10.2022 г. Зак. № 774 от 25.10.2022 г.

Дата выхода в свет 31.10.2022 г.

Печать офсетная. Тираж 100 экз.

Статьи рецензируются.

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

ЛП № 023330/316 от 30.10.2020 г.

Выходит один раз в два месяца.

Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884.

Стоимость подписки на журнал на 2-е п/г 2022 г.:

для индивидуальных подписчиков - 34,92 руб.;

ведомственная - 36,72 руб.;

Цена журнала в киоске БГАТУ - 10,20 руб.

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

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственное машиностроение. Металлообработка

**И.С. Крук, О.В. Гордеенко, С.К. Карпович,
С.В. Сорока, А.Е. Маркевич**

Направления повышения эффективности использования
полевых штанговых опрыскивателей.....2

**А.Н. Смирнов, П.В. Авраменко, Н.Г. Серебрякова,
К.А. Омелящик**

Обоснование и разработка энергосберегающей системы
малогабаритного погрузчика с бортовым поворотом.....10

С.Н. Бондарев, А.В. Китун

Разработка и производственная апробация доильного аппарата с
изменяемым вакуумметрическим давлением.....14

Технологии производства продукции расте- ниеводства и животноводства. Зоотехния

Е.В. Таразевич, В.В. Ярмош

Влияние температурного режима и водообмена на
рыбохозяйственные показатели инкубации икры
клариевого сома (*clarias gariepinus*) при различных
способах воспроизводства.....19

Энергетика. Транспорт

**В.М. Збродыга, М.А. Прищепов, А.И. Зеленкевич,
Г.И. Янукович**

Особенности преобразования электрической энергии в
трансформаторе со схемой соединения обмоток
«звезда-треугольник с зигзагом».....25

Технический сервис в АПК. Экономика

**В.К. Корнеева, В.М. Капцевич, И.В. Закревский,
П.М. Спиридович**

Осаждение ферромагнитных частиц в поле постоянных
магнитов.....34

В.Н. Штепа, А.Б. Шикунец

Оценка экономической эффективности электротехнологической
интенсификации анаэробной утилизации отходов
индустриальной аквакультуры.....39

И.А. Войтко

Институциональный аспект определения налоговой
нагрузки в сельском хозяйстве Республики Беларусь.....45

УДК 631.348.45

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛЕВЫХ ШТАНГОВЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ

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

С.К. Карпович,

начальник Главного управления технического прогресса и энергетики, государственного надзора за техническим состоянием машин и оборудования Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, канд. экон. наук, доцент

С.В. Сорока,

гл. науч. сотруд. РУП «Институт защиты растений», докт. с.-х. наук, профессор

А.Е. Маркевич,

гл. инженер ООО «Ремком», канд. техн. наук, доцент

Широкое применение химических средств защиты растений при несовершенстве технологий и технических средств внесения, несоблюдении агротехнических и технологических требований приводят к перерасходу дорогостоящих препаратов и негативному воздействию на экологию и окружающую среду. В статье определены основные направления эффективного использования штанговых опрыскивателей, основанные на увеличении их производительности и повышении качества выполнения технологических операций. Обоснована необходимость создания специализированных центров для проведения периодического технического осмотра опрыскивателей и выдачи разрешения на их эксплуатацию.

Ключевые слова: штанговые опрыскиватели, химическая защита растений, качество, эффективность, производительность, техническое состояние.

Wide use of chemical means of plant protection with imperfect technologies and technical means of application, violation of agrotechnical and technological requirements lead to overuse of expensive chemicals and negative impact on the environment. The main directions of effective use of boom sprayers based on increasing their productivity and improving the quality of technological operations are defined in the article. The necessity of creating specialized centers for periodic technical inspection of sprayers and issuing permits for their operation has been substantiated.

Key words: boom sprayers, chemical plant protection, quality, efficiency, productivity, technical condition.

Введение

В настоящее время все большее внимание уделяется вопросам экологии и охраны окружающей среды, производству экологически чистой продукции. Однако в большинстве случаев признается обоснованность применения интегрированных систем защиты растений от вредителей, болезней и сорняков, которые позволяют существенно повысить результативность возделывания сельскохозяйственных культур и улучшить экономические показатели производства растениеводческой продукции.

Потенциальные потери урожая сельскохозяйственной продукции от вредителей, болезней и сорняков при отсутствии эффективной защиты составляют

25-40 %, а по некоторым культурам – 90 % [1, 2, 3]. По результатам многолетних исследований, полученных в РУП «Институт защиты растений» (ИЗР), своевременное проведение защитных мероприятий обеспечивает сохранение от 5 до 12 ц/га урожая зерна, 50-180 ц/га картофеля, корнеплодов, плодов и овощей, 2,5 ц/га льноволокна при окупаемости затрат в 1,5-2,0 и более раз [4, 5]. В 2000-2005 годах применение средств защиты растений позволило ежегодно сохранить до 878,3 тыс. тонн зерна, 257,5 тыс. тонн картофеля, 471,7 тыс. тонн сахарной свеклы и 13,3 тыс. тонн льноволокна. При этом уровень защитных мероприятий колебался от 118,2 % на зерновых культурах до 205,5 % – на картофеле [5]. Увеличение объемов применения глифосатсодержащих

гербицидов только в 2005-2007 годах позволило снизить общую засоренность пашни многолетними сорняками с 90 % до 65 %, а пыреем ползучим – до 55 %.

В сельскохозяйственном производстве республики ежегодно применяется более 500 наименований средств защиты растений. В 2020 году было использовано около 11,2 тыс. тонн пестицидов на сумму 252,2 млн долл. США, в том числе 8,0 тыс. тонн гербицидов, 0,4 тыс. тонн инсектицидов, 1,3 тыс. тонн фунгицидов, что составляет почти 86 % в денежном эквиваленте [4]. При этом величина потерь пестицидов при использовании различных технологий внесения средств защиты растений может достигать 15...50 % [6].

Рациональное и экологически безопасное применение средств химизации в растениеводстве состоит в соблюдении научно обоснованных регламентов выполнения работ, содержащих комплекс технологических, технико-экономических, качественных и других требований. Это в первую очередь обеспечивается соблюдением заданных доз и требуемой равномерности распределения средств химизации и полным исключением потерь, что позволяет получить экономический эффект не только от количества полученного высокого урожая, но и от сэкономленных дорогостоящих препаратов. Поэтому процесс опрыскивания следует рассматривать в комплексном подходе, не уделяя внимания только отдельным узким направлениям [7].

Вопросы эффективного использования средств механизации для внесения рабочих растворов пестицидов и усовершенствования их конструкций отражены в работах Бумажкина В.А., Вартукаптейниса К.Э., Виковича И.А., Дмитрачкова В.П., Клочкова А.В., Кот Т.П., Краховецкого Н.Н., Кузнецова В.В., Ладутько С.Н., Ловкиса З.В., Нагорского И.С., Никитина Н.В., Новицкого П.М., Озолса Я.Г., Петровца В.Р., Прокопенко С.Ф., Ревякина Е.Л., Спиридонова Ю.Я., Степука Л.Я., Ченцова В.В., Шестакова В.Г. и других.

Цель данной работы заключается в обосновании направлений повышения эффективности штанговых опрыскивателей при химической защите растений.

Основная часть

Эффективность применения средств химизации определяется агротехническими сроками, способами и качеством их внесения, техническим состоянием агрегата, корректной работой его узлов и механизмов, грамотной настройкой и эксплуатацией, метеорологическими условиями и состоянием окружающей среды, в которых проводится технологическая операция, и другими [3; 6]. Влажность и температура воздуха, продолжительность дня, интервал между обработками и осадками, наличие ветра в период обработки также оказывают существенное влияние на эффективность применения средств защиты растений.

В период с недостаточным увлажнением эффективность пестицидов резко снижается. Например, при относительной влажности воздуха 40 % проникае-

мость эпидермиса гербицидов уменьшается в три раза в сравнении с влажностью воздуха 80 % [8]. При этом низкая влажность и высокая температура окружающего воздуха приводят к большим потерям рабочего раствора гербицидов при опрыскивании вследствие испарения капель и кристаллизации препарата при осаждении на обрабатываемую поверхность. Расчетная величина потерь капель размером 120 мкм от испарения при опрыскивании штанговыми опрыскивателями составляет 4 % [6].

Так как борьба с вредителями, сорняками и болезнями может быть успешной при условии внесения препарата в самой чувствительной стадии их развития, то срок проведения технологических операций является одним из самых важных факторов опрыскивания. Своевременное и качественное внесение средств химической защиты растений позволяет сократить потери и сохранить 30-50 % выращенного урожая, а также рационально использовать финансовые средства [8]. Несоблюдение сроков внесения гербицидов приводит к снижению уровня чувствительности сорных растений к препарату, увеличению выноса питательных веществ из почвы, а инсектицидов и фунгицидов – к повышению урона, нанесенного, соответственно, вредителями и болезнями. Из результатов исследований, полученных ИЗР, следует, что в зависимости от видового состава двудольных сорных растений при внесении гербицидов в фазе развития двух листьев уровень их поражения составляет 73,1...92,7 %, а в фазе развития восьми листьев – он снижается до 22,3...33,1 % (табл. 1).

Таблица 1. Фазовая чувствительность двудольных видов сорняков к действию гербицида Бетанал эксперт ОФ

Вид сорного растения	Фаза развития сорного растения				
	семя-доли	2 листа	4 листа	6 листьев	8 листьев
Марь белая	99,4	92,1	75,3	47,8	30,1
Щирица запрокинутая	99,7	93,2	77,7	54,0	33,0
Горец шероховатый	97,9	84,6	71,9	50,2	27,3
Горец вьюнковый	97,2	85,1	66,5	46,4	22,9
Подмаренник цепкий	96,4	70,5	53,4	30,1	21,5

Неблагоприятные погодные условия создают проблемы при проведении опрыскивания и могут повлечь снижение качества обработок и неэффективное использование пестицидов. Среди них можно выделить основные метеорологические факторы, которые резко снижают качество выполнения опрыскивания и увеличивают сроки проведения технологических операций: скорость ветра более 4 м/с; ожидание (интервал между обработкой и выпадением осадков не менее 2-х часов) и выпадение обильных осадков (продолжительность дождя более 2-х часов в сутки или количество выпавших осадков более 5 мм); повышение температуры воздуха выше 20 °С. С целью экологической безопасности и соблюдения качества внесения рабочих растворов пестицидов рекомендуемое время проведения опрыскивания утром – с 6 до

10 часов, вечером – с 19 до 21. С учетом наличия ветра со скоростью более 4 м/с, дневного времени с температурой воздуха более 20 °С и периода выпадения осадков, продолжительность времени, благоприятного для работы штанговых опрыскивателей, составляет 353-371 часов: май – 154, июнь – 131, июль – 68-86 часов [3; 6; 9].

Следовательно, время проведения технологических операций защиты растений в допустимые агротехнические сроки определяется наличием в хозяйствах любой формы собственности необходимого количества средств механизации, уровнем их технического состояния.

Соблюдение сроков обработок можно осуществить применением высокопроизводительных опрыскивателей, позволяющих качественно выполнять технологические операции внесения рабочих растворов пестицидов в неблагоприятных погодных условиях (при скоростях ветра до 7 м/с): с системой принудительного осаждения капель направленной воздушной струей, с электрической зарядкой рабочей жидкости, с инжекторными распылителями, с ветрозащитными устройствами факела распыла [3; 10, 11].

По данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, обеспеченность сельскохозяйственных предприятий республики опрыскивателями в последние годы изменялась от 75,6 до 100,6 % (табл. 2). При этом даже в ее пиковые значения, приходящиеся на 2009-2010 годы, при объемах проведения защитных мероприятий в течение вегетационного сезона на площади около 6870-10148 тыс. га нагрузка на один опрыскиватель составляла 1,30-1,93 тыс. га при рекомендуемой в вегетационный период – 1,0-1,1 тыс. га (в Германии в 2010 году на 12 млн га пашни насчитывалось 30 тыс. опрыскивателей, то есть на один опрыскиватель приходилось 400 га [4]). Кроме того, в сезон массового проведения полевых защитных работ нагрузка на средства механизации с учетом многократности обработок увеличивается в несколько раз [12]. На начало 2011 года 26 % (1213 шт.) имеющихся в сельскохозяйственных предприятиях республики опрыскивателей эксплуатировались более 10 лет. При использовании устаревшей техники потери вследствие неравномерности распределения препарата составляют до 15 %. При этом на объемах закупки в 40 млн долл. США только за счет использования новых

машин можно сэкономить 4-6 млн долл. США, а при закупке на 80,0-107,2 млн долл. США – 8-16 млн долл. США при возможном значительном улучшении экономической и экологической ситуации. Для своевременного и качественного проведения полевых работ по химической защите растений в республике требуется 6,5-6,6 тыс. опрыскивателей, что обеспечится ежегодной поставкой 1000 единиц в течение 5 лет [13].

Следует отметить, что политикой технического перевооружения сельскохозяйственных предприятий предусматривается разработка и поставка высокопроизводительной техники, обеспечивающей качественное выполнение обработок в различных погодных условиях. Известно, что производительность штанговых опрыскивателей Q (га/ч) определяется рабочей скоростью движения агрегата v_p (км/ч), рабочей шириной захвата штанги B_p (м), коэффициентом использования времени смены τ

$$Q = 0,1v_p B_p \tau. \quad (1)$$

При этом повышение производительности агрегата можно достичь увеличением показателей, входящих в данную формулу.

Увеличение рабочей ширины захвата опрыскивателя осуществляется изменением длины штанг, конструкции которых подразделяются на легкие и усиленные (рис. 1) [14, 15]. Легкие штанги представляют собой простую конструкцию и имеют небольшую ширину захвата – от 5 до 12 м, массу – от 28 до 100 кг. Приведенная материалоемкость на 1 м ее конструктивной длины составляет 5,40...8,75 кг/м. Усиленные штанги представляют собой пространственную конструкцию значительной массы (масса штанги с шириной захвата 22,5 м может достигать до 750 кг [15]).

С увеличением ширины захвата опрыскивателя осуществляется переход выполнения несущих конструкций штанг по схеме «легкая штанга» → «плоская ферма» [15].

Ширина захвата усиленных плоских штанг, выполненных по типу «плоская ферма», колеблется от 9 до 37 м. Их масса составляет 50...750 кг, а приведенная материалоемкость – 5,5...27,5 кг/м [14]. При увеличении длины данного типа штанги свыше 21 м ухудшается качество опрыскивания из-за существенных ее колебаний. Поэтому для данных условий используют несущую конструкцию усиленных про-

Таблица 2. Наличие и обеспеченность опрыскивателями сельскохозяйственных предприятий

Показатель	Год							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Количество опрыскивателей, шт.	4652	4819	4910	5019	5272	5274	5034	4912
Обеспеченность, %	88,7	91,9	93,6	95,7	100,5	100,6	96,0	93,7

Показатель	Год							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Количество опрыскивателей, шт.	4647	4361	4311	4147	4069	3986	3964	4006
Обеспеченность, %	88,6	83,1	82,2	79,1	77,6	76,0	75,6	76,4

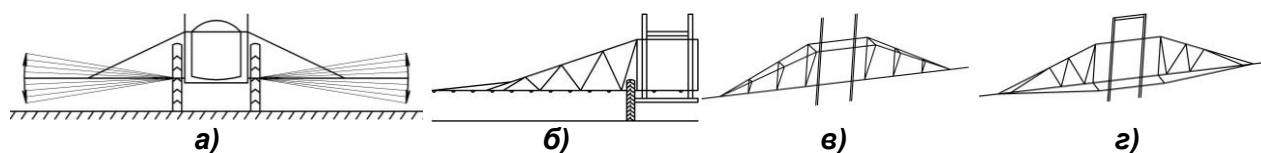


Рисунок 1. Схемы штанг: а – легкая; б – простая ферма; в, г – пространственная ферма

пространственных штанг, выполненных по типу «пространственная ферма», ширина захвата которых колеблется от 18 до 36 м. Их масса достигает 1000-1500 кг, а материалоемкость составляет 35...47 кг/м [14].

Рабочая ширина захвата современных навесных опрыскивателей достигает 24 м, прицепных (полунавесных) – 36, самоходных – 54 м. Использование опрыскивателей с шириной захвата штанги 18-24 м позволяет, при прочих равных условиях, увеличить производительность в сравнении с шириной захвата 12-18 на 33-50 % [6; 16]. Следует отметить, что увеличение ширины захвата влечет за собой усложнение навесной конструкции, использование различных подвесок штанг и систем гашения колебаний, что в конечном итоге сказывается на стоимости опрыскивателя. Жесткое крепление штанги или ее составных частей к несущей раме опрыскивателя оправдано только при ширине захвата до 15 м и рабочих скоростях до 6...7 км/ч [14, 15, 16]. В работе [17] на основе анализа комплексных затрат на внесение рабочих растворов методом опрыскивания сделан вывод, что с увеличением ширины захвата штанги сроки обработки сокращаются вследствие роста производительности. Оптимальной шириной захвата опрыскивателя является штанга длиной 21 метр.

Для повышения производительности используют опрыскиватели с увеличенным объемом основной емкости, что позволяет сократить время на транспортировку и заправку. Для навесных опрыскивателей объем основной емкости достигает 1500 литров, прицепных (полунавесных) – 5500 литров, самоходных 5000 литров [6]. При этом создаются дополнительные проблемы, связанные с увеличением давления на почву и устойчивостью агрегата. Допустимая масса опрыскивателя с заправленными емкостями, навешиваемого на заднюю навеску трактора, может составлять для БЕЛАРУС 1221 – 3114 кг, для БЕЛАРУС 800-950 – 2174 кг [6]. Навесные опрыскиватели отличаются маневренностью и более низкой стоимостью, что положительно сказывается на показателях экономической эффективности выполнения технологических операций на малоконтурных полях. Самоходные опрыскиватели с большой заправочной емкостью и широкой захватной штангой способны обеспечить наивысшую производительность на полях с большой длиной гона. С учетом рабочей скорости движения они имеют показатели, по производительности сравнимые с авиационной техникой, при значительно высоком качестве использования рабочих растворов и себестоимости выполнения работ. За счет этого обеспечивается выполне-

ние работ в оптимальные агротехнические сроки, создаются предпосылки для эффективной борьбы с вредителями, болезнями, сорняками и более полного сохранения урожая. Современные прицепные опрыскиватели сохраняют достоинства самоходных машин по объему заправляемой жидкости и ширине захвата. В то же время прицепные и навесные машины позволяют более рационально использовать энергетические средства в межсезонный период.

Необходимое количество полевых штанговых опрыскивателей и их типов для сельскохозяйственного предприятия с учетом площади посевов (S , га) и наличия свободных тракторов ($K_{тр}$, шт.) можно определить по графической зависимости (рис. 2).

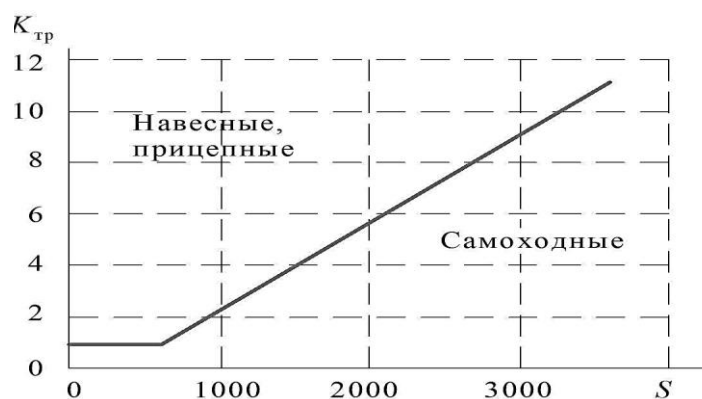


Рисунок 2. Графическая зависимость для определения потребности сельскохозяйственного предприятия в штанговых опрыскивателях [10]

Если точка пересечения показателей лежит выше линии обеспеченности графика, значит выполнение работ по химической защите растений в установленные сроки обеспечат навесные или прицепные опрыскиватели, если ниже – имеется необходимость в приобретении самоходного.

Решением проблемы рационального использования опрыскивателей является не увеличение основной емкости, а эффективное использование рабочих растворов, позволяющее при условии высокого качества покрытия обрабатываемых поверхностей каплями пестицида снизить удельный их расход до 80-150 л/га. Неравномерность распределения рабочей жидкости вдоль штанги опрыскивателя характеризуется коэффициентом вариации. На каждый процент неравномерности распределения рабочей жидкости приходится 0,4 % (по объему) его непроизводительного использования, то есть если опрыскиватель распределяет рабочую жидкость с коэффициентом вариации 20 %, то около 8 % раствора пестицида теряется [3; 6; 16; 20]. Если избежать указанных потерь, можно зна-

чительно снизить дозировку пестицида на единицу площади. На рисунке 3 представлена зависимость эффективности применения пестицидов от неравномерности их внесения, полученная по результатам исследований ученых Шведского университета сельскохозяйственных наук (г. Упсала) [3; 6].

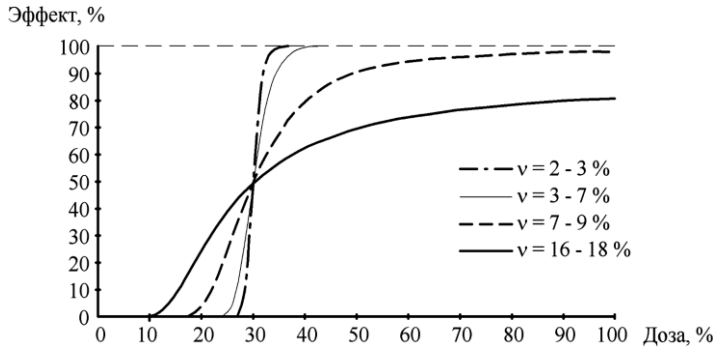


Рисунок 3. Графические зависимости эффективности применения пестицидов при различной неравномерности их распределения

Анализ графиков показывает, что при коэффициенте вариации менее 7 % достигается 100 %-я эффективность при снижении дозы внесения более чем в 2 раза. В случае высокой неравномерности (более 16 %) невозможно достичь приемлемой эффективности даже при полной дозе применения препарата. Приведенные данные позволяют рассматривать неравномерность распределения как один из важнейших показателей качества опрыскивания. В результате проведенных исследований малообъемного опрыскивания при обработке полевых культур штанговыми опрыскивателями установлено, что внесение 60-135 л/га рабочей жидкости против общепринятых 400-600 л/га позволяет на 50-100 % повысить производительность агрегатов и в 3-5 раз уменьшить затраты на доставку жидкости [18].

Увеличение рабочей скорости движения может осуществляться до наибольшей, предельно разрешенной агротехническими требованиями к выполнению данной операции ($v_{p \max} = 12$ км/ч). Данное значение обусловлено способностью всех систем и узлов опрыскивателя обеспечить требуемое качество выполнения технологического процесса в заданных условиях работы. В работе [19] приведены результаты исследований влияния увеличения рабочей скорости опрыскивателя на величину составляющих баланса времени смены. Отмечено, что повышение рабочей скорости приводит к снижению рабочего времени в балансе времени смены, в связи с увеличением времени на заправку агрегата. При этом приращение рабочей скорости на одну единицу позволяет увеличить производительность агрегата, при прочих равных условиях, на все меньшую величину. Так, при возрастании теоретической рабочей скорости движения опрыскивателя от 10...15 до 40...50 км/ч затраты времени на заправку рабочим раствором пестицидов возрастают в 2,0...2,5 раза, а рабочее время сокращается в 1,5...1,7 раза. Коэффициент использования времени цикла самоходного агрегата снижается на

20...50 % в сравнении с использованием прицепного. В результате сделан вывод о необходимости сокращения времени заливок, влияющего на величину коэффициента использования времени смены. В данной работе не учтен тот факт, что при работе на повышенных скоростях капли рабочего раствора пестицида подвергаются дополнительному воздействию набегающего потока воздуха, создаваемого движущимся агрегатом. Так, при скорости 8 км/ч на капли действует воздушный поток скоростью 2 м/с, а при скорости 30 км/ч – 8 м/с [3; 9; 16; 20]. Кроме того, при скорости более 25 км/ч обработку производить физически невозможно [21]. Около машины создается зона пониженного давления, и капли затягиваются под нее потоками воздуха. Также следует учитывать, что норма внесения должна быть согласована с рабочей скоростью опрыскивателя и давлением в системе. Увеличение скорости движения, как правило, приводит к снижению фактической нормы внесения, а давление напрямую связано с размерными характеристиками капель факела распыла рабочей жидкости. Значит, при исследованиях следует учитывать тот факт, что качество выполнения технологического процесса при увеличении рабочей скорости снижается.

Поэтому важным элементом при обосновании конструкции полевых штанговых опрыскивателей является комплексное взаимосвязанное обоснование их технологических параметров: объема основной емкости (V , л), рабочей ширины захвата (B_p), рабочей скорости (v_p). Коэффициент использования времени смены τ учитывает время эффективной работы агрегата и определяется по формуле [22]

$$\tau = \frac{T_p}{T}, \quad (2)$$

где T_p – чистое рабочее время, ч;

T – нормативное время смены, ч.

Время смены при техническом нормировании определяется по формуле [22]

$$T = T_p + t_x + t_1 + t_2 + t_5 + t_6, \quad (3)$$

где t_x – время на холостые повороты и заезды при работе на загоне, ч;

t_1 – время остановок агрегата на технологическое обслуживание, ч;

t_2 – время на техническое обслуживание агрегата в поле, ч;

t_5 – время на отдых и личные надобности механизатора, ч;

t_6 – подготовительно-заключительное время, ч.

Чистое рабочее время определяется по формуле

$$T_p = \frac{l_{\text{ост}} \cdot n_{\text{ц}}}{10^3 \cdot v_p}, \quad (4)$$

где $l_{\text{ост}}$ – путь между технологическими остановками, м,

$n_{\text{ц}}$ – количество циклов работы агрегата за смену.

Путь между двумя технологическими остановками равен

$$l_{\text{ост}} = \frac{10^4 \cdot V \cdot \lambda \cdot \gamma}{B_p \cdot h}, \quad (5)$$

где λ – коэффициент использования технологической емкости;

γ – плотность рабочего раствора, т/м³;

h – норма внесения рабочего раствора, т/га.

Количество циклов определяется по формуле

$$n_{\text{ц}} = \frac{T - t_2 - t_5 - t_6}{t_{\text{ц}}}, \quad (6)$$

где $t_{\text{ц}}$ – время цикла (между двумя технологическими обслуживаниями), ч,

$$t_{\text{ц}} = \left(\frac{10^{-3} \cdot l_{\text{ост}}}{v_p \cdot \phi} + t_{01} \right), \quad (7)$$

где ϕ – коэффициент рабочих ходов;

t_{01} – время одной остановки на технологическое обслуживание, ч,

$$t_{01} = \frac{1}{60} \left(\frac{V}{10^{-3} \cdot Q_H} + t_0 \right), \quad (8)$$

где Q_H – производительность насоса при заправке, л/мин;

t_0 – время на подготовку агрегата к заправке и к продолжению работы, мин.

Время остановок агрегата на технологическое обслуживание за смену

$$t_1 = t_{01} n_{\text{ц}}. \quad (9)$$

В общем случае формулу для определения коэффициента использования времени смены при работе штанговых опрыскивателей можно записать в следующем виде:

$$\tau = 10 \cdot V \cdot \lambda \cdot \gamma \cdot (T - t_2 - t_5 - t_6) \times \left[v_p \cdot B_p \cdot h \cdot \left(\frac{10^{-3} \cdot l_{\text{ост}}}{v_p \cdot \phi} + \frac{1}{60} \left(\frac{V}{10^{-3} \cdot Q_H} + t_0 \right) \right) T \right]^{-1}. \quad (10)$$

Анализ данной формулы показывает, что теоретически увеличить величину коэффициента использования времени смены можно за счет рациональных значений параметров, входящих в формулу: объем основной технологической емкости, коэффициент рабочих ходов, рабочей скорости и ширины захвата агрегата, нормы внесения рабочего раствора и др. Время на холостые повороты зависит от кинематической длины агрегата, скорости его движения и количества поворотов за смену на данной площади поля. В зависимости от условий работы (конфигурация и уклон поля, длина гона) и типа агрегата (навесной, прицепной, самоходный) имеются различные способы его

движения, параметры которых влияют на значение коэффициента рабочих ходов ϕ . При этом наблюдается парадоксальная ситуация: увеличение рабочей скорости и ширины захвата опрыскивателя прямым образом влияют на возрастание его производительности и косвенным – на ее снижение, возникающее вследствие уменьшения коэффициента использования времени смены, вызванное возрастанием затрат времени на технологические остановки, связанные с заправкой.

При выборе типа штангового опрыскивателя и рациональной величины основной емкости следует также учитывать реальные размеры обрабатываемых полей. Известно, что при увеличении длины гона производственные затраты на выполнение технологических операций снижаются [23]. Для Беларуси характерны следующие размеры полей: до 3 га – 15% полей; 3-10 га – 15% полей; 11-25 га – 45% полей [6]. Средняя длина гона полей в республике составляет 505 метров: в Брестской области – 562; Витебской – 377; Гомельской – 583; Гродненской – 472; Минской – 532; Могилевской – 533 метров [24].

Эффективность химической защиты растений может быть сведена к минимуму или быть достаточной при больших производственных и материальных затратах и повышенном воздействии на окружающую среду [25], вследствие использования технически неисправных или неотрегулированных технических средств. Поэтому важным элементом обеспечения качества выполнения технологических операций внесения средств защиты растений является оценка технического состояния используемых машин. Штанговые опрыскиватели должны подвергаться диагностике, профессиональным настройкам и регулировкам с использованием необходимой материально-технической базы [12; 20]. В некоторых странах Западной Европы каждая машина, используемая для внесения химических средств защиты растений, должна периодически проходить проверку и получать допуск на ее эксплуатацию.

Для решения данных задач в республике целесообразно на базе отделений РО «Белагросервис» и предприятий сельскохозяйственного машиностроения – изготовителей опрыскивателей создать специализированные центры для диагностики и оценки технического состояния опрыскивателей, проведения необходимого их технического обслуживания и ремонта с выдачей документа, дающего право на использование машины для выполнения технологических операций внесения средств химизации в растениеводстве.

На основе результатов многолетних исследований в учреждении образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» при участии Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Государственного учреждения «Белорусская машиноиспытательная станция», Республиканского научного дочернего унитарного предприятия «Институт защиты растений», Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», учреждения образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», ООО «Ремком», ООО

«СелАгро», ОАО «Мекосан» была разработана методика оценки технического состояния полевых штанговых опрыскивателей и технологических требований к ним [18], содержащая последовательность проведения операций диагностики штанговых опрыскивателей и перечень используемого оборудования. На ее основе разработан проект Технического кодекса установившейся практики «Техника. Сельскохозяйственные опрыскиватели. Основные положения и технологический процесс оценки технического состояния». Согласно данному кодексу, процесс оценки технического состояния опрыскивателей можно условно разделить на две стадии: оценка состояния узлов без заправки и с заправкой основной емкости рабочей жидкостью (водой). Первая стадия может проводиться на ровной площадке, как правило, под открытым небом, вторая – на ровной площадке под открытым небом при идеальных погодных условиях или в закрытом помещении для исключения влияния на результаты оценки факторов окружающей среды. Структурная схема процесса оценки технического состояния полевых штанговых опрыскивателей, отражающая состав и последовательность проведения технологических операций, представлена на рисунке 4. Завершающими стадиями являются обработка результатов проверки технического состояния полевых штанговых опрыскивателей и составление протокола оценки технического состояния.

Заключение

В статье определены направления повышения эффективности использования полевых штанговых опрыскивателей, связанные с соблюдением агротехнических сроков выполнения работ, повышением качества выполнения технологических операций при снижении потерь и нормы внесения рабочих растворов. Обоснована необходимость проведения комплексных исследований и анализа по определению степени влияния отдельно взятого фактора на эффективность работы штангового опрыскивателя.

Создание специализированных центров диагностики, технического обслуживания и ремонта опрыскивателей позволит повысить эффективность проводимых технологических операций вследствие допуска к выполнению технологических операций технически исправных сельскохозяйственных машин. Для комплексного и качественного выполнения работ по оценке технического состояния штанговых опрыскивателей разработана соответствующая методика оценки их технического состояния и технологический процесс проведения диагностических операций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Подкопаев, В.Н. Повышение качества и сокращение потерь зерна / В.Н. Подкопаев. – М: Хлебпродинформ, 2002. – 192 с.
2. Чеботарев, В.П. Механико-технологические основы совершенствования комплексов машин для послеуборочной обработки зерна: дисс. ... д-ра техн.

наук: 05.20.01 / В.П. Чеботарев. – Минск: БГАТУ, 2015. – 554 с.

3. Крук, И.С. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей / И.С. Крук, Т.П. Кот, О.В. Гордеенко. – Минск: БГАТУ, 2015 – 284 с.

4. Сорока, С.В. Перспективы повышения эффективности защиты растений в Республике Беларусь на 2021-2030 гг. / С.В. Сорока, Е.А. Якимович // Защита растений в условиях перехода к точному земледелию: материалы междунар. научн. конф., аг. Прилуки, 27-29 июля 2021 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Научн.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию, Институт защиты растений. – Минск: Колорград, 2021. – С. 7-20.

5. Государственная программа «Химические средства защиты растений на 2008-2013 гг.: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 13 июня 2008 г., № 858 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2008.

6. Клочков, А.В. Механизация химической защиты растений: монография / А.В. Клочков, А.Е. Маркевич. – Горки: БГСХА, 2008. – 228 с.

7. Lechler. Теория и практика опрыскивания / И.А. Редкозубов [и др.]. – Lechler, 2010. – 19 с.

8. Якимович, Е.А. Влияние погодных условий на эффективность пестицидов / Е.А. Якимович [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mshp.gov.by/information/materials/zem/plantprotection/adfd6c9576801f5c.html>. – Дата доступа: 10.10.2021.

9. Гордеенко, О.В. Повышение эффективности ухода за посевами овощных культур на гребнях совершенствованием оборудования для точечного внесения гербицидов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / О.В. Гордеенко. – Горки, 2004. – 169 с.

10. Клочков, А.В. Снижение потерь пестицидов при опрыскивании: монография / А.В. Клочков, П.М. Новицкий, А.Е. Маркевич. – Горки: БГСХА, 2017. – 230 с.

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

12. Степук, Л.Я. Механизация, экологизация и экономика сферы химизации земледелия Беларуси: проблемы и пути решения / Л.Я. Степук, В.Р. Петровец // Вестник БГСХА, 2020. – № 2. – С.198-204.

13. Сорока, С.В. Состояние и пути повышения эффективности защиты растений в 2005–2010 гг. / С.В. Сорока // Интегрированные системы защиты сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней и сорняков: рекомендации / Национальная академия наук Беларуси; Респуб. научн. унит. предприятие «Инст-т защиты растений» НАН Беларуси. – С. 10-18.

14. Ченцов, В.В. Сельскохозяйственные машины (основные тенденции развития тракторных опрыскивателей) / В.В. Ченцов. – М.: ЦНИИТЭИ Тракторное и с.-х. машиностроение, 1984. – Вып. 12. – 58 с.

15. Вікович, І.А. Конструкції і динаміка штангових обприскувачів: монографія / І.А. Вікович. – Львів: Видавн. Нац. універс. «Львівська політехніка», 2003. – 460 с.



Рисунок 4. Структурная схема процесса оценки технического состояния полевых штанговых опрыскивателей

16. Крук, И.С. Научно-технические основы проектирования рабочих органов штанговых опрыскивателей / И.С. Крук. – Минск: БГАТУ, 2018. – 272 с.

17. Константинов, М.М. Техничко-экономическое обоснование ширины захвата штангового опрыскивателя / М.М. Константинов, Е.С. Петренко // Известия ОГАУ, 2018. – № 1(68). – С.122-125.

18. Прокопенко, С.Ф. Малообъемное опрыскива-

ние сельскохозяйственных культур / С.Ф. Прокопенко, В.В. Ченцов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 62 с.

19. Зырянов, А.П. Теоретическое исследование баланса времени смены работы опрыскивателя / А.П. Зырянов, Д.В. Гуляев // Вестник ЧГАА, 2013. – Т. 65. – С. 20-23.

20. Методика оценки технического состояния полевых штанговых опрыскивателей и технологические требования к ним / С.К. Карпович, Л.А. Мари-

нич, И.С. Крук [и др.]; под общ. ред. И.С. Крука. – Минск: БГАТУ, 2016. – 140 с.

21. Литвиненко, Р.Н. Опрыскивание: инструкция по применению / Р.Н. Литвиненко, В.И. Балабанов, Е.В. Березовский // Новый аграрный журнал. – 2011. – № 2. – С. 56-58.

22. Эксплуатация машинно-тракторного парка: учеб. пособие; под общ. ред. Ю.В.Будько. – Минск: Ураджай, 1991. – 336 с.

23. Крук, И.С. Повышение эффективности химической защиты посадок картофеля от сорняков усовершенствованием культиватора-опрыскивателя: дис.

... канд. техн. наук: 05.20.01 / И.С. Крук. – Горки, 2001. – 200 с.

24. Клебанович, Н.В. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель: метод. указ. по выполнению практикума по курсу «Земельный кадастр» / Н.В. Клебанович. – Минск: БГУ, 2006. – 48 с.

25. Пунцулис, П. Аспекты оценки экологического риска при эксплуатации полевых опрыскивателей / П. Пунцулис, И. Закис // Environment. Technology. Resources. – 2003. – С. 225-231.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 05.09.2022

УДК 621.878.44

ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ МАЛОГАБАРИТНОГО ПОГРУЗЧИКА С БОРТОВЫМ ПОВОРОТОМ

А.Н. Смирнов,

доцент каф. стандартизации, метрологии и инженерной графики БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

П.В. Авраменко,

зав. каф. стандартизации, метрологии и инженерной графики БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Н.Г. Серебрякова,

зав. каф. моделирования и проектирования БГАТУ, канд. пед. наук, доцент

К.А. Омелящик,

студент агроэнергетического факультета БГАТУ

В статье предложена и обоснована энергосберегающая система погрузчика с пружинными аккумуляторами, а также приведена методика ее расчета.

Ключевые слова: погрузчик, энергосберегающая система, погрузочное оборудование, ковш.

A power-efficient system of a loader with spring batteries is presented and substantiated, and a calculation method for it is provided in the article.

Key words: loader, power-efficient system, loading equipment, bucket.

Введение

Важной проблемой на современном этапе является рациональное расходование топливноэнергетических ресурсов, так как их запасы ограничены и стоимость постоянно растет. В связи с этим приобретают актуальность вопросы улучшения топливноэнергетических показателей машин и, в частности, фронтальных погрузчиков, которые находят широкое применение во многих отраслях народного хозяйства, в том числе и в агропромышленном комплексе.

Выпуск одноковшовых фронтальных погрузчиков с каждым годом растет. В комплекте со сменными рабочими органами они могут выполнять строительные, дорожные, монтажные и другие работы [1]. Погрузчики, имеющие комплект сменных рабочих органов и приспособленные для работы с ними, являются универсальными. Для повышения конкурентоспособности погрузчиков перед разработчиками стоит задача увеличения их производительности и долговечности,

снижения потребления топлива вновь создаваемых машин по сравнению с существующими образцами.

Существует тенденция к созданию энергосберегающих технологий и машин. В частности таким направлением является разработка и применение на фронтальных погрузчиках энергосберегающего гидропривода (ЭСГП), обеспечивающего снижение энергозатрат при работе, повышение производительности, экономию топлива, снижение нагруженности гидрооборудования и увеличение его ресурса.

Теоретическим и экспериментальным исследованиям гидроприводов одноковшовых фронтальных погрузчиков, вопросам их динамики, совершенствования кинематики погрузочного оборудования, разработке ЭСГП посвящены работы Абрамова С.В., Акользиной П.С., Алексеевой Т.В., Бородачева И.П., Вавилова А.В., Гобермана Л.А., Забегалова Г.В., Лесковца И.В., Лукина А.М. Подсвинова А.Н., Поникарова Г.И., Тарасова В.Н., Теремязева Г.И., Щемелева А.М. и др.

Одним из путей повышения эффективности работы погрузчиков и снижения расхода топлива является рекуперация энергии при выполнении операций рабочего цикла, создание машин, работающих с высоким КПД, и рационализация их режимов работы.

Проблемой разработки ЭСПП на основе использования энергии силы тяжести погрузочного оборудования занимались в Сибирском автомобильно-дорожном институте (СибАДИ) [2-10] и в ряде стран за рубежом.

Недостатком существующих ЭСПП является то, что они рекуперировать потенциальную энергию силы тяжести погрузочного оборудования в масляно-азотные пневмогидроаккумуляторы (ПГА), что приводит к значительным потерям энергии в последних в связи с политропным процессом сжатия и расширения, усложнению конструкции и заправке их газом. Конструктивные схемы гидроприводов и режимы их работы являются также недостаточно рациональными, (требуется установка дополнительного гидроцилиндра). Таким образом, существует необходимость дальнейшего совершенствования конструкций фронтальных погрузчиков с целью повышения их эффективности.

В связи с этим данная работа является актуальной в области строительного и дорожного машиностроения, в частности, фронтальных погрузчиков, так как она позволит улучшить их технико-экономические показатели.

Целью настоящей работы является обоснование и разработка альтернативного варианта энергосберегающей системы малогабаритного погрузчика с бортовым поворотом для снижения энергозатрат при подъеме груза путем уравнивания веса порожнего погрузочного оборудования, повышения производительности (грузоподъемности) и уменьшения расхода топлива без применения ПГА и установки дополнительного гидроцилиндра.

Основная часть

Рассмотрим процесс подъема стрелы фронтального погрузчика с теоретической и практической точек зрения с целью определения энергозатрат и максимального их использования.

Полезной работой при подъеме будем считать подъем центра масс груза, находящегося в ковше, на определенную высоту.

При подъеме стреловые гидроцилиндры совершают работу для поднятия центра масс погрузочного оборудования с грузом в ковше на определенную высоту.

Проекция силы тяжести погрузочного оборудования с грузом в ковше $F_{ПГ}$ на оси декартовых координат в потенциальном силовом поле

$$F_{ПГx} = -\frac{\partial \Pi}{\partial x}, F_{ПГy} = -\frac{\partial \Pi}{\partial y}, F_{ПГz} = -\frac{\partial \Pi}{\partial z}, \quad (1)$$

где Π – потенциальная энергия механической системы.

Элементарная работа dA сил тяжести в потенциальном силовом поле

$$dA = -\left(\frac{\partial \Pi}{\partial x} dx + \frac{\partial \Pi}{\partial y} dy + \frac{\partial \Pi}{\partial z} dz \right) = -\partial \Pi, \quad (2)$$

то есть равна со знаком (-) полному дифференциалу от потенциальной энергии.

Тогда работа силы тяжести при подъеме из нижнего положения в верхнее

$$\int_{H_1}^{H_2} dA = -\int_{H_1}^{H_2} \partial \Pi, \quad (3)$$

$$A_{1-2} = -(\Pi_2 - \Pi_1) = \Pi_1 - \Pi_2,$$

где A_{1-2} – работа по перемещению из положения H_1 в положение H_2 ;

Π_1 и Π_2 – потенциальная энергия соответственно в этих положениях.

Следовательно, работа $A_{ПГ}$, совершаемая стреловыми гидроцилиндрами, при перемещении центра масс погрузочного оборудования из нижнего положения в верхнее на высоту ΔH (м) не зависит от формы его траектории и равна

$$A_{ПГ} = F_{ПГ} (H_2 - H_1) = F_{ПГ} \Delta H, \quad \text{Дж}, \quad (4)$$

где $F_{ПГ}$ – сила тяжести погрузочного оборудования с грузом в ковше, Н.

Для рекуперации потенциальной энергии используем две пружины кручения, устанавливаемые прицепами между рамой и стрелой (рис. 1).

В процессе опускания стрелы пружины кручения накапливают потенциальную энергию, а при ее подъеме отдают, совершая полезную работу.

При разработке энергосберегающей системы исходим из того, чтобы пружины кручения полностью уравнивали вес погрузочного оборудования без груза в ковше в нижнем положении стрелы.

Находим наибольший рабочий крутящий момент, воспринимаемый одной пружиной, Н·мм

$$M_2 = F_{ПГ} h / n,$$

где $F_{ПГ}$ – вес погрузочного оборудования без груза в ковше, Н;

h – плечо силы $F_{ПГ}$ относительно шарнира поворота стрелы, мм;

n – число пружин кручения.

Принимаем пружину кручения III класса 2 разряда из стали 60С2А, максимальное касательное напряжение при кручении $\tau_3 = 1350$ МПа, НРС 53 ... 57 [11].

Допускаемое напряжение на изгиб, МПа

$$[\sigma_{из}] = 1,25 \tau_3.$$

Индекс пружины

$$c = D_0 / d,$$

где D_0 – средний диаметр пружины, мм;

d – диаметр проволоки, мм.

Коэффициент формы сечения и кривизны витка

$$K = (4c - 1) / (4c - 4).$$

Определяем диаметр проволоки пружины, мм

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 M_2 K}{\pi [\sigma_{из}]}}.$$

$$D_0 = c \cdot d.$$

Наружный диаметр $D_H = D_0 + d$.

Внутренний диаметр $D_B = D_0 - d$.

Принимаем наименьший рабочий крутящий момент, Н·мм

$$M_1 = 0,32 M_2.$$

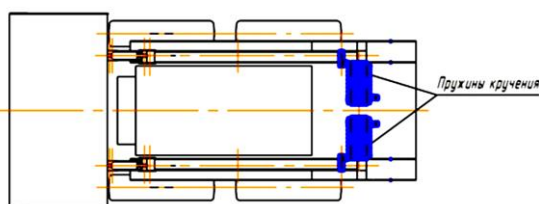
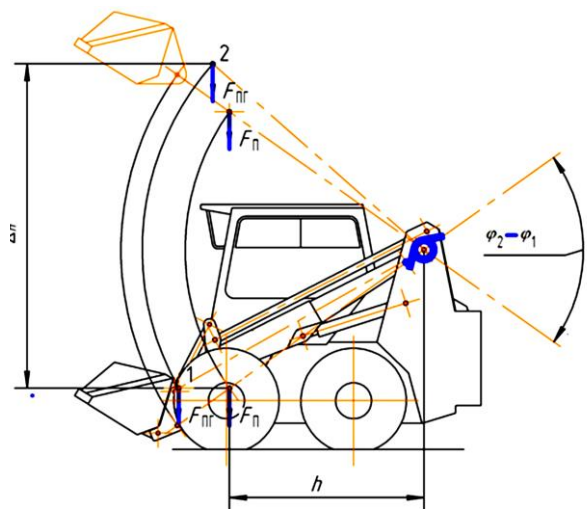


Рисунок 1. Малогабаритный погрузчик с бортовым поворотом с энергосберегающей системой

Предельный допустимый крутящий момент, Н·мм

$$M_3 = 1,25 M_2.$$

Определяем наименьший φ_1 и наибольший φ_2 рабочие углы закручивания пружины из соотношений

$$\varphi_1 / \varphi_2 = M_1 / M_2 = 0,32,$$

где $\varphi_2 - \varphi_1$ угол подъема стрелы, град.

Следовательно, $\varphi_1 = 0,32\varphi_2$.

Находим предельный угол закручивания, град

$$\varphi_3 = \varphi_2 \cdot M_3 / M_2.$$

Число рабочих витков

$$n = 1000 K \varphi_2 / 1,8 c [\sigma_{из}].$$

Наименьшее число витков (из условия устойчивости пружины)

$$n_{\min} = (\varphi_3 / 123,1)^4.$$

Принимаем зазор между витками $\delta = 0,1 \dots 0,5$ мм.

Шаг пружины, мм $t = d + \delta$.

Высота пружины в свободном состоянии, мм

$$l_0 = (n + 1)d + n\delta.$$

Длина развернутой пружины, мм

$$l_0 \approx 3,2D_0n + l_{\text{прц}},$$

где $l_{\text{прц}}$ – длина проволоки прицепов, мм.

Зависимость момента пружины от угла ее закручивания $M_{\text{ПР}} = f(\varphi)$ представлена на рисунке 2.

Определяем работу, совершаемую стреловыми гидроцилиндрами при перемещении погрузочного

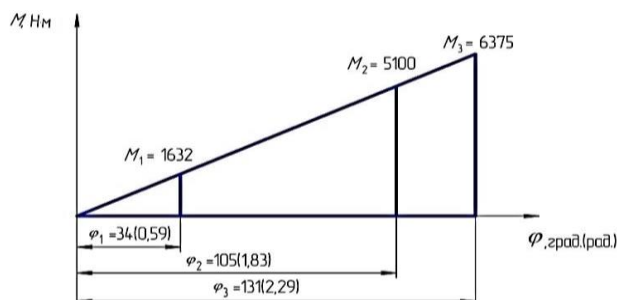


Рисунок 2. Характеристика пружины

оборудования с грузом в ковше из нижнего положения в верхнее

$$A_{\text{ПГ}} = F_{\text{ПГ}} \cdot \Delta H = (F_{\text{П}} + F_{\text{Г}}) \cdot \Delta H, \text{ Дж},$$

где ΔH – высота перемещения центра масс погрузочного оборудования, м;

$F_{\text{Г}}$ – вес груза в ковше, Н.

Определяем полезную работу, совершаемую пружинами, Дж

$$A_{\text{ПР}} = n (M_2 \varphi_2 - M_1 \varphi_1) / 2,$$

где φ_1 и φ_2 – углы, рад.

Согласно приведенной методике, была рассчитана энергосберегающая система малогабаритного погрузчика с бортовым поворотом Амкорд 208В грузоподъемностью 1,05 т.

Отношение работ составило:

$A_{\text{ПР}} / A_{\text{ПГ}} = 0,17$, что соответствует снижению энергозатрат на 17 %.

Для более детального рассмотрения характера изменения моментов при подъеме стрелы от веса погрузочного оборудования с грузом в ковше и от пружин кручения, а также затраченных ими на это работ был построен график $M = f(\varphi)$ (рис. 3), который является энергетической характеристикой системы.

Кривая 2-3-4 представляет зависимость $M_{\text{ПГ}} = f(\varphi)$, а прямая 6-7 зависимость $M_{\text{ПР}} = f(\varphi)$. Площадь, ограниченная криволинейной трапецией 1-2-3-4-5, есть работа, совершаемая стреловыми гидроцилиндрами при подъеме погрузочного оборудования с грузом в ковше из нижнего положения в верхнее. Площадь, ограниченная трапецией 1-6-7-5, представляет полезную работу, совершаемую пружинами кручения.

Момент от веса погрузочного оборудования с грузом в ковше

$$M_{\text{ПГ}} = F_{\text{ПГ}} h = F_{\text{ПГ}} L_c \sin \varphi, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где L_c – длина стрелы, м;

h, φ – соответственно, текущие плечо (м) и угол подъема стрелы, град.

Работа, совершаемая стреловыми гидроцилиндрами (без учета пружин) при подъеме стрелы из нижнего положения в верхнее:

$$\begin{aligned} A_{\text{ПГ}} &= \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M d\varphi = F_{\text{ПГ}} L_c \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sin \varphi d\varphi = \\ &= F_{\text{ПГ}} L_c \left| -\cos \varphi \right|_{\varphi_1}^{\varphi_2}, \text{ Дж}, \end{aligned}$$

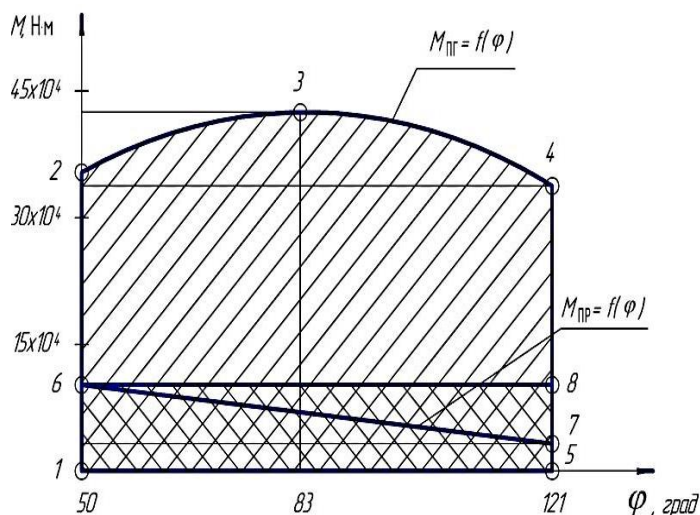


Рисунок 3. Энергетическая характеристика энергосберегающей системы погрузчика Амкодор 208В

где φ_1 и φ_2 — углы стрелы по отношению к вертикали, соответственно, в нижнем и верхнем положениях, рад.

Энергозатраты можно еще более снизить, если вместо традиционного принудительного опускания стрелы при движении погрузчика использовать плавающее с подачей рабочей жидкости их поршневых полостей стреловых гидроцилиндров на вход насосомотора погрузочного оборудования, который будет осуществлять «подкрутку» двигателя [12, 13] и дополнительная полезная работа при этом изобразится треугольником 6-8-7, а суммарная A_C — прямоугольником 1-6-8-5.

В этом случае отношение $A_C / A_{пр} = 0,26$, что дает снижение энергозатрат на 26 %.

Заключение

Разработана энергосберегающая система малогабаритного погрузчика с бортовым поворотом и методика ее расчета.

Проведенные расчеты показывают, что применение пружин кручения на погрузчике Амкодор 208В грузоподъемностью 1,05 т дает возможность:

- повысить грузоподъемность (производительность) погрузчика на 17%, снизив при этом энергозатраты на 9%;
- при одной и той же грузоподъемности снизить расход топлива на 26%;
- уменьшить давление в стреловых гидроцилиндрах или их типоразмер.

К их достоинствам также следует отнести:

- невысокая стоимость;
- не требуют обслуживания и срок их службы практически неограничен;
- komponуются в закрытом кожухе и не оказывают влияния на внешний дизайн машины.

Результаты исследований могут быть использованы при разработках новых конструкций малогабаритных погрузчиков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Базанов, А.Ф. Самоходные погрузчики / А.Ф. Базанов, Г.В. Забегалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 406 с.
2. Гидросистема рабочего оборудования погрузчика: а.с. 989004 СССР / В.Н. Тарасов, Ф.А. Кондрашин. – Оpubл. 15.01.1983.
3. Гидропривод одноковшового фронтального погрузчика и его варианты: а.с. 1214857 СССР / В.Н. Тарасов, А.Н. Подсви́ров, М.И. Козлов [и др.]. – Оpubл. 28.02.1986.
4. Разработка энергосберегающих систем одноковшовых фронтальных погрузчиков и методики их расчета: отчет о НИР (доп.) /; рук. темы Г.И. Теремязев. – Омск: СИБАДИ, 1987. – 32 с.
5. Гидропривод стрелового рабочего оборудования одноковшовой землеройной машины: а.с. 1409732 СССР / В.Н. Тарасов, М.В. Козлов, Г.И. Теремязев [и др.]. – Оpubл. 15.07.1988.
6. Гидропривод погрузчика: а.с. 1460147 СССР / В.Н. Тарасов, М.В. Козлов, Г.И. Теремязев [и др.]. – Оpubл. 23.02.1989.
7. Гидропривод рабочего оборудования погрузчика: а.с. 1516582 СССР / В.Н. Тарасов, Г.И. Теремязев, М.В. Козлов [и др.]. – Оpubл. 23.10.1989.
8. Лукин, А.М. Исследование энергосберегающей гидросистемы погрузочного оборудования фронтального погрузчика ТО-30А / А.М. Лукин, Г.И. Теремязев, А.Н. Подсви́ров. – Омск: СИБАДИ, 1989. – 9 с.
9. Подсви́ров, А.Н. Математическая модель энергосберегающего рабочего оборудования погрузчика / А.Н. Подсви́ров. – Омск: СИБАДИ, 1990. – 9 с.
10. Подсви́ров, А.Н. Разработка конструкции и методики расчета параметров погрузочного оборудования одноковшового фронтального погрузчика с энергосберегающим приводом: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.05.04 / А.Н. Подсви́ров; – Омск: СИБАДИ., 1992. – 20 с.
11. Ану́рьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. / В.И. Ану́рьев. – 6-е изд., перераб. и доп. – М: Машиностроение, 1982. – Т. 3. – 576 с.
12. Смирнов, А.Н. Рекомендации по повышению энергоэффективности одноковшовых фронтальных погрузчиков при эксплуатации / А.Н. Смирнов, П.В. Авраменко. – Минск: БГАТУ, 2020. – 76 с.
13. Смирнов, А.Н. Научно-технические основы проектирования фронтальных погрузчиков: монография / А.Н. Смирнов, П.В. Авраменко. – Минск: БГАТУ, 2021. – 172 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 19.09.2022

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ АПРОБАЦИЯ ДОИЛЬНОГО АППАРАТА С ИЗМЕНЯЕМЫМ ВАКУУММЕТРИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ

С.Н. Бондарев,

ассистент каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ

А.В. Китун,

профессор каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

В статье представлены результаты проведенных экспериментальных исследований и производственной апробации по определению рациональных значений конструктивных параметров шлюзовых каналов, изменяющих вакуумметрическое давление в доильном аппарате.

Ключевые слова: машинное доение, энергоемкость, доильный стакан, молоко, шлюзовые каналы, потребная мощность, производительность, производственная апробация.

The results of experimental studies and industrial approbation to determine the rational values of the design parameters of the sluice channels that change the vacuum pressure in the milking machine are presented in the article.

Key words: machine milking, energy intensity, milking cup, milk, sluice channels, required capacity, productivity, production approbation.

Введение

Анализ энергопотребления по отраслям сельского хозяйства показывает, что отрасль животноводства является одним из основных потребителей энергии в сельском хозяйстве, на долю которого приходится 17 – 21 % общих энергозатрат. Более 50 % от них приходится на фермы для содержания крупного рогатого скота, где одним из основных потребителей энергии является процесс машинного доения [1].

Машинное доение – это сложный процесс получения молока от коров и сбора его в молокоприемную емкость, который оказывает влияние на удельные затраты, качество и количество получаемого молока, а также на продуктивность и здоровье животного [2].

Одной из причин высоких удельных затрат на производство молока и снижение продуктивности коров является непропорциональное распределение вакуумметрического давления в доильном стакане при доении коровы. При разжати стенок сосковой резины доильного стакана происходит повышение вакуумметрического давления в подсосковой камере доильного стакана, приводящее к реверсивному движению молока из коллектора в подсосковые камеры доильных стаканов, на повторную транспортировку которого дополнительно затрачивается энергия. Также при реверсивном движении молока из коллектора в подсосковые камеры доильных стаканов происходит омывание сосков вымени коровы выдоенным молоком, приводящее к повышению риска заболеваемости животного маститом [3, 4].

Таким образом, поиск решений, исключающих реверсивное движение молока при доении коровы доильным аппаратом, а, следовательно, и снижение удельной энергоемкости процесса машинного доения

и риска заболеваемости коров маститом, является актуальной задачей.

Основная часть

Исключить реверсивное движение молока в доильном аппарате возможно снижением величины вакуумметрического давления в подсосковой камере доильного стакана во время такта «сжатие».

Решить поставленную задачу можно поступлением воздуха во время такта «сжатие» из межстенной камеры в подсосковую через шлюзовые каналы, выполненные в стенке сосковой резины и открывающиеся при ее сжатии. В этом случае вакуумметрическое давление в подсосковой камере доильного стакана станет меньше, чем в коллекторе доильного аппарата. За счет образовавшейся разницы давлений выдоенное молоко из подсосковой камеры по молочной трубке будет вытесняться в коллектор и далее в молокопровод, без каких-либо затрат энергии [4].

При такте «сосание» вакуумметрическое давление в подсосковой камере и коллекторе выровняется, а, следовательно, стенки шлюзового канала смыкаются и процесс доения коровы не нарушается.

Для создания эффективной работы доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением необходимо определить оптимальные параметры шлюзовых каналов.

С этой целью были выделены и определены наиболее значимые факторы, оказывающие влияние на энергоемкость процесса машинного доения коров доильным аппаратом, в сосковой резине доильных стаканов которого выполнены шлюзовые каналы (табл. 1).

Для определения оптимальных значений конструктивных параметров шлюзовых каналов проводились экспериментальные исследования на доиль-

Таблица 1. Уровни и интервалы варьирования факторов при проведении экспериментальных исследований

Наименование фактора	Кодированное обозначение	Натуральное обозначение	Интервалы варьирования	Уровни варьирования		
				-1	0	+1
1. Высота расположения шлюзовых каналов относительно присоска сосковой резины, мм	X_1	$h_{шл}$	25	40	65	90
2. Длина шлюзовых каналов, мм	X_2	$l_{шл}$	5	8	13	18
3. Количество шлюзовых каналов, шт.	X_3	$n_{шл}$	1	1	2	3

ной установке Westfalia (рис. 1) с использованием искусственного вымени, экспериментального доильного аппарата, газового счетчика РБГУГ2,5А и тестера VPR – 100.

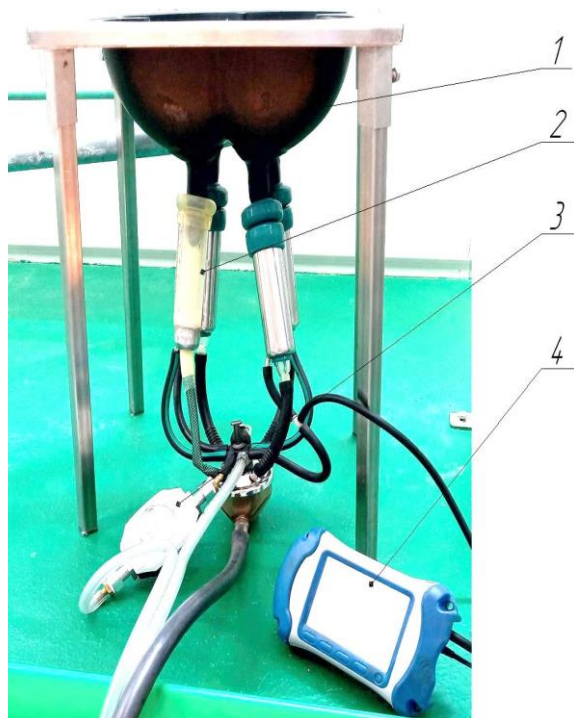


Рисунок 1. Экспериментальный доильный аппарат с изменяемым вакуумметрическим давлением: 1 – искусственное вымя; 2 – доильный стакан с изменяемым вакуумметрическим давлением; 3 – газовый счетчик РБГУ Г2,5А; 4 – тестер VPR-100

Для проведения экспериментальных исследований использовался доильный стакан (рис. 2), состоящий из гильзы 1 и сосковой резины 2, в стенке которой выполнены шлюзовые каналы 3 различной длины ($l_{шл}$), высотой расположения относительно присоска ($h_{шл}$) и их количеством ($n_{шл}$), согласно значениям параметров, представленных в таблице 1.

Так как шлюзовые каналы, выполненные в стенках сосковой резины доильного стакана, обеспечива-

ют поступление воздуха из межстенной камеры в подсосковую, во время такта «сжатие» для исключения реверсивного движения молока и снижения затрат энергии на процесс машинного доения, при проведении экспериментальных исследований, согласно матрице планирования трехфакторного эксперимента, определялась энергоемкость процесса машинного доения следующим образом:

1. Подключали газовый счетчик РБГ У Г2,5А в месте соединения шланга пульсатора с вакуумным распределителем и тестер VPR-100 (рис. 1).

2. Включалась вакуумная установка, заранее прогретая в течение одного часа.

3. В искусственное вымя заливался заменитель молока массой $m_{зм}=8,7$ кг, с помощью которого имитировалась молокоотдача коровы.

4. Экспериментальные доильные стаканы надевались на соски искусственного вымени при работающей вакуумной установке, и с помощью секундомера замерялось время $t_в$, затрачиваемое на выдаивание заменителя молока.

5. Выключалась вакуумная установка и определялся расход воздуха в доильном аппарате согласно показаниям газового счетчика по формуле

$$Q_в = \frac{(V_т - V_п)}{t_в}, \quad (1)$$

где $V_т$ – текущее показание газового счетчика, $м^3$;
 $V_п$ – предыдущее показание газового счетчика, $м^3$;
 $t_в$ – время, затрачиваемое на выдаивание заменителя молока, с.

6. Определялся расход заменителя молока в процессе машинного доения по формуле

$$Q_{зм} = \frac{m_{зм}}{\rho_{зм} t_в}, \quad (2)$$

где $m_{зм}$ – масса заменителя молока, $m_{зм}=8,7$ кг;
 $\rho_{зм}$ – плотность заменителя молока, $\rho_{зм}=1000$ кг/ $м^3$.

7. Производительность лабораторной доильной установки определялась по формуле

$$Q_{эксп} = \frac{3,6m_{зм}}{(t_{зм} + t_{пз})}, \quad (3)$$

где $t_{зм}$ – продолжительность выдаивания заменителя молока, с;

$t_{пз}$ – продолжительность подготовительно-заключительных операций, с.

8. Определялось значение энергоемкости процесса машинного доения с учетом формул (1)...(3)

$$\mathcal{E}_4 = \left[\frac{p_в \left(\frac{(V_п - V_т)}{t_в} + \frac{m_{зм}}{\rho_{зм} t_в} \right)}{1000 \eta_н} + N_{тр1} \right] \frac{(t_{зм} + t_{пз})}{3,6m_{зм}}, \quad (4)$$

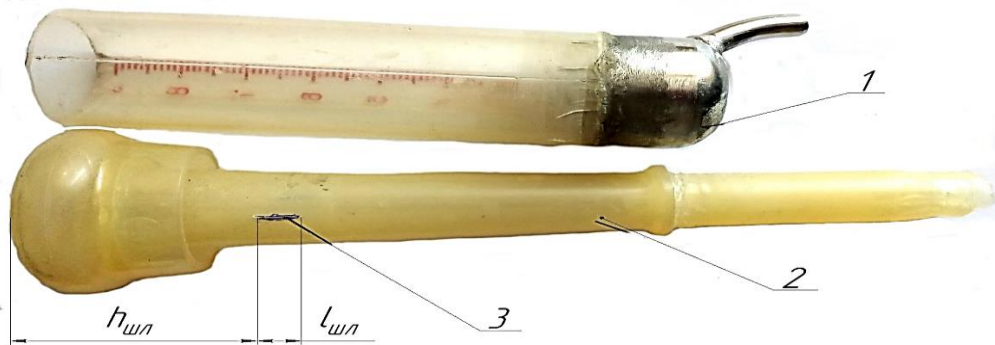


Рисунок 2. Устройство экспериментального доильного стакана: 1 – гильза доильного стакана; 2 – сосковая резина; 3 – шлюзовой канал

где p_v – вакуумметрическое давление в экспериментальной доильной установке, $p_v=40000$ Па;

η_n – коэффициент полезного действия вакуумного насоса, $\eta_n=0,48$;

$N_{тр1}$ – потребляемая мощность на транспортировку молока из доильного аппарата в молокоприемник доильной установки, кВт.

Результаты определения энергоёмкости процесса машинного доения с трехкратной повторностью представлены в таблице 2.

После обработки полученных результатов, согласно методике проведения экспериментальных исследований [5], было получено уравнение регрессии второго порядка в закодированном и раскодированном виде:

$$Y = 2,883 - 0,0979X_1 - 0,0911X_2 + 0,1782X_1^2 + 0,1489X_2^2 + 0,1410X_3^2 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \Theta_4 = & 6,150 - 0,0409h_{шл} - 0,173l_{шл} - \\ & - 0,564n_{шл} + 0,000285h_{шл}^2 + \\ & + 0,00595l_{шл}^2 + 0,141n_{шл}^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Для анализа полученного уравнения регрессии (6) построены поверхности отклика, представленные на рисунках 3...5.

Обобщенный анализ поверхностей отклика, представленных на рисунках 3...5, показал, что в зависимости от высоты расположения шлюзовых каналов относительно присоска сосковой резины ($h_{шл}$), суммарной длины шлюзовых каналов ($l_{шл}$) и количества шлюзовых каналов ($n_{шл}$), энергоёмкость процесса машинного доения (Θ_4) находится в пределах 2,856...3,54 кВт·ч/т.

Установлено, что при значениях конструктивных параметров шлюзовых каналов $h_{шл}=72$ мм; $l_{шл}=15$ мм; $n_{шл}=2$ шт., энергоёмкость процесса машинного доения снизится с 3,35 до 3,036 кВт·ч/т при вакуумметрическом давлении в доильном аппарате $p_v=40$ кПа; частоте пульсаций $\chi_{л}=62$ мин⁻¹ и соотношении тактов «сосание» и «сжатие» 60/40, соответствующих технической характеристике доильной установки Westfalia, на которой проводились экспериментальные исследования.

Реализация результатов исследования доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением проводилась в производственных условиях на МТФ в ОАО УКХ «ММЗ» «Светлая Нива» Пуховичского района Минской области.

При производственной апробации доильного аппарата с изменяемым давлением в производственных условиях были отобраны две контрольные группы

Таблица 2. Результаты измерений энергоёмкости процесса машинного доения при проведении трехфакторного эксперимента по матрице планирования второго порядка

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_{cp}	S^2	Y_p
1	3,210	3,110	3,680	3,33	0,0926	3,167
2	3,470	3,210	3,110	3,26	0,0345	2,962
3	3,100	3,110	3,060	3,09	0,0007	2,976
4	2,390	2,960	2,690	2,68	0,0813	2,789
5	2,760	3,500	3,200	3,15	0,1385	3,083
6	2,890	2,980	2,610	2,83	0,0372	2,878
7	2,750	2,860	3,150	2,92	0,0427	2,892
8	2,840	2,710	3,360	2,97	0,1183	2,705
9	2,960	2,650	2,580	2,73	0,0409	2,753
10	2,920	2,720	2,990	2,88	0,0196	3,135
11	2,650	2,590	2,610	2,62	0,0009	2,897
12	2,540	2,910	2,760	2,74	0,0346	2,864
13	2,480	3,060	2,470	2,67	0,1141	2,643
14	2,490	2,950	2,590	2,68	0,0585	2,804
15	2,420	2,650	3,050	2,71	0,1016	2,702

животных по 10 коров в каждой, с одинаковой среднегодовой продуктивностью. Машинное доение первой контрольной группы производилось серийным доильным аппаратом, а второй контрольной группы – доильным аппаратом с изменяемым вакуумметрическим давлением.

Кроме того, в процессе производственной апробации доильного аппарата проводились измерения величины вакуумметрического давления, частоты пульсаций, расхода воздуха, времени машинного доения и параметров работы пульсатора согласно ISO 3918:2007, ISO 5707: 2007 и ГОСТ 34496–2018 [6-8].

Результаты производственной апробации представлены в таблице 3.

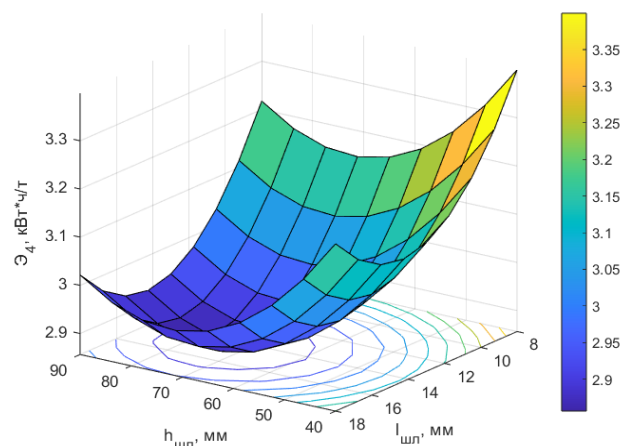


Рисунок 3. Зависимость энергоёмкости процесса машинного доения (\mathcal{E}_d) от высоты расположения ($h_{шл}$) и суммарной длины ($l_{шл}$) шлюзовых каналов

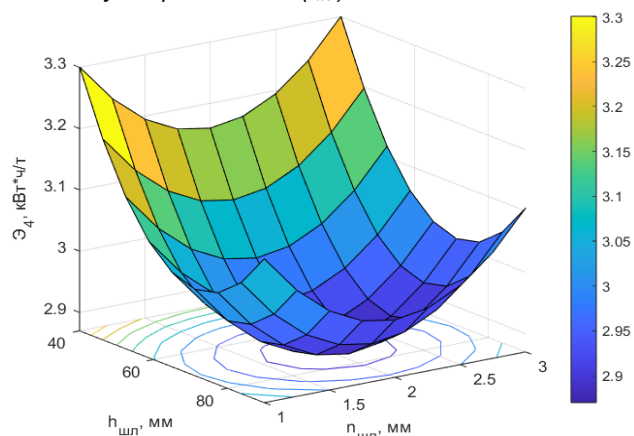


Рисунок 4. Зависимость энергоёмкости процесса машинного доения (\mathcal{E}_d) от высоты расположения ($h_{шл}$) и количества ($n_{шл}$) шлюзовых каналов

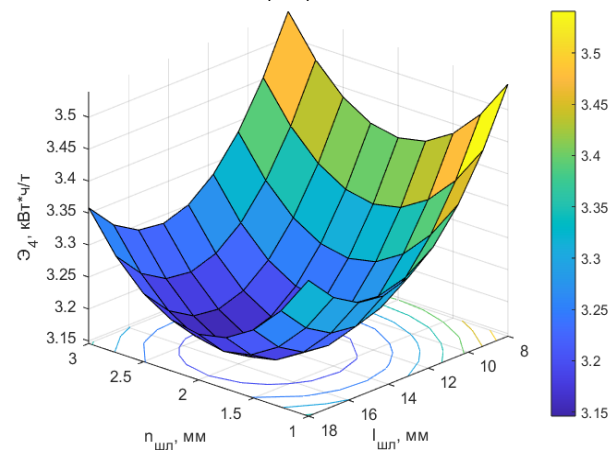


Рисунок 5. Зависимость энергоёмкости процесса машинного доения (\mathcal{E}_d) от количества ($n_{шл}$) и суммарной длины ($l_{шл}$) шлюзовых каналов

Проанализировав данные таблицы 3, установлено, что удельная энергоёмкость процесса машинного доения доильным аппаратом с изменяемым вакуум-

метрическим давлением на 9,3 % меньше, чем у серийного доильного аппарата.

Расчет экономической эффективности применения доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением проведен согласно ТКП 151-2008 «Методы экономической оценки. Порядок определения показателей» [9] (табл. 4).

Коэффициент снижения энергоёмкости процесса машинного доения животных определен по формуле [10]

$$K_e = \frac{E_{п2}}{E_{п1}} = \frac{2,485}{2,741} = 0,907, \quad (7)$$

где $E_{п1}$ – удельные затраты энергии на процесс машинного доения сравниваемого доильного аппарата, кВт·ч/т;

$E_{п2}$ – удельные затраты энергии на процесс машинного доения доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением, кВт·ч/т.

Основным критерием энергетической эффективности исследуемого процесса является уровень интенсификации, который определен по формуле [10]

$$I_e = (1 - K_e) \cdot 100 = (1 - 0,907) \cdot 100 = 9,3 \%. \quad (8)$$

Годовой экономический эффект на тонну надоя молока составит 0,44 рубля, уровень интенсификации – 9,3 %, срок окупаемости – 0,8 года.

Экономический эффект от использования доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением обеспечивается снижением удельной энергоёмкости процесса машинного доения за счет исключения реверсивного движения молока в доильном аппарате.

Заключение

1. По результатам проведенных экспериментальных исследований было получено уравнение регрессии, описывающее зависимость изменения удельной энергоёмкости процесса машинного доения коров от конструктивных параметров шлюзовых каналов. Исключение реверсивного движения молока в доильном аппарате будет происходить при следующих параметрах шлюзовых каналов: высота расположения шлюзовых каналов относительно присоска $h_{шл} = 72$ мм; длина шлюзовых каналов $l_{шл} = 15$ мм, их количество $n = 2$ шт. При указанных параметрах шлюзовых каналов удельная энергоёмкость процесса машинного доения на лабораторной доильной установке Westfalia снизилась с 3,35 до 3,036 кВт·ч/т (10,34 %) при вакуумметрическом давлении в доильном аппарате $p_b = 40$ кПа; частоте пульсаций $\chi_n = 62$ мин⁻¹ и соотношении тактов «сосание» и «сжатие» 60/40.

2. Результаты производственной апробации доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением в ОАО УКХ «ММЗ» «Светлая Нива» показали, что годовой экономический эффект от его использования составит 0,44 руб./т (в ценах 2022 г.), а уровень интенсификации – 9,3 %.

Таблица 3. Результаты производственной апробации доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением

Наименование показателя	Результаты испытаний	
	Серийный доильный аппарат	Доильный аппарат с изменяемым вакуумметрическим давлением
Вакуумметрическое давление, кПа	40	40
Частота пульсаций, мин ⁻¹	60	62
Расход воздуха в доильном аппарате, м ³ /ч	2,61	2,95
Установленная мощность электродвигателей, кВт	7,5	7,5
Средняя годовая продуктивность коров, кг/год	5325	5325
Производительность доильной установки, короводоек / ч	156	165
Энергоемкость процесса машинного доения, кВт·ч/т	2,741	2,485

Таблица 4. Основные показатели расчета экономической эффективности использования доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением

Показатели	Серийные доильные аппараты	Доильные аппараты с изменяемым вакуумметрическим давлением	+/-
Балансовая стоимость 24 доильных аппаратов, руб.	8112	8882,8	+770,8
Годовой расход электроэнергии, кВт·ч	5839,7	5292,6	-547,1
Средние годовые надои молока на ферме, т	2130	2130	-
Годовые эксплуатационные затраты, руб.	20156	19229	-927
Удельные эксплуатационные издержки, руб./т	9,46	9,02	-0,44
Чистый дисконтированный доход, руб.	3879,3		
Срок возврата капитала, лет	0,8		

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мишуров, Н.П. Биоэнергетическая оценка и основные направления снижения энергоемкости производства молока: науч. издание / Н.П. Мишуров. – Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – С. 4-5.

2. Китун, А.В. Машины и оборудование в животноводстве: учебн. / А.В. Китун, В.И. Передня, Н.Н. Романюк. – Минск: БГАТУ, 2019. – 504 с.

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. Доильный стакан: пат. 22689 Респ. Беларусь, МПК А 01J5/08 / С.Н. Бондарев, В.И. Передня, А.В. Китун, Н.Н. Романюк; заявитель Белорусский гос. аграрн. техн. ун-т. – № 20180057, заявл. 14.02.2018; опубл. 02.07.2019 // Офиц. бюл. / Нац. Центр интеллект. собственности. – 2019. – № 4. – С. 50.

5. Леонов, А.Н. Основы научных исследований в примерах и задачах: учебно-методич. пособие / А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис; под ред. А.Н. Леонова. – Минск: БГАТУ, 2013. – 136 с.

6. Milking machine installations – Vocabulary: ISO 3918:2007. – 15.02.2007. – Geneva: International Organization for Standardization, 2007. – 42 pp.

7. Milking machine installations – Construction and performance: ISO 5707:2007. – 15.02.2007. – Geneva: International Organization for Standardization, 2007. – 58 pp.

8. Установки и аппараты доильные для коров. Методы испытаний: ГОСТ 34496-2018. – Введ. 01.07.2020. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 49 с.

9. Сельскохозяйственная техника. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей = Выпрабаванне сельскагаспадарчай тэхнікі. Метады эканамічнай ацэнкі. Парадак вызначэння паказчыкаў: ТКП 151–2008 (02150). – Введ. 01.02.2009. – Минск: Минсельхозпрод, 2009. – 20 с.

10. Показатели уровня интенсификации и их определение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.ru/19_216284_pokazateli-urovnya-intensifikatsii-i-ih-opredelenie.html. – Дата доступа: – 18.04.2022.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 30.09.2022

УДК 639.3.043.2

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА И ВОДООБМЕНА НА РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИНКУБАЦИИ ИКРЫ КЛАРИЕВОГО СОМА (*CLARIAS GARIEPINUS*) ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ВОСПРОИЗВОДСТВА

Е.В. Таразевич,

профессор каф. технологий и технического обеспечения процессов переработки БГАТУ,
докт. с.-х. наук, доцент

В.В. Ярмош,

ст. преподаватель каф. технологии аквакультуры Полесского государственного университета

В статье представлены результаты научных исследований по определению влияния оптимального температурного режима и водообмена на выживаемость икры и предличинок при различных способах воспроизводства клариевого сома.

Ключевые слова: клариевый сом, воспроизводство, икра, личинки, температурный режим, водообмен.

The results of scientific studies on determining the effect of optimal temperature regime and water exchange on the survival rate of fish eggs and larva using different methods of the clary catfish reproduction are presented in the article.

Key words: clary catfish, reproduction, fish eggs, fish larva, temperature regime, water exchange.

Введение

Вода для рыб – это та среда обитания, которая на долгих путях эволюции определила их исходную форму, наиболее общие принципы строения тела, способы дыхания, питания, передвижения, размножения, поведения и многие другие особенности. Во всех водоемах Земли насчитывается около 20,9 тыс. видов рыб [1]. Поэтому при освоении (вселении, акклиматизации) новых объектов аквакультуры необходимо по возможности создавать те температурные, гидрохимические, реологические условия, при которых вселяемый объект на всех стадиях онтогенеза будет иметь максимальную возможность выживания, размножения и роста.

Продукция аквакультуры Беларуси представлена 15-ти видами рыб, которые требуют создания своих благоприятных условий обитания: карп – *Cyprinus carpio*, белый амур – *Ctenopharyngodon idella*, толстолобик белый – *Hypophthalmichthys molitrix*, толстолобик пестрый – *Aristichthys mobilis*, лососевые – *Salmonidae*, осетровые – *Acipenser*, сомообразные – *Siluriformes*.

Существенный вклад в развитие новых технологий воспроизводства и выращивания ценных видов рыб внесли ученые – Барулин Н.В., Бондаренко А.В., Власов В.А., Столяров В.П., Проскурено И.В. и др. [2-6].

С целью повышения разнообразия выпускаемой рыбной продукции и высокой пищевой ценности мяса в Беларуси начато освоение технологии производства клариевого сома – *Clarias gariepinus* [7, 8].

Воспроизводство и выращивание молоди клариевого сома является сложным технологическим про-

цессом и зависит от ряда факторов, основными из которых являются температура и водообмен.

Целью данных научных исследований являлось определение оптимального температурного режима и водообмена при воспроизводстве клариевого сома при различных способах инкубации икры.

Основная часть

Икра клариевого сома очень мелкая, диаметром 1,5-2 мм и очень хрупкая, а также имеет высокую степень клейкости, что значительно усложняет процесс ее инкубации [9]. В Беларуси в каждом полносистемном прудовом, селекционно-племенном, садковом, промышленном хозяйстве имеются инкубационные цеха, которые используются для воспроизводства различных видов рыб [10]. Поэтому были проведены испытания инкубации икры клариевого сома в инкубационных аппаратах Вейса, эколого-физиологическим методом на «ершах», методом размещения икры на дно емкости.

Перед размещением икры массой 200 г на инкубацию в аппарат Вейса, ее предварительно обесклеивали в 1 %-м растворе молока (1 г сухого молока на 100 г воды) в течение 5 минут, после чего икру разместили на инкубацию при температуре 24-28 °С и проточности 1-3 л/мин. При эколого-физиологическом способе воспроизводства, оплодотворенную, но не обесклеенную икру, навеской 200 г, размещали (полили) на «ерши», изготовленные из лески толщиной 1 мм и плотно уложенные в емкость объемом 100 л при температуре 24-28 °С и проточности 5-10 л/мин. В опытах с инкубацией икры массой 200 г на дне емкости в качестве емкости

использовали аквариум объемом 240 л, заполненный водой на 1/4 часть от общего объема. Температура воды при инкубации соответствовала предыдущим опытам, но с проточностью 10-15 л/мин. Результаты инкубации икры сома выше представленными методами оказались низкими (табл. 1).

Из полученных данных установлено, что наиболее результативным оказался опыт с инкубацией икры эколого-физиологическим способом на «ершах» при температуре 26-28 °С и проточности 10 л/мин, при котором максимальный выход предличинок сома составил 24 %. Худшие результаты наблюдались при инкубации икры на дне емкости, где выживаемость эмбрионов сома составила всего 8 %. Возможной причиной плохих результатов могло стать низкое содержание растворенного в воде кислорода, что и привело к массовой гибели икры на 10-14 час после инкубации, поскольку в это время значительно увеличивается потребление кислорода икрой. При инкубации в аппаратах Вейса наблюдалась сильная травматизация икринок, так как во время инкубации происходит постоянное движение икры, и она травмируется друг о друга. Данный эффект вызван малыми размерами икры и хрупкостью оболочек.

Поэтому для проведения качественной инкубации икры клариевого сома был сконструирован инкубационный аппарат горизонтального типа. Инкубатор представляет собой прямоугольную емкость с натянутой на высоте 6 см нержавеющей сеткой. Диаметр ячейки – 500 мкм, которая закрывает 5/6 от общей площади емкости. Сетка жестко крепится к корпусу инкубатора болтами и прижимными пластинами, выполненными из пластика.

За основу емкости инкубатора взят пластиковый каркас, изготовленный из полипропилена толщиной 4 мм, объемом 20 литров. В передней части емкости прорезали отверстие размером 60x330 мм для размещения сливного желоба (рис. 1).

Технические характеристики инкубационного аппарата:

- габаритные размеры, мм – 600x345x330;
- площадь инкубационной поверхности, м² – 0,14;
- проточность, л/мин – 0,25;
- вместимость икринок, тыс. экз. – 150.

В аппарате икра размещается на нержавеющей сетку тонким слоем и находится в таком состоянии весь период инкубации, а благодаря настраиваемой проточности воды, икру перед инкубацией можно не обесклеивать, что снижает ее травматизацию и значительно повышает процент вылупления эмбрионов.

Вода во время инкубации подается снизу, обеспечивает полное обмывание икры со всех сторон и насыщение ее кислородом. В данном аппарате проще проводить отбор погибшей икры, что снижает возможность возникновения сапролегниоза (возбудитель – фикомицеты из рода *Saprolegnia*) [11].

За двое суток до начала инкубации систему наполнили холодной чистой водой, установили обогреватели и аэраторы, которые обогащали воду кислородом и доводили ее температуру до оптимальной



Рисунок 1. Инкубационный аппарат для икры клариевого сома

Таблица 1. Результаты инкубации икры клариевого сома при использовании различных методов инкубации

Показатель	Способ инкубации																	
	аппараты Вейса						эколого-физиологический (на ершах)						на дне бассейна					
Температура, °С	24		26		28		24		26		28		24		26		28	
Проточность, л/мин	1	3	1	3	1	3	5	10	5	10	5	10	10	15	10	15	10	15
Выживаемость предличинок, %	8	11	10	15	9	14	12	14	21	24	18	20	5	7	8	7	6	7

для инкубации.

Через час после начала инкубации неоплодотворенная икра приобретает белый цвет и ее удаляют из аппарата. Этот рыбоводный прием способствует уменьшению загрязнения воды органическими веществами в инкубаторе.

Важными рыбоводными показателями в разрабатываемой технологии инкубации икры клариевого сома, является определение оптимальной температуры и проточности для ее инкубации. В таблице 2 представлены обобщенные данные о степени влияния температуры и проточности воды на рыбохозяйственные показатели инкубации икры и выживаемости эмбрионов сома в горизонтальном инкубационном аппарате.

Во всех научных экспериментах использовали половые продукты самок и самцов двухгодичного возраста, что обеспечило получение высокого качества икры, а ее оплодотворенность варьировала от 94 до 96 %.

Для определения выживаемости икры клариево-

го сома в период инкубации, каждые десять часов от начала инкубации проводили научные исследования. На рисунке 2 представлены данные о гибели икры через 10 часов после начала инкубации в зависимости от температуры воды и проточности в инкубационном аппарате.

При температуре воды 22 °С наблюдалась высокая гибель икры сома при ее инкубации, которая составляла 25,0-31,0 % ($P < 0,05$) в зависимости от проточности, а при температуре 24 °С процент гибели уменьшился до 16,0-19,0 % ($P < 0,05$) [12]. Наилучшие результаты получены при температуре инкубации 26-28 °С, когда гибель икры сома колебалась от 7,5 до 11,5 %. С повышением температуры до 30 °С снова наблюдалось увеличение смертности икры до 14,5 %. На рисунке 3 представлены данные о гибели икры клариевого сома через 20 часов после начала инкубации в зависимости от температуры воды и проточности в инкубационном аппарате.

Таблица 2. Рыбохозяйственные показатели инкубации икры клариевого сома в горизонтальном инкубационном аппарате при температуре 22-30 °С

Температура, °С / проточность, л/мин	Оплодотворение икры, %	Гибель икры через 10 ч после начала инкубации, %	Гибель икры через 20 ч после начала инкубации, %	Начало вылупления эмбрионов, ч	Массовое вылупление эмбрионов, ч	Выживаемость эмбрионов, %
T-22 / 5	95,0±0,0	31,0±3,0	68,0±4,0	29,0±0,0	34,0±0,0	16,0±1,5
T-22 / 10	96,0±0,0	28,5±0,5	62,5±0,5	28,5±0,5	33,5±0,5	24,5±1,5
T-22 / 15	95,0±0,0	25,0±1,0	63,5±3,5	29,0±0,0	34,0±0,0	15,0±1,0
T-24 / 5	95,0±0,0	16,0±2,0	62,5±4,5	27,5±0,5	30,5±0,5	27,0±1,0
T-24 / 10	96,0±0,0	19,0±3,0	46,0±2,0	27,0±0,0	30,0±0,0	47,0±0,0
T-24 / 15	96,0±0,0	18,5±2,5	48,5±2,5	27,5±0,5	29,5±0,5	39,5±1,5
T-26 / 5	94,0±94,0	10,5±0,5	27,5±2,5	23,0±0,0	26,0±0,0	62,0±3,0
T-26 / 10	94,0±0,0	11,0±1,0	13,0±3,0	23,5±0,5	25,5±0,5	82,0±2,0
T-26 / 15	96,0±0,0	9,5±1,5	14,5±0,5	23,5±0,5	25,5±0,5	75,0±1,0
T-28 / 5	96,0±0,0	10,5±1,5	17,0±1,0	21,5±0,5	23,5±0,5	70,5±2,5
T-28 / 10	96,0±0,0	7,5±0,5	12,5±0,5	21,0±0,0	23,0±0,0	79,5±1,5
T-28 / 15	95,0±0,0	11,5±0,5	16,5±2,5	21,0±0,0	23,0±0,0	75,0±3,0
T-30 / 5	95,0±0,0	13,5±0,5	33,5±1,5	21,0±0,0	23,0±0,0	56,5±0,5
T-30 / 10	96,0±0,0	14,5±0,5	32,5±0,5	20,5±0,5	22,5±0,5	54,5±2,5
T-30 / 15	96,0±0,0	14,0±2,0	28,5±1,5	21,0±0,0	23,0±0,0	63,0±4,0

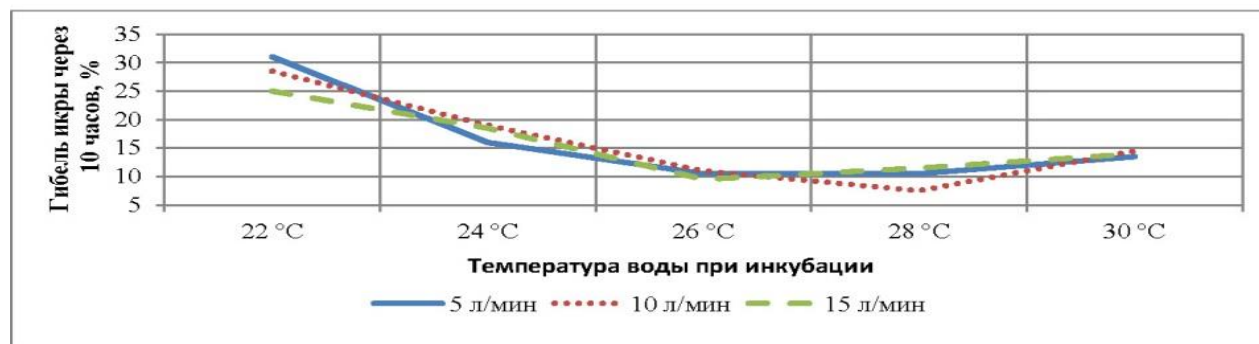


Рисунок 2. Показатели гибели икры клариевого сома через 10 часов после начала инкубации в зависимости от температуры воды и проточности в инкубационном аппарате

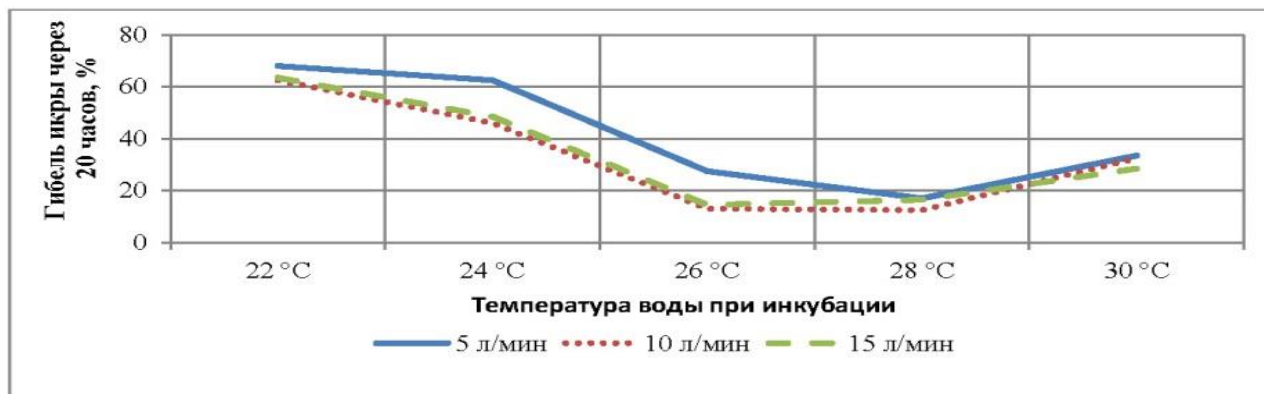


Рисунок 3. Гибель икры клариевого сома через 20 часов после начала инкубации в зависимости от температуры воды и проточности в инкубационном аппарате

После 20 часов от начала инкубации икры сома наблюдалось увеличение гибели во всех экспериментах. При температуре инкубации 22 °С отход составил 62,5-68,0 % ($P < 0,05$), при температуре 24 °С – 46,0-62,5 % ($P < 0,05$). Наименьшая гибель икры была при температуре инкубации 26 °С и 28 °С, 13,0-27,5 % ($P < 0,05$) и 12,5-17,0 % ($P < 0,05$) соответственно, с повышением температуры до 30 °С гибель увеличилась до 28,5-32,5 % ($P < 0,05$). Влияние проточности на отход икры во время инкубации наблюдалось при температуре воды 22-26 °С, а при температуре 28-30 °С значительных различий гибели развивающейся икры в зависимости от проточности не наблюдалось. Возможной причиной увеличения отхода икры при инкубации с проточностью 5 л/мин может быть увеличение содержания биогенов в воде, влияющих на содержание растворенного в воде кислорода, недостаток которого и может привести к ее гибели.

Наилучшие результаты выживаемости икры сома получены через 20 часов при инкубации с температурой воды 26-28 °С и проточности 10-15 л/мин.

Вылупление эмбрионов у клариевого сома характеризуется началом «вибрации» икринки. Вибрация – это первый признак начала процесса вылупления, когда сформировавшаяся личинка пытается разорвать оболочку икринки с помощью хвостового

отдела. Данный процесс продолжался от часа до трех, у каждой икринки он занимал различное время.

На рисунке 4 представлен график начала вылупления эмбрионов сома при инкубации с различным температурным режимом и проточностью.

Повышение температуры воды от 22 °С до 30 °С позволяет сократить время начала вылупления с 29 часов до 20,5 часов. В данном случае температура является основным фактором, влияющим на развитие эмбрионов в процессе инкубации, в отличие от проточности. С изменением проточности при заданной температуре начало вылупления изменяется незначительно, в пределах 30 минут. При проточности 10 л/мин вылупление в большинстве инкубаций начиналось на 30 минут раньше, чем при проточности 5 и 15 л/мин.

Массовое вылупление эмбрионов сома из икры (более 70 %) в наших экспериментах начиналось на 2-5 часов позже. Показатели массового вылупления предличинок представлены на рисунке 5.

При температуре воды 22 °С вылупление личинок начиналось через 34 часа после закладки икры на инкубацию, что на 5 часов позже вылупления первых личинок. Увеличение температуры до 24 °С позволило сократить время до 2 часов между началом и массовым вылуплением личинок. Данная динамика наблюдалась при температурах инкубации 26-30 °С.

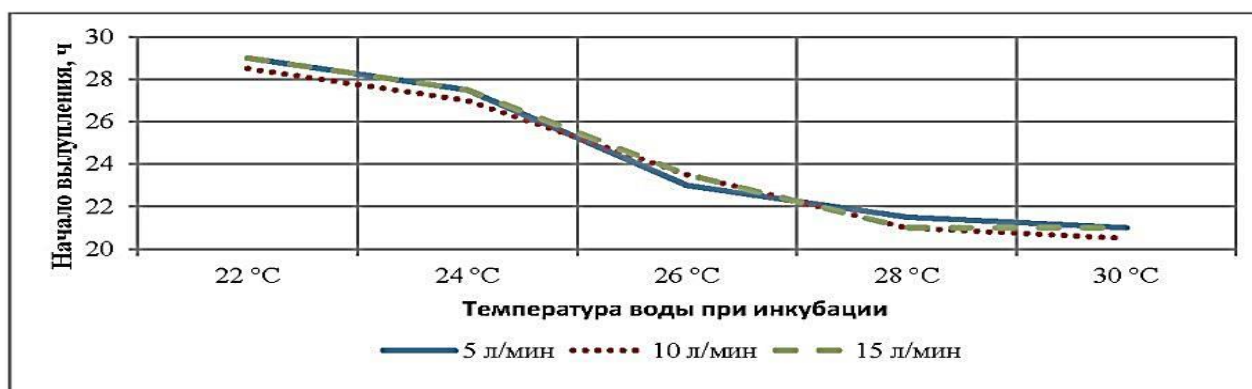


Рисунок 4. Начало вылупления эмбрионов клариевого сома в зависимости от температуры воды и проточности в инкубационном аппарате

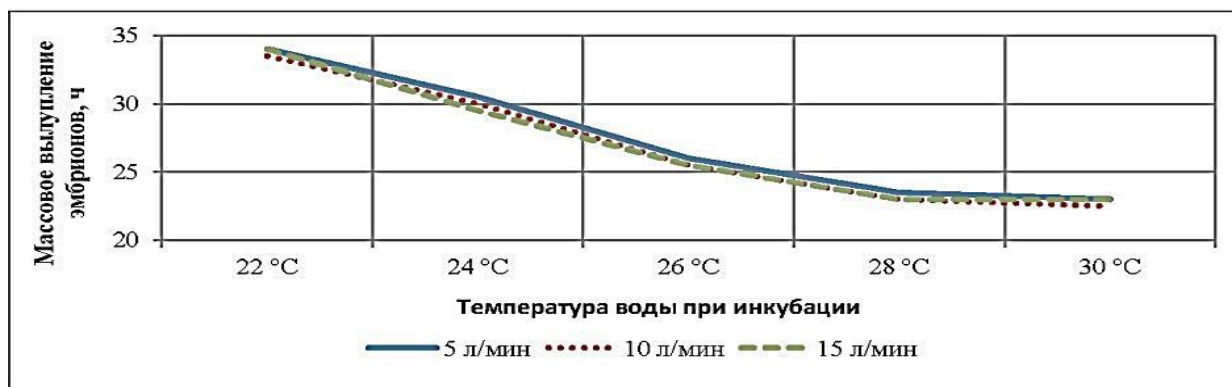


Рисунок 5. Массовый выход личинок клариевого сома после начала инкубации икры в зависимости от температуры воды и проточности в инкубационном аппарате

Температура воды для инкубации икры сома 22 °С слишком низкая и не соответствует биологическим особенностям воспроизводства клариевого сома, на что указывают высокий процент гибели и значительное увеличение продолжительности инкубации – до 10-11 часов.

Выход личинок клариевого сома за период инкубации представлен на рисунке 6.

После вылупления из икры личинки находились в состоянии покоя на сетке инкубатора 3-4 часа, а затем поднимались в толщу воды и медленно начинали плавать, и медленным потоком воды вымывались в модуль для подрачивания. Весь процесс вылупления должен проходить в максимальном полумраке, поскольку личинки на ранних стадиях очень чувствительны к свету.

Заключение

На основании проведенных экспериментов установлено:

1. Оптимальная температура воды для инкубации икры сома в горизонтальном инкубационном аппарате 26–28 °С. При данной температуре продолжительность развития икры и время вылупления личинок составляет 23–25 часов, а ее выживаемость достигает 79–82 % ($P < 0,05$). Проведение инкубации икры клариевого сома при температуре 22 °С приводит к

уменьшению выхода личинок на 57 % ($P < 0,05$), при температуре 24 °С – на 35 % ($P < 0,05$) и на 19 % ($P < 0,05$) при температуре 30 °С.

2. Оптимальной проточностью для инкубации икры сома в горизонтальном инкубационном аппарате является 10 л/мин. При такой проточности гибель икры во время инкубации сокращается от 20 до 9 %, но с учетом температуры воды, по сравнению с проточностью 5 и 15 л/мин.

3. Для получения качественного посадочного материала (личинок) клариевого сома необходимо использовать половые продукты производителей не моложе двухгодичного возраста.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рыбы: попул. энцикл. справочник / Ин-т зоологии АН БССР; под ред. П.И. Жукова. – М.: БелСЭ, 1989. – 311 с.

2. Рекомендации по воспроизводству осетровых рыб в рыбоводных промышленных комплексах с применением инновационных методов: для специалистов в области рыб. хоз-ва и аквакультуры, аспирантов, магистрантов, студентов вузов, слушателей

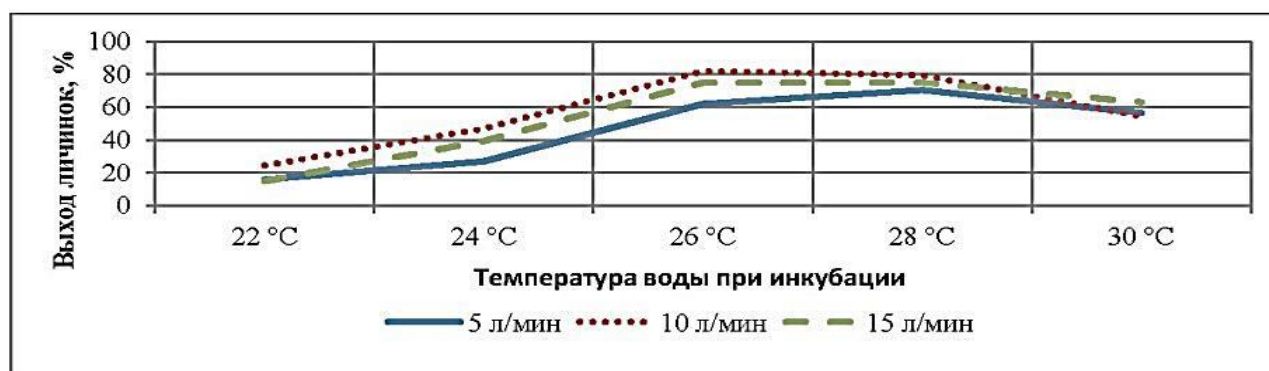


Рисунок 6. Выход личинок клариевого сома при инкубации в горизонтальном инкубационном аппарате в зависимости от температуры воды и проточности в инкубационном аппарате

ин-та повышения квалификации и переподгот. кадров / Н.В. Барулин [и др.]; Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки: БГСХА, 2016. – 203 с.

3. Бондаренко, А.Б. Клариевый сом / А.Б. Бондаренко, Г.А. Сычев, В.В. Приз // Рыбоводство. – 2008. – № 1. – С. 30-31.

4. Власов, В.А. Воспроизводство и выращивание клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в установках с замкнутым водообеспечением / В.А. Власов, А.П. Завьялов // Зоотехния. – 2014. – № 12. – С. 22-24.

5. Инкубация клариевого сома / В.П. Столяров [и др.] // World science: problems and innovations: сб. ст. XXI междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 30 мая 2018 г.: в 4 ч. / Междунар. центр науч. сотрудничества «Наука и просвещение»; отв. ред. Г.Ю. Гуляев. – Пенза, 2018. – Ч. 1. – С. 245-248.

6. Проскуренко, И.В. Замкнутые рыбоводные установки / И.В. Проскуренко. – М.: ВНИРО, 2003. – 152 с.

7. Ярмош, В.В. Клариевый сом – перспективный объект индустриального рыбоводства / В.В. Ярмош, Л.С. Цвирко, Е.В. Таразевич, А.В. Астренков, А.В. Козырь. – Пинск: ПолесГУ, 2020. – 202 с.

8. Ярмош, В.В. Рекомендации по повышению эффективности воспроизводства клариевого сома в условиях индустриальной аквакультуры / В.В. Ярмош, А.В. Козырь, Е.В. Таразевич. – Пинск: ПолесГУ, 2022. – 38 с.

9. Репродуктивная биотехнология африканского клариевого сома / Е.М. Романова [и др.] // Рыбоводство и рыб. хоз-во. – 2017. – № 12 (143). – С. 49-57.

10. Результаты использования эколого-физиологического метода воспроизводства карпа разного происхождения / Е.В. Таразевич [и др.] // Рыб. госп. наука України. – 2012. – № 2. – С. 73-77.

11. Сапролегниоз молоди клариевого сома в бассейновой аквакультуре / В.Н. Любомирова [и др.] // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы VIII междунар. науч.-практ. конф., Ульяновск, 7-8 февр. 2017 г. / Ульян. гос. с.-х. акад.; редкол.: В.А. Исайчев [и др.]. – Ульяновск, 2017. – Ч. 3. – С. 144-148.

12. Халафян, А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных: учеб. пособие / А.А. Халафян. – 2-е изд. – М.: Бинوم, 2010. – 522 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 10.10.2022

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

УДК 621.313

ОСОБЕННОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ТРАНСФОРМАТОРЕ СО СХемой СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК «ЗВЕЗДА-ТРЕУГОЛЬНИК С ЗИГЗАГОМ»

В.М. Збродыга,

зав. каф. электроснабжения БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

М.А. Прищепов,

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

А.И. Зеленкевич,

ст. преподаватель каф. электроснабжения БГАТУ

Г.И. Янукович,

канд. техн. наук, профессор

В статье рассмотрено устройство и процессы преобразования электрической энергии в трансформаторе со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом».

Ключевые слова: трехфазный трансформатор, качество напряжения, несимметрия напряжения, несинусоидальность напряжения.

The article deals with the processes of electric energy transformation in a transformer with the connection scheme of windings "star-triangle with zigzag".

Key words: three-phase transformer, voltage quality, voltage asymmetry, nonsinusoidal voltage.

Введение

Система электроснабжения является электромагнитной средой, в которой, наряду с их основной функцией, имеет место генерирование, распространение и воздействие электромагнитных помех на электроприемники. Возникает задача их электромагнитной совместимости – способности электрооборудования, аппаратов и приборов нормально функционировать в электромагнитной среде, не создавая недопустимых помех для другого оборудования. Проблема качества электроэнергии является одной из важнейших составных частей общей проблемы электромагнитной совместимости. Снижение качества электроэнергии отрицательно влияет на эффективность работы всех элементов систем электроснабжения. Наибольшие проблемы, в том числе и по требуемым материальным затратам, возникают с такими характеристиками качества электроэнергии, как несимметрия и несинусоидальность напряжения.

При решении задачи улучшения показателей несимметрии и несинусоидальности напряжений необходимо исходить из сопоставления ожидаемого эффекта от намеченных мероприятий и неизбежных при этом дополнительных затрат. С учетом особенностей электропотребления и использования электрооборудования в сельском хозяйстве для решения этой задачи в сельскохозяйственных электроустановках

предложено использовать специальные трансформаторы со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом» (Y/Δ с зигзагом), которые могут применяться для питания выпрямительных схем, полупроводниковых преобразователей и других специальных потребителей [1-6]. Предлагаемый трансформатор устойчив к искажающим воздействиям со стороны нагрузки и способен обеспечить высокий уровень качества напряжения [7-10].

Цель данной работы – рассмотреть устройство и процессы преобразования электрической энергии в трансформаторе со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом»

Основная часть

Трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом» состоит из системы обмоток с изоляцией и плоской несимметричной трехстержневой магнитной системы (рис. 1). Обмотки высшего напряжения 1 расположены на стержнях магнитопровода 2 и соединены по схеме «звезда». Фазные обмотки низшего напряжения состоят из двух одинаковых половин 3-4, размещенных на разных стержнях и соединенных последовательно. Причем, одна из половин вторичной фазной обмотки располагается на том же стержне магнитопровода, что и первичная обмотка этой же фазы, а вторая половина — на другом стержне.

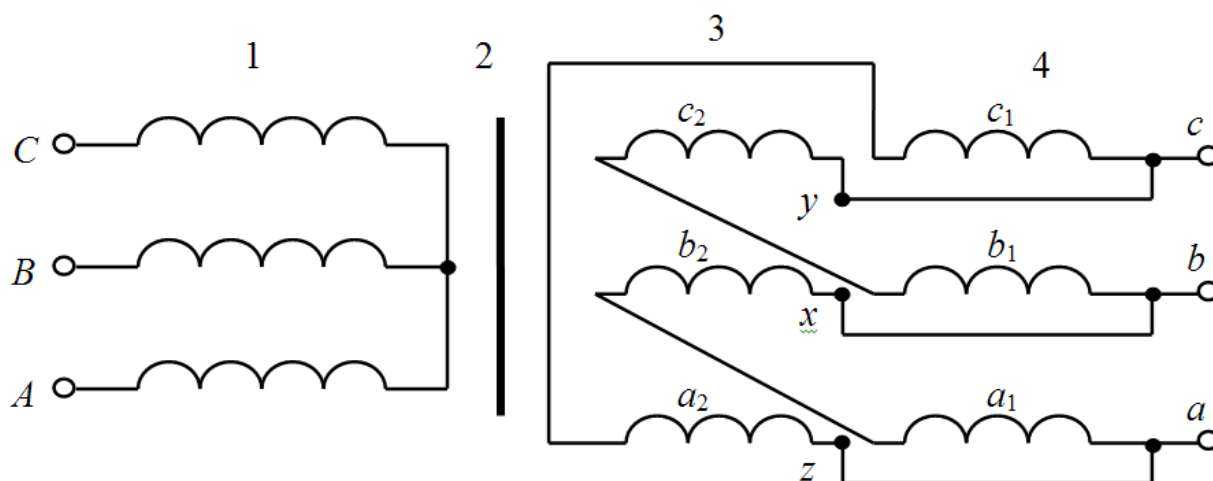


Рисунок 1. Схема соединения обмоток трехфазного трансформатора «звезда-треугольник с зигзагом»

Для упрощения анализа сложных электромагнитных процессов при работе трансформатора примем следующие допущения:

1. Напряжение питающей электрической сети изменяется по синусоидальному закону.
2. Система первичных напряжений трансформатора симметрична независимо от режима его работы.
3. Нагрузка трансформатора симметрична и носит линейный характер.
4. Трансформатор понижающий.

Первичная обмотка подключается к питающей электрической сети, векторы фазных напряжений которой смещены на $1/3$ периода:

$$\begin{aligned} u_A &= U_{Am} \sin \omega t, \\ u_B &= U_{Bm} \sin(\omega t - \frac{2}{3} \pi), \\ u_C &= U_{Cm} \sin(\omega t + \frac{2}{3} \pi), \end{aligned} \quad (1)$$

где U_{Am} , U_{Bm} , U_{Cm} – амплитудные значения напряжений фаз «А», «В», «С» соответственно, В;
 $\omega = 2\pi f_1$ – угловая частота тока фаз, рад/с;
 f_1 – частота тока, Гц;
 t – рассматриваемый момент времени, с.

В режиме холостого хода эти напряжения вызывают протекание токов по фазным обмоткам первичной стороны, несинусоидальных из-за насыщения магнитной системы трансформатора и содержащих высшие нечетные гармоники, кроме гармоник кратных трем. Если несинусоидальные кривые фазных токов заменить эквивалентными синусоидами основной частоты, то фазные токи холостого хода первичной обмотки будут равны

$$\begin{aligned} i_{Ax} &= I_{Amx} \sin(\omega t - \varphi_{Ax}), \\ i_{Bx} &= I_{Bmx} \sin(\omega t - \frac{2}{3} \pi - \varphi_{Bx}), \end{aligned} \quad (2)$$

$$i_{Cx} = I_{Cmx} \sin(\omega t + \frac{2}{3} \pi - \varphi_{Cx}),$$

где I_{Amx} , I_{Bmx} , I_{Cmx} – амплитудные значения эквивалентных синусоид токов холостого хода первичной обмотки трех фаз, А;

φ_{Ax} , φ_{Bx} , φ_{Cx} – угол сдвига фаз соответствующих токов холостого хода и напряжений первичной стороны, рад.

Реактивные составляющие токов холостого хода первичной обмотки создают переменное магнитное поле, фазные магнитодвижущие силы (МДС) которого равны:

$$\begin{aligned} f_A &= I_{Amxp} W_1 \sin(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu}) = \\ &= I_{Am\mu} W_1 \sin(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu}) = \\ &= F_{Am} \sin(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu}), \\ f_B &= I_{Bmxp} W_1 \sin(\omega t - \frac{2}{3} \pi - \varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu}) = \\ &= I_{Bm\mu} W_1 \sin(\omega t - \frac{2}{3} \pi - \varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu}) = \\ &= F_{Bm} W_1 \sin(\omega t - \frac{2}{3} \pi - \varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu}), \quad (3) \\ f_C &= I_{Cmxp} W_1 \sin(\omega t + \frac{2}{3} \pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu}) = \\ &= I_{Cm\mu} W_1 \sin(\omega t + \frac{2}{3} \pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu}) = \\ &= F_{Cm} \sin(\omega t + \frac{2}{3} \pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu}), \end{aligned}$$

где $F_{Am} = I_{Am} W_1, F_{Bm} = I_{Bm} W_1, F_{Cm} = I_{Cm} W_1$ – амплитудные значения фазных МДС первичной обмотки, А;

W_1 – количество витков в обмотке одной фазы первичной стороны трансформатора, шт;

$I_{Am\mu}, I_{Bm\mu}, I_{Cm\mu}$ – реактивные составляющие соответствующих фазных токов холостого хода первичной обмотки, А;

$I_{Am\mu}, I_{Bm\mu}, I_{Cm\mu}$ – амплитудные значения намагничивающих токов соответствующих фаз, А;

$\alpha_{A\mu}, \alpha_{B\mu}, \alpha_{C\mu}$ – угол фазового сдвига между токами холостого хода и МДС или магнитными потоками соответствующих фаз (угол магнитного запаздывания), рад.

Причем

$$\begin{aligned} I_{Am\mu} &= I_{Am\mu} = I_{Amx} \cos \alpha_{A\mu}, \\ I_{Bm\mu} &= I_{Bm\mu} = I_{Bmx} \cos \alpha_{B\mu}, \\ I_{Cm\mu} &= I_{Cm\mu} = I_{Cmx} \cos \alpha_{C\mu}. \end{aligned} \quad (4)$$

Фазные МДС вызывают соответствующие магнитные потоки:

$$\begin{aligned} \Phi_A &= \frac{f_A}{R_{A\mu}} = \frac{F_{Am}}{R_{A\mu}} \sin(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu}) = \\ &= \Phi_{Am} \sin(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu}), \\ \Phi_B &= \frac{f_B}{R_{B\mu}} = \frac{F_{Bm}}{R_{B\mu}} \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu}\right) = \\ &= \Phi_{Bm} \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu}\right), \\ \Phi_C &= \frac{f_C}{R_{C\mu}} = \frac{F_{Cm}}{R_{C\mu}} \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu}\right) = \\ &= \Phi_{Cm} \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu}\right), \end{aligned} \quad (5)$$

где $R_{A\mu}, R_{B\mu}, R_{C\mu}$ – сопротивления магнитных цепей соответствующих фаз, Гн⁻¹;

$\Phi_{Am}, \Phi_{Bm}, \Phi_{Cm}$ – амплитудные значения магнитного потока соответствующих фаз, Вб.

Основные магнитные потоки фаз индуцируют в первичной обмотке ЭДС, отстающие по фазе на угол $\pi/2$:

$$\begin{aligned} e_A &= -\frac{d\psi_A}{dt} = -W_1 \frac{d\Phi_A}{dt} = -\omega W_1 \Phi_{Am} \times \\ &\times \cos(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu}) = 2\pi f_1 W_1 \Phi_{Am} \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\times \sin\left(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu} - \frac{\pi}{2}\right) = \\ &= E_{Am} \sin\left(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu} - \frac{\pi}{2}\right), \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} e_B &= -\frac{d\psi_B}{dt} = -W_1 \frac{d\Phi_B}{dt} = -\omega W_1 \Phi_{Bm} \times \\ &\times \cos\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu}\right) = 2\pi f_1 W_1 \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\times \Phi_{Bm} \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu} - \frac{\pi}{2}\right) = \\ &= E_{Bm} \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu} - \frac{\pi}{2}\right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_C &= -\frac{d\psi_C}{dt} = -W_1 \frac{d\Phi_C}{dt} = -\omega W_1 \Phi_{Cm} \times \\ &\times \cos\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu}\right) = 2\pi f_1 W_1 \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\times \Phi_{Cm} \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu} - \frac{\pi}{2}\right) = \\ &= E_{Cm} \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu} - \frac{\pi}{2}\right), \end{aligned}$$

где $\psi_A = W_1 \Phi_A, \psi_B = W_1 \Phi_B, \psi_C = W_1 \Phi_C$ – потокосцепления соответствующих первичных фазных обмоток, Вб;

$$E_{Am} = 2\pi f_1 W_1 \Phi_{Am}, E_{Bm} = 2\pi f_1 W_1 \Phi_{Bm},$$

$E_{Cm} = 2\pi f_1 W_1 \Phi_{Cm}$ – амплитуды соответствующих фазных ЭДС первичной обмотки, В.

Фазные ЭДС первичной обмотки уравновешивают соответствующие первичные напряжения трансформатора.

Основные магнитные потоки фаз также индуцируют ЭДС в половинах вторичных обмоток, которые расположены на тех же стержнях магнитопровода.

Магнитный поток фазы «А» индуцирует ЭДС в половинах вторичных обмоток a_1 и a_2 , принадлежащих разным фазам (рис. 1). Так как половина обмотки a_2 имеет противоположную маркировку выводов по отношению к a_1 , то ее ЭДС дополнительно смещена по фазе на угол $-\pi$. Тогда

$$e_{a1} = -\frac{d\psi_{a1}}{dt} = -\frac{W_2}{2} \frac{d\Phi_A}{dt} = -\omega \frac{W_2}{2} \times \left(-\varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu} - \frac{\pi}{2} \right), \quad (8)$$

$$\times \Phi_{Am} \cos(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu}) = 2\pi f_1 \frac{W_2}{2} \times$$

$$\times \Phi_{Am} \sin\left(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu} - \frac{\pi}{2}\right) =$$

$$= E_{a1m} \sin\left(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu} - \frac{\pi}{2}\right), \quad (7)$$

$$e_{a2} = -\frac{d\psi_{a2}}{dt} = -\frac{W_2}{2} \frac{d\Phi_A}{dt} =$$

$$= -\omega \frac{W_2}{2} \times \Phi_{Am} \cos\left(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu} -$$

$$-\pi\right) = 2\pi f_1 \frac{W_2}{2} \Phi_{Am} \sin\left(\omega t - \varphi_{Ax} -$$

$$-\alpha_{A\mu} - \frac{3}{2}\pi\right) = E_{a2m} \sin\left(\omega t - \varphi_{Ax} -$$

$$-\alpha_{A\mu} - \frac{3}{2}\pi\right),$$

где $E_{a1m} = 2\pi f_1 \frac{W_2}{2} \Phi_{Am}$, $E_{a2m} = 2\pi f_1 \frac{W_2}{2} \Phi_{Am}$

– амплитудные значения ЭДС вторичных обмоток на стержне магнитопровода фазы «А», В,

W_2 – суммарное количество витков во вторичных обмотках трансформатора, находящихся на одном стержне магнитопровода, шт.

Магнитный поток фазы «В» индуцирует ЭДС в половинах вторичных обмоток b_1 и b_2 , (рис. 1):

$$e_{b1} = -\frac{d\psi_{b1}}{dt} = -\frac{W_2}{2} \frac{d\Phi_B}{dt} = -\omega \frac{W_2}{2} \times$$

$$\times \Phi_{Bm} \cos\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu}\right) =$$

$$= 2\pi f_1 \frac{W_2}{2} \Phi_{Bm} \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Bx} -$$

$$-\alpha_{B\mu} - \frac{\pi}{2}\right) = E_{b1m} \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi -$$

$$e_{b2} = -\frac{d\psi_{b2}}{dt} = -\frac{W_2}{2} \frac{d\Phi_B}{dt} = -\omega \frac{W_2}{2} \times$$

$$\times \Phi_{Bm} \cos\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu} - \pi\right) =$$

$$= 2\pi f_1 \frac{W_2}{2} \Phi_{Bm} \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Bx} -$$

$$-\alpha_{B\mu} - \frac{3}{2}\pi\right) = E_{b2m} \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi -$$

$$-\varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu} - \frac{3}{2}\pi\right),$$

где $E_{b1m} = 2\pi f_1 \frac{W_2}{2} \Phi_{Bm}$, $E_{b2m} = 2\pi f_1 \frac{W_2}{2} \Phi_{Bm}$

– амплитудные значения ЭДС вторичных обмоток на стержне магнитопровода фазы В, В.

Соответственно магнитный поток фазы «С» индуцирует ЭДС в половинах вторичных обмоток c_1 и c_2 (рис. 1):

$$e_{c1} = -\frac{d\psi_{c1}}{dt} = -\frac{W_2}{2} \frac{d\Phi_C}{dt} = -\omega \frac{W_2}{2} \times$$

$$\times \Phi_{Cm} \cos\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu}\right) =$$

$$= 2\pi f_1 \frac{W_2}{2} \Phi_{Cm} \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Cx} -$$

$$-\alpha_{C\mu} - \frac{\pi}{2}\right) = E_{c1m} \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi -$$

$$\varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu} - \frac{\pi}{2}\right), \quad (9)$$

$$e_{c2} = -\frac{d\psi_{c2}}{dt} = -\frac{W_2}{2} \frac{d\Phi_C}{dt} = -\omega \frac{W_2}{2} \times$$

$$\times \Phi_{Cm} \cos\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu} - \pi\right) =$$

$$= 2\pi f_1 \frac{W_2}{2} \Phi_{Cm} \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu} - \frac{3}{2}\pi\right) = E_{c2m} \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu} - \frac{3}{2}\pi\right),$$

$$\text{где } E_{c1m} = 2\pi f_1 \frac{W_2}{2} \Phi_{Cm}, \quad E_{c2m} = 2\pi f_1 \frac{W_2}{2} \Phi_{Cm}$$

– амплитудные значения ЭДС вторичных обмоток на стержне магнитопровода фазы «С», В.

Фазные ЭДС вторичной стороны трансформатора, индуцируемые основным магнитным потоком, будут равны сумме ЭДС двух половин вторичной обмотки, расположенных на разных стержнях магнитопровода:

$$\begin{aligned} e_a &= e_{a1} + e_{b2} = E_{a1m} \sin\left(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu} - \frac{\pi}{2}\right) + E_{b2m} \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu} - \frac{3}{2}\pi\right) = 1,73E_{a1m} \times \\ &\times \sin\left(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{6}\right) = \\ &= 1,73E_{a1m} \sin\left(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu} - \frac{\pi}{3}\right); \\ e_b &= e_{b1} + e_{c2} = E_{b1m} \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu} - \frac{\pi}{2}\right) + E_{c2m} \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu} - \frac{3}{2}\pi\right) = \\ &= 1,73E_{b1m} \sin\left(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{6}\right) + \\ &+ 1,73E_{c2m} \sin\left(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu} - \frac{\pi}{3}\right); \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} e_c &= e_{c1} + e_{a2} = E_{c1m} \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu} - \frac{\pi}{2}\right) + E_{a2m} \sin\left(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu} - \frac{3}{2}\pi\right) = 1,73E_{c1m} \times \\ &\times \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{6}\right) = \\ &= 1,73E_{c1m} \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu} - \frac{\pi}{3}\right). \end{aligned}$$

Выражения (10) показывают, что фазные ЭДС вторичной обмотки смещены по фазе относительно одноименных ЭДС первичной обмотки на угол 30° . При этом вторичные фазные ЭДС предложенной схемы на 15% меньше ЭДС схемы соединения «звезда» при том же количестве витков вторичной обмотки. Поэтому предложенная схема требует соответствующего увеличения количества витков во вторичной обмотке для получения требуемого вторичного напряжения.

Если к трансформатору подключить симметричную нагрузку, то под воздействием этих ЭДС через нагрузку и вторичную обмотку будут протекать токи:

$$\begin{aligned} i_a &= I_{am} \sin\left(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu} - \gamma_a - \frac{\pi}{3}\right), \\ i_b &= I_{bm} \sin\left(\omega t - \frac{3}{2}\pi - \varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu} - \gamma_b - \frac{\pi}{3}\right), \quad (11) \\ i_c &= I_{cm} \sin\left(\omega t + \frac{3}{2}\pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu} - \gamma_c - \frac{\pi}{3}\right), \end{aligned}$$

где I_{am}, I_{bm}, I_{cm} – амплитудные значения соответствующих фазных токов вторичной стороны, А;

$\gamma_a, \gamma_b, \gamma_c$ – углы фазового сдвига между токами и ЭДС соответствующих фаз вторичной обмотки, рад.

Результирующее магнитное поле трансформатора в нагрузочном режиме создается первичной и вторичной обмотками.

Тогда МДС в стержнях магнитопровода, на которых расположены первичные обмотки фаз «А», «В» «С», будут равны соответственно:

$$\begin{aligned} i_A W_1 + i_a \frac{W_2}{2} - i_c \frac{W_2}{2} &= i_{A\mu} W_1 = const, \\ i_B W_1 + i_b \frac{W_2}{2} - i_a \frac{W_2}{2} &= i_{B\mu} W_1 = const, \quad (12) \end{aligned}$$

$$i_C W_1 + i_c \frac{W_2}{2} - i_b \frac{W_2}{2} = i_{C\mu} W_1 = const,$$

где $i_{A\mu}, i_{B\mu}, i_{C\mu}$ – мгновенные значения намагничивающих токов соответствующих фаз, А;

i_A, i_B, i_C – мгновенные значения соответствующих фазных токов первичной стороны, А.

На рисунке 2 представлена схема распределения МДС и магнитных потоков трансформатора в момент времени, соответствующий заданному направлению токов в обмотках. Первичные фазные обмотки оказывают намагничивающее действие на стержни магнитопровода, половины обмоток этих же фаз – размагничивающее, а половины обмоток двух других фаз часть периода изменения тока подмагничивают стержни, а часть периода – размагничивают. Если рассматривать трехстержневой магнитопровод в целом, то видно, что результирующая МДС трехфазной первичной обмотки оказывает намагничивающее действие на трансформатор, а МДС вторичной обмотки – размагничивающее.

Результирующее магнитное поле не зависит от величины нагрузки, потому что пропорционально изменению вторичных токов изменяются токи первичной обмотки, а изменение размагничивающего действия вторичной обмотки компенсируется пропорциональным изменением намагничивающего действия первичной обмотки. Следовательно, основной магнитный поток и индуцируемые им ЭДС в обмотках также не зависят от величины нагрузки.

Величины токов первичной обмотки и их фазовый сдвиг относительно напряжений в нагрузочном режиме будут иными, чем в режиме холостого хода. Первичные токи можно определить из уравнений МДС трансформатора (12):

$$\begin{aligned} i_A &= i_{A\mu} - i_a \frac{W_2}{2W_1} + i_c \frac{W_2}{2W_1}, \\ i_B &= i_{B\mu} - i_b \frac{W_2}{2W_1} + i_a \frac{W_2}{2W_1}, \end{aligned} \quad (13)$$

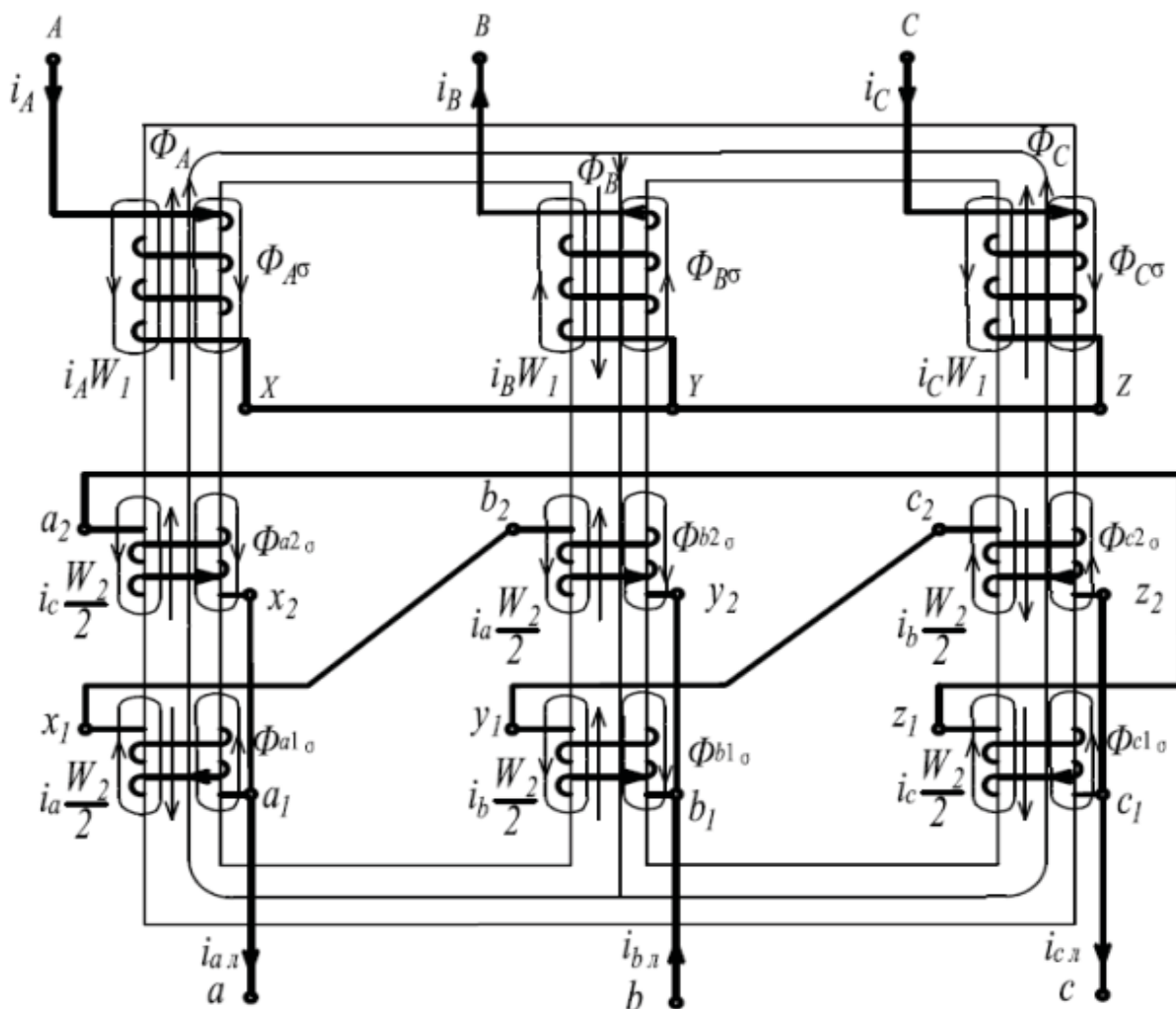


Рисунок 2. Схема распределения МДС и магнитных потоков трехфазного трансформатора «звезда-треугольник с зигзагом»

$$i_C = i_{C\mu} - i_c \frac{W_2}{2W_1} + i_b \frac{W_2}{4W_1}.$$

или

$$\begin{aligned} i_A &= I_{Am} \sin(\omega t - \varphi_A), \\ i_B &= I_{Bm} \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \varphi_B), \\ i_C &= I_{Cm} \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_C), \end{aligned} \quad (14)$$

где I_{Am}, I_{Bm}, I_{Cm} – амплитудные значения первичных соответствующих фазных токов при нагрузке, А;

$\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$ – углы сдвига векторов токов и напряжений соответствующих фаз первичной стороны, рад.

Так как магнитное поле трансформатора имеет пространственное распределение, то часть его силовых линий замыкается, минуя магнитопровод и создавая потоки рассеяния первичной обмотки $\Phi_{A\sigma}, \Phi_{B\sigma}, \Phi_{C\sigma}$, а также половин вторичной обмотки $\Phi_{a1\sigma}, \Phi_{a2\sigma}, \Phi_{b1\sigma}, \Phi_{b2\sigma}, \Phi_{c1\sigma}, \Phi_{c2\sigma}$ (рис. 2). Магнитные потоки рассеяния в основном сцеплены с создающими их обмотками и индуцируют в них ЭДС рассеяния.

ЭДС рассеяния первичных фазных обмоток будут равны:

$$\begin{aligned} e_{A\sigma} &= -L_{A\sigma} \frac{di_A}{dt} = -L_{A\sigma} \times \\ &\times \frac{d(I_{Am} \sin(\omega t - \varphi_A))}{dt} = \\ &= -L_{A\sigma} \omega I_{Am} \cos(\omega t - \varphi_A) = \\ &= I_{Am} x_A \sin(\omega t - \varphi_A - \frac{\pi}{2}), \\ e_{B\sigma} &= -L_{B\sigma} \frac{di_B}{dt} = -L_{B\sigma} \times \\ &\times \frac{d(I_{Bm} \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \varphi_B))}{dt} = \\ &= -L_{B\sigma} \omega I_{Bm} \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \varphi_B) = \\ &= I_{Bm} x_B \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \varphi_B - \frac{\pi}{2}), \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} e_{C\sigma} &= -L_{C\sigma} \frac{di_C}{dt} = -L_{C\sigma} \times \\ &\times \frac{d(I_{Cm} \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_C))}{dt} = \\ &= -L_{C\sigma} \omega I_{Cm} \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_C) = \\ &= I_{Cm} x_C \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \varphi_C - \frac{\pi}{2}), \end{aligned}$$

где $L_{A\sigma}, L_{B\sigma}, L_{C\sigma}$ – индуктивности рассеяния соответствующих первичных фазных обмоток, Гн;

$x_A = \omega L_{A\sigma}, x_B = \omega L_{B\sigma}, x_C = \omega L_{C\sigma}$ – индуктивные сопротивления рассеяния соответствующих фаз первичной обмотки, Ом.

ЭДС рассеяния соответствующих вторичных фазных обмоток будут равны:

$$\begin{aligned} e_{a\sigma} &= e_{a1\sigma} + e_{b2\sigma} = -L_{a1\sigma} \frac{di_a}{dt} - L_{b2\sigma} \frac{di_a}{dt} = \\ &= (-L_{a1\sigma} - L_{b2\sigma}) \frac{di_a}{dt} = (-L_{a1\sigma} - L_{b2\sigma}) \times \\ &\times \frac{d(I_{am} \sin(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu} - \gamma_a - \frac{\pi}{3}))}{dt} = \\ &= (-L_{a1\sigma} - L_{b2\sigma}) \omega I_{am} \cos(\omega t - \varphi_{Ax} - \\ &- \alpha_{A\mu} - \gamma_a - \frac{\pi}{3}) = (\omega L_{a1\sigma} + \omega L_{b2\sigma}) \times \\ &\times I_{am} \sin(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu} - \gamma_a - \frac{5}{6}\pi) = \\ &= I_{am} (x_{a1} + x_{b2}) \sin(\omega t - \varphi_{Ax} - \alpha_{A\mu} - \gamma_a - \frac{5}{6}\pi), \\ e_{b\sigma} &= e_{b1\sigma} + e_{c2\sigma} = -L_{b1\sigma} \frac{di_b}{dt} - L_{c2\sigma} \times \\ &\times \frac{di_b}{dt} = (-L_{b1\sigma} - L_{c2\sigma}) \frac{di_b}{dt} = \\ &= (-L_{b1\sigma} - L_{c2\sigma}) \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \times \frac{d(I_{bm} \sin(\omega t - \frac{3}{2}\pi - \varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu} - \gamma_b - \frac{\pi}{3}))}{dt} = \\
 & = (-L_{b1\sigma} - L_{c2\sigma})\omega I_{bm} \times \\
 & \times \cos(\omega t - \frac{3}{2}\pi - \varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu} - \gamma_b - \frac{\pi}{3}) = \\
 & = (\omega L_{b1\sigma} + \omega L_{c2\sigma})I_{bm} \times \\
 & \times \sin(\omega t - \frac{3}{2}\pi - \varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu} - \gamma_b - \frac{5}{6}\pi) = \\
 & = I_{bm}(x_{b1} + x_{c2}) \times \\
 & \times \sin(\omega t - \frac{3}{2}\pi - \varphi_{Bx} - \alpha_{B\mu} - \gamma_b - \frac{5}{6}\pi), \quad (16) \\
 & e_{c\sigma} = e_{c1\sigma} + e_{a2\sigma} = -L_{c1\sigma} \frac{di_c}{dt} - L_{a2\sigma} \frac{di_c}{dt} = \\
 & = (-L_{c1\sigma} - L_{a2\sigma}) \frac{di_c}{dt} = (-L_{c1\sigma} - L_{a2\sigma}) \times \\
 & \times \frac{d(I_{cm} \sin(\omega t + \frac{3}{2}\pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu} - \gamma_c - \frac{\pi}{3}))}{dt} = \\
 & = (-L_{c1\sigma} - L_{a2\sigma})\omega I_{cm} \times \\
 & \times \cos(\omega t + \frac{3}{2}\pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu} - \gamma_c - \frac{\pi}{3}) = \\
 & = (\omega L_{c1\sigma} + \omega L_{a2\sigma})I_{cm} \times \\
 & \times \sin(\omega t + \frac{3}{2}\pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu} - \gamma_c - \frac{5}{6}\pi) = \\
 & = I_{cm}(x_{c1} + x_{a2}) \times \\
 & \times \sin(\omega t + \frac{3}{2}\pi - \varphi_{Cx} - \alpha_{C\mu} - \gamma_c - \frac{5}{6}\pi),
 \end{aligned}$$

где $L_{a1\sigma}$, $L_{a2\sigma}$, $L_{b1\sigma}$, $L_{b2\sigma}$, $L_{c1\sigma}$, $L_{c2\sigma}$ – индуктивности рассеяния половин вторичных фазных обмоток, соответственно, a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , c_1 , c_2 , Гн;

x_{a1} , x_{a2} , x_{b1} , x_{b2} , x_{c1} , x_{c2} – индуктивные сопротивления рассеяния соответствующих половин вторичных фазных обмоток, Ом.

Соответственно

$$\begin{aligned}
 x_{a1} &= \omega L_{a1\sigma}, x_{a2} = \omega L_{a2\sigma}, \\
 x_{b1} &= \omega L_{b1\sigma}, x_{b2} = \omega L_{b2\sigma}, \\
 x_{c1} &= \omega L_{c1\sigma}, x_{c2} = \omega L_{c2\sigma}.
 \end{aligned} \quad (17)$$

Протекая по обмоткам трансформатора токи вызывают падения напряжений на их активных сопротивлениях.

Согласно второму закону Кирхгофа, фазные напряжения первичной обмотки будут равны:

$$\begin{aligned}
 u_A &= -e_A - e_{A\sigma} + i_A R_A, \\
 u_B &= -e_B - e_{B\sigma} + i_B R_B, \\
 u_C &= -e_C - e_{C\sigma} + i_C R_C,
 \end{aligned} \quad (18)$$

где R_A , R_B , R_C – активные сопротивления соответствующих первичных фазных обмоток, Ом.

Уравнения фазных напряжений вторичной обмотки:

$$\begin{aligned}
 u_a &= e_a + e_{a\sigma} - i_a (R_{a1} + R_{b2}) = \\
 &= e_{a1} + e_{b2} + e_{a\sigma} - i_a (R_{a1} + R_{b2}), \\
 u_b &= e_b + e_{b\sigma} - i_b (R_{b1} + R_{c2}) = \\
 &= e_{b1} + e_{c2} + e_{b\sigma} - i_b (R_{b1} + R_{c2}), \\
 u_c &= e_c + e_{c\sigma} - i_c (R_{c1} + R_{a2}) = \\
 &= e_{c1} + e_{a2} + e_{c\sigma} - i_c (R_{c1} + R_{a2}),
 \end{aligned} \quad (19)$$

где R_{a1} , R_{a2} , R_{b1} , R_{b2} , R_{c1} , R_{c2} – активные сопротивления соответствующих половин вторичных обмоток, Ом.

Так как напряжения, ЭДС, токи, МДС и магнитные потоки трансформатора при принятых допущениях гармонически изменяются во времени по синусоидальному закону, то основные уравнения трансформатора могут быть представлены в комплексной форме, где мгновенные значения вышеперечисленных параметров заменены их действующими значениями. Тогда основные уравнения трансформатора будут иметь следующий вид:

– уравнения фазных напряжений первичной обмотки:

$$\begin{aligned}
 \underline{U}_A &= -\underline{E}_A - \underline{E}_{A\sigma} + \underline{I}_A R_A = \\
 &= -\underline{E}_A + \underline{I}_A (R_A + jx_A), \\
 \underline{U}_B &= -\underline{E}_B - \underline{E}_{B\sigma} + \underline{I}_B R_B = \\
 &= -\underline{E}_B + \underline{I}_B (R_B + jx_B), \\
 \underline{U}_C &= -\underline{E}_C - \underline{E}_{C\sigma} + \underline{I}_C R_C = \\
 &= -\underline{E}_C + \underline{I}_C (R_C + jx_C).
 \end{aligned} \quad (20)$$

– уравнения фазных напряжений вторичной обмотки:

$$\begin{aligned} \underline{U}_a &= \underline{E}_{a1} + \underline{E}_{b2} + \underline{E}_{a\sigma} - \underline{I}_a (R_{a1} + \\ &+ R_{b2}) = \underline{E}_{a1} + \underline{E}_{b2} - \underline{I}_a [(R_{a1} + R_{b2}) + \\ &+ j(x_{a1} + x_{b2})], \\ \underline{U}_b &= \underline{E}_{b1} + \underline{E}_{c2} + \underline{E}_{b\sigma} - \underline{I}_b (R_{b1} + \\ &+ R_{c2}) = \underline{E}_{b1} + \underline{E}_{c2} - \underline{I}_b [(R_{b1} + R_{c2}) + \\ &+ j(x_{b1} + x_{c2})], \\ \underline{U}_c &= \underline{E}_{c1} + \underline{E}_{a2} + \underline{E}_{c\sigma} - \underline{I}_c (R_{c1} + \\ &+ R_{a2}) = \underline{E}_{c1} + \underline{E}_{a2} - \underline{I}_c [(R_{c1} + R_{a2}) + \\ &+ j(x_{c1} + x_{a2})]; \end{aligned} \quad (21)$$

– уравнения МДС в стержнях магнитопровода:

$$\begin{aligned} \underline{I}_A W_1 + \underline{I}_a \frac{W_2}{2} - \underline{I}_c \frac{W_2}{2} &= \underline{I}_{A\mu} W_1, \\ \underline{I}_B W_1 + \underline{I}_b \frac{W_2}{2} - \underline{I}_a \frac{W_2}{2} &= \underline{I}_{B\mu} W_1, \\ \underline{I}_C W_1 + \underline{I}_c \frac{W_2}{2} - \underline{I}_b \frac{W_2}{2} &= \underline{I}_{C\mu} W_1. \end{aligned} \quad (22)$$

Заключение

1. Магнитное поле трансформатора «звезда-треугольник с зигзагом» создается совместно первичной и вторичной обмотками: первичная – намагничивает магнитопровод, одни половины вторичных обмоток, расположенные на стержнях с первичными обмотками этих же фаз – размагничивают, а вторые половины – часть периода изменения тока подмагничивают стержни, а часть периода размагничивают.

2. Результирующее магнитное поле трансформатора не зависит от величины нагрузки, потому что изменение размагничивающего действия вторичной обмотки компенсируется пропорциональным изменением намагничивающего действия первичной обмотки. Следовательно, основной магнитный поток и индуцируемые им ЭДС в обмотках также не зависят от величины нагрузки.

3. Фазные ЭДС вторичной обмотки рассматриваемого трансформатора равны геометрической сумме ЭДС двух ее половин, расположенных на разных стержнях магнитопровода, и сдвинуты по фазе на угол 30° относительно одноименных ЭДС первичной обмотки.

4. Вторичные фазные ЭДС предложенной схемы соединения обмоток на 15% меньше ЭДС схемы «звезда» при том же количестве витков вторичной обмотки, что требует соответствующего увеличения количества витков во вторичной обмотке для получения номинального вторичного напряжения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трёхфазный трансформатор: пат. 2244 Рес. Беларусь / А.П. Сердешнов, Г.И. Янукович, Е.А. Сердешнов, Д.Г. Янукович; заявитель Белор. гос. аграрный технич. ун-т. – № а 950299; заявл. 1995.06. 09; опубл. 30. 09. 1998 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 1998. – № 3(18). – С. 216-217.

2. Збродыга, В.М. Улучшение показателей несимметричности и несимметрии напряжений в электроустановках сельскохозяйственного назначения применением трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ В.М. Збродыга. – Минск, 2010. – 20 с.

3. Прищепов, М.А. Методика расчета конструктивных параметров трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом» / М.А. Прищепов, В.М. Збродыга, Г.И. Янукович // Агропанорама. – 2010. – № 5. – С. 29-33.

4. Прищепов, М.А. Техничко-экономическая оптимизация параметров трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом» / М.А. Прищепов, В.М. Збродыга, Г.И. Янукович // Агропанорама. – 2010. – № 6. – С. 24-30.

5. Збродыга, В.М. К вопросу повышения качества электроэнергии / В.М. Збродыга, Г.И. Янукович, А.П. Сердешнов // Агропанорама. – 2006. – № 2. – С. 9-12.

6. Янукович, Г.И. Трансформатор со схемой соединения обмоток Y/Δ с зигзагом / Г.И. Янукович, В.М. Збродыга, Н.Г. Королевич // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: материалы 8-й междунар. науч.-технич. конф., Москва, 16-17 мая 2012 г.: в 5 ч. / ГНУ ВИЭСХ; редкол. А.А. Артюшин [и др.]. – Москва, 2012. – Ч. 1. – С. 141-145.

7. Збродыга, В.М. Анализ работы трансформатора Y/Δ с зигзагом при нелинейном характере нагрузки / В.М. Збродыга // Агропанорама. – 2005. – № 6. – С. 10-14.

8. Збродыга, В.М. Анализ работы трансформатора Y/Δ с зигзагом при несимметричном характере нагрузки / В.М. Збродыга, Г.И. Янукович, А.П. Сердешнов // Агропанорама. – 2006. – № 5. – С. 8-12.

9. Янукович, Г.И. Трансформатор Y/Δ с зигзагом как источник питания нелинейных электроприемников / Г.И. Янукович, В.М. Збродыга, А.П. Сердешнов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: материалы 5-й междунар. науч.-технич. конф., Москва, 16-17 мая 2006 г.: в 5 ч. / ГНУ ВИЭСХ; редкол. А.А. Артюшин [и др.]. – Москва, 2006. – Ч. 1. – С. 274-277.

10. Янукович, Г.И. О возможности применения трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом» для повышения качества напряжения / Г.И. Янукович, В.М. Збродыга, Н.Г. Королевич, М.П. Збродыга // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы междунар. науч.-практич. конф., Минск, 23-24 октября 2014 г./ БГАТУ; редкол. И.Н. Шило [и др.]. – Минск, 2014. – С. 183-184.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 15.09.2022

УДК 631.3-6

ОСАЖДЕНИЕ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ В ПОЛЕ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

В.К. Корнеева,

доцент каф. технологии металлов БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.М. Капцевич,

зав. каф. технологии металлов БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

И.В. Закревский,

ст. преподаватель каф. технологии металлов БГАТУ

П.М. Спиридович,

магистрант каф. технологии металлов БГАТУ

Проведены теоретические исследования движения ферромагнитных частиц в высокоградиентном магнитном поле постоянных магнитов для различных размеров и природы продуктов износа и значений градиента напряженности магнитного поля.

Ключевые слова: частицы износа, постоянные магниты, высокоградиентное поле.

Theoretical studies of ferromagnetic particles motion in a high-gradient magnetic field of permanent magnets for various sizes and nature of wear products and values of the magnetic field strength gradient were carried out.

Key words: wear particles, permanent magnets, high-gradient field.

Введение

В процессе работы ДВС в картер моторным маслом выносятся металлические частицы различного химического состава, генерируемые в трибосопряжениях деталей цилиндропоршневой группы (поршневые кольца, поршень, вкладыши шатунных подшипников, гильзы цилиндров), кривошипно-шатунного механизма (коленчатый вал, поршневая группа, поршневые кольца и пальцы, шатуны, маховик, шатунные и коренные вкладыши подшипников) и газораспределительного механизма (шестерни, распределительный вал, впускные и выпускные клапаны, соединительные и передающие движение детали) (табл. 1) [1].

Таблица 1. Продукты износа двигателя внутреннего сгорания

Материал	Источник продуктов износа
Железо	Износ кривошипно-шатунной системы, цилиндропоршневой группы, газораспределительного механизма,
Алюминий	Износ поршня, подшипника; неисправность воздушного фильтра
Сурьма, свинец, олово	Износ и выкрашивание подшипников качения
Медь	Износ шатуна, распределительного вала, корпуса/крышки масляного насоса
Хром	Износ поршневых колец и клапанов
Никель	Износ поршневого пальца

Количество ферромагнитных частиц может составлять до 90 % от всех взвешенных в масле частиц [2].

По размерам ферромагнитных частиц можно определить интенсивность износа рабочих поверхностей деталей: функционирование сельскохозяйственных машин в исправном состоянии сопровождается обычно образованием частиц износа с размером до 10-20 мкм, при повышенном износе размер частиц достигает 200-250 мкм, предаварийный износ сопровождается образованием частиц до 0,5 мм, аварийный – 0,5-6 мм [3]. По форме частиц можно судить о характере износа. Так, например, частицы в форме плоских хлопьевидных пластин свидетельствуют об усталостном выкрашивании, сферические частицы – об усталостном выкрашивании при качении, частицы в виде стружки – о микрорезании, частицы с бороздами – о задирах [4, 5].

По количеству ферромагнитных частиц можно судить об интенсивности изнашивания деталей двигателя и спрогнозировать возможность возникновения катастрофического износа и принять меры для его предотвращения.

В настоящее время магнитные методы контроля являются одним из самых мощных диагностических инструментов в анализе смазочных материалов и заключаются в осаждении металлических частиц износа из проб рабочих жидкостей под действием магнитного поля. В настоящее время в России и в Беларуси магнитные методы контроля для анализа свойств моторного масла сельскохозяйственной техники не используются.

Изучению магнитных методов контроля частиц износа в моторном масле посвящены работы зарубежных ученых – V.C. Westcott, R. Bowen, D. Scott, W. Seifert, E. Fitch, R. Tessniann, J. Fitch, B. Fitch и др.

Магнитные методы контроля свойств работающего моторного масла для диагностики состояния деталей и узлов техники, основанные на анализе частиц износа, можно разделить на два класса методов [6]. Методы первого класса предусматривают периодический отбор проб масла из системы смазки с последующим анализом этих проб лабораторными методами. К таким методам относятся: феррография прямого считывания и аналитическая феррография. Методы второго класса основаны на анализе частиц износа в масле с помощью устройств, встроенных в систему смазки: магнитные фильтры, магнитные пробки и магнитные щупы.

Теоретические задачи поведения ферромагнитных частиц в магнитном поле рассмотрены в работах [7-9], однако в них не отражены вопросы определения траектории движения частиц при различных значениях градиента напряженности магнитного поля, различных размеров и природы продуктов износа, а также при различных начальных координатах попадания частиц в поток.

Целью работы является рассмотрение теоретической задачи движения ферромагнитных частиц в высокоградиентном поле действия сил постоянных магнитов.

Основная часть

При решении данной теоретической задачи поэтапно рассмотрим, во-первых, непосредственное движение масляного слоя по наклонной поверхности, во-вторых – движение ферромагнитных частиц в масляном слое, и, в-третьих – движение ферромагнитных частиц в масляном слое в высокоградиентном магнитном поле.

Рассмотрим движение масляного слоя, содержащего ферромагнитные частицы загрязнений, по наклонной поверхности на примере предметного стекла аналитического феррографа (аналогично данную задачу можно рассматривать для магнитного щупа, магнитной пробки и магнитного фильтра). На рисунке 1 схематично представлено движение масляного слоя в координатах $x-z$, где ось x перпендикулярна поверхности предметного стекла, а ось z – параллельна поверхности стекла и совпадает с направлением движения масляного слоя.

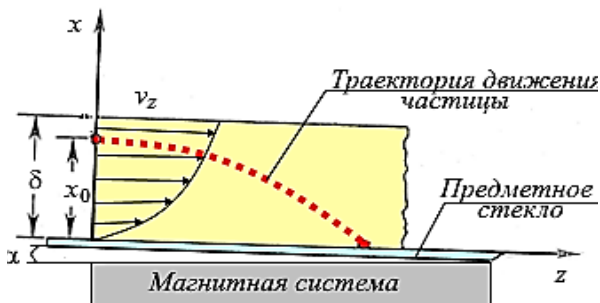


Рисунок 1. Схема изображения движения масляного слоя

Скорость течения масла $v_z^{\text{ж}}$ (м/с) по наклонной поверхности предметного стекла в направлении оси z может быть определена с помощью параболической зависимости [10]

$$v_z^{\text{ж}} = \frac{\rho_{\text{ж}} g \sin \alpha}{2\eta} (2\delta x - x^2), \quad (1)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность масла, кг/м³,
 g – ускорение свободного падения, м/с²;
 α – угол наклона предметного стекла, град;
 δ – высота масляного слоя, м;
 η – вязкость масла, Па·с;
 x – координата вдоль оси x , м.

Скорость течения потока масла v_z относительно оси x изменяется от 0 при $x = 0$ и достигает максимального значения $v_z^{\text{ж max}}$ при $x = \delta$

$$v_z^{\text{ж max}} = \frac{\rho_{\text{ж}} g \delta^2 \sin \alpha}{2\eta}. \quad (2)$$

Средняя скорость масла в масляном слое $v_z^{\text{ж ср}}$ вдоль предметного стекла может быть определена интегрированием выражения (1) и относя полученное значение к толщине слоя δ

$$v_z^{\text{ж ср}} = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} v_z^{\text{ж}} dx = \frac{\rho_{\text{ж}} g \delta^2 \sin \alpha}{3\eta}. \quad (3)$$

Движение частиц в масляном слое носит сложный характер. С одной стороны, частица в направлении оси z перемещается со скоростью v_z , совпадающей со скоростью движения жидкости $v_z^{\text{ж}}$ (1)

$$v_z^{\text{ж}} = v_z = \frac{\rho_{\text{ж}} g \sin \alpha}{2\eta} (2\delta x_{\text{ч}} - x_{\text{ч}}^2). \quad (4)$$

С другой стороны, в направлении оси x скорость перемещения частицы v_x будет определяться силами, действующими на частицу:

– силой тяжести

$$F_T = \frac{\pi D^3 g}{6} \rho_{\text{ч}}; \quad (5)$$

где D – диаметр частицы, м;
 $\rho_{\text{ч}}$ – плотность частицы, кг/м³;
– выталкивающей силой Архимеда

$$F_A = \frac{\pi D^3 g}{6} \rho_{\text{ж}}; \quad (6)$$

– магнитной силой

$$F_M = \frac{\pi D^3 \chi}{3\mu_0} B \frac{dB}{dx}, \quad (7)$$

где χ – магнитная восприимчивость частицы;
 B – магнитная индукция, Н/А·м;
 μ_0 – магнитная проницаемость в вакууме, Н/А²;
– силой сопротивления Стокса

$$F_{\text{Ст}} = 3\pi\eta D v_x. \quad (8)$$

Схема действия сил на частицу представлена на рисунке 2.



Рисунок 2. Схема действия сил на частицу в направлении оси x

Результирующую силу, действующую на частицу в направлении оси x , с учетом закона Ньютона можно записать

$$-F_T + F_A - F_M + F_{Cr} = \left(\frac{\pi D^3}{6} \rho_{\text{ч}} \right) \frac{dv_x}{dt}. \quad (9)$$

Подставляя выражения (5)–(8) в (9), получаем

$$-\frac{\pi D^3}{6} \left[g(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}}) + \frac{\chi}{2\mu_0} B \frac{dB}{dx} \right] + 3\pi\eta D v_x = \left(\frac{\pi D^3}{6} \rho_{\text{ч}} \right) \frac{dv_x}{dt}. \quad (10)$$

Когда в процессе движения силы тяжести, Архимеда и магнитная сила уравновешиваются силой Стокса, скорость движения частицы становится постоянной v_{Cr} , соответственно, правая часть выражения (10) равна 0, а скорость частицы v_x заменяем на v_{Cr}

$$v_{Cr} = \frac{D^2}{18\eta} \left[g(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}}) + \frac{\chi}{2\mu_0} B \frac{dB}{dx} \right]. \quad (11)$$

Комбинируя выражения (10) и (11), получаем

$$v_{Cr} - v_x = \frac{D^2 \rho_{\text{ч}}}{18\eta} \frac{dv_x}{dt}. \quad (12)$$

Решение дифференциального уравнения (12) имеет вид

$$v_x = v_{Cr} \left[1 - \exp\left(-\frac{18\eta}{D^2 \rho_{\text{ч}}} t\right) \right]. \quad (13)$$

Из уравнения (13) время, необходимое для того чтобы скорость частицы v_x в направлении x достигла 99 % от скорости Стокса v_{Cr} , можно оценить как $5D^2 \rho_{\text{ч}} / 18\eta$. Для стальной сферической частицы диаметром 10 мкм в моторном масле М-10Г₂ ($\rho_{\text{ж}} = 850,82 \text{ кг/м}^3$, $\mu = 0,2 \text{ Па}\cdot\text{с}$ при температуре $T = 273 \text{ К}$) время составляет $9,0 \times 10^{-8} \text{ с}$.

Таким образом, скорость частицы достигает 99 % от скорости Стокса за доли секунды, и, следовательно, можно считать, что скорость движения частиц в направлении оси x равна скорости Стокса.

Отсюда следует, что в каждый момент времени

$$\frac{dx_{\text{ч}}}{dt} = -v_{Cr}, \quad (14)$$

где $x_{\text{ч}}$ – координата частицы в направлении оси x , м.

Уравнения (4) и (14) описывают движение магнитных частиц в потоке масла, как по оси x , так и по оси y . Учитывая, что

$$v_z = \frac{dz_{\text{ч}}}{dt}$$

и комбинируя уравнения (4) и (14), получаем

$$dz_{\text{ч}} = -\frac{\rho_{\text{ж}} g \sin \alpha}{2\eta v_{Cr}} (2\delta x_{\text{ч}} - x_{\text{ч}}^2) dx_{\text{ч}}.$$

Интегрируя это уравнение, получаем

$$z_{\text{ч}} = -\frac{\rho_{\text{ж}} g \sin \alpha}{2\eta v_{Cr}} \left(2\delta x_{\text{ч}}^2 - \frac{x_{\text{ч}}^3}{3} \right) + C. \quad (15)$$

Постоянную C в уравнении (15) определим из следующих граничных условий: при $z_{\text{ч}} = 0$, $x_{\text{ч}} = x_0$, где x_0 – координата положения частицы по оси x в начальный момент движения в масляном слое

$$C = \frac{\rho_{\text{ж}} g \sin \alpha}{2\eta v_{Cr}} \left(2\delta x_0^2 - \frac{x_0^3}{3} \right). \quad (16)$$

С учетом уравнения (16) уравнение (15) можно записать в виде

$$z_{\text{ч}} = \frac{\rho_{\text{ж}} g \sin \alpha}{\eta v_{Cr}} \left[\frac{1}{6} (x_{\text{ч}}^3 - x_0^3) - \delta (x_{\text{ч}}^2 - x_0^2) \right]. \quad (17)$$

С учетом сил, действующих на частицу в потоке масла, преобразуем уравнение (17), подставляя значение v_{Cr} из уравнения (11)

$$z_{\text{ч}} = \frac{18\rho_{\text{ж}} g \sin \alpha}{D^2} \left[\frac{1}{6} (x_{\text{ч}}^3 - x_0^3) - \delta (x_{\text{ч}}^2 - x_0^2) \right] \left[g(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}}) + \frac{\chi}{2\mu_0} B \frac{dB}{dx} \right]. \quad (18)$$

Известно [11], что для создания высокоградиентного магнитного поля с высоким значением $B \frac{dB}{dx}$

предложен способ формирования новой магнитной системы. В этой системе с открытой доменной структурой Киттеля над свободными кромками сопрягаемых граней двух магнитов с противоположным направлением полярности магнитного поля и магнитной анизотропией, существенно превышающей магнитную индукцию материала магнитов, располагают две верхние тонкие пластины из магнитомягкого материала (рис. 3) [12]. Пластины размещены на свободных гранях магнитов так, что они формируют узкий зазор непосредственно над верхними кромками сопрягаемых граней магнитов, а нижняя пластина, также изготовленная из магнитомягкого материала, размещена под магнитами.

Эффект от введения магнитомягких пластин заключается в следующем: магнитные силовые линии распространяются от одного полюса к другому, по

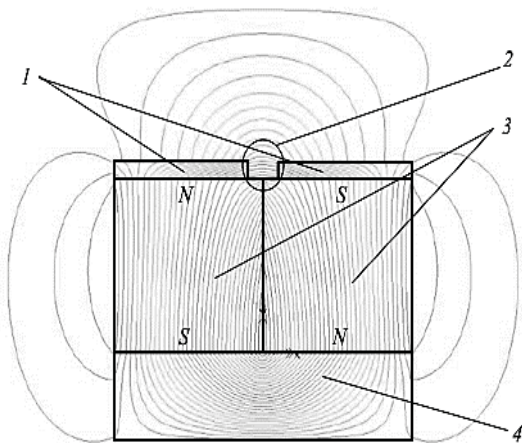


Рисунок 3. Полуоткрытая магнитная система Киттеля: 1 – верхние пластины; 2 – зазор; 3 – магниты; 4 – нижняя пластина

глощаются магнитомягким материалом в верхних пластинах, т.к. они обладают значительно большей магнитной проницаемостью, чем воздушная среда, и предотвращают выход большей части магнитного потока за пределы магнитной системы. Однако в зазоре между верхними пластинами создается область для выхода магнитных силовых линий, в которой образуется магнитное поле рассеяния с высокими напряженностью и градиентом напряженности в направлении, пер-

пендикулярном зазору. Нижняя пластина, расположенная под магнитами, также ограничивает выход силовых линий за пределы магнитной системы.

На рисунке 4 представлена расчетная зависимость $B \frac{dB}{dx}$ от расстояния x точки сопряжения верхних граней магнитов.

Для вышеописанной системы при различных значениях $B \frac{dB}{dx}$ с использованием формулы (18) рассчиты-

таны траектории движения ферромагнитных частиц диаметром 10 мкм ($\rho_{\text{ч}} = 7800 \text{ кг/м}^3$), движущихся в масляном слое ($\rho_{\text{ж}} = 800 \text{ кг/м}^3$) высотой 2 мм (рис. 5).

На рисунке 6 показаны траектории движения ферромагнитных частиц ($\rho_{\text{ч}} = 7800 \text{ кг/м}^3$) различного диаметра в масляном слое ($\rho_{\text{ж}} = 800 \text{ кг/м}^3$) высотой 2 мм при значении $B \frac{dB}{dx}$, равном $40 \text{ Тл}^2/\text{м}$.

На рисунке 7 показаны траектории движения ферромагнитных частиц ($\rho_{\text{ч}} = 7800 \text{ кг/м}^3$) диаметром 1 мкм в масляном слое ($\rho_{\text{ж}} = 800 \text{ кг/м}^3$) высотой 2 мм под воздействием магнитного поля $B \frac{dB}{dx} = 40 \text{ Тл}^2/\text{м}$ при различных координатах положения частицы x_0 в начальный момент движения.

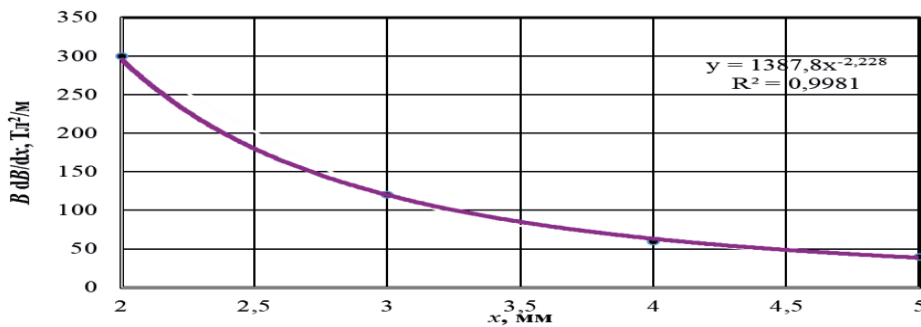


Рисунок 4. Зависимость $B \frac{dB}{dx}$ от расстояния x точки сопряжения верхних граней магнитов

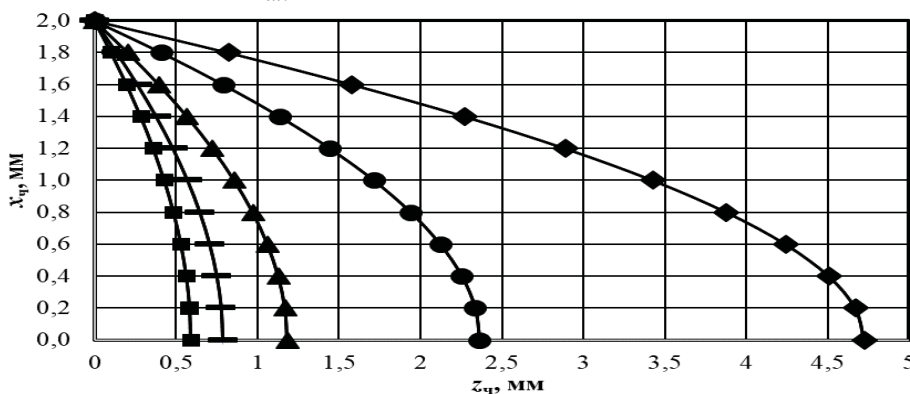


Рисунок 5. Траектории движения ферромагнитных частиц при различных значениях $B \frac{dB}{dx}$:
■ – $40 \text{ Тл}^2/\text{м}$; ▴ – $30 \text{ Тл}^2/\text{м}$; ▲ – $20 \text{ Тл}^2/\text{м}$; ● – $10 \text{ Тл}^2/\text{м}$; ◆ – $5 \text{ Тл}^2/\text{м}$

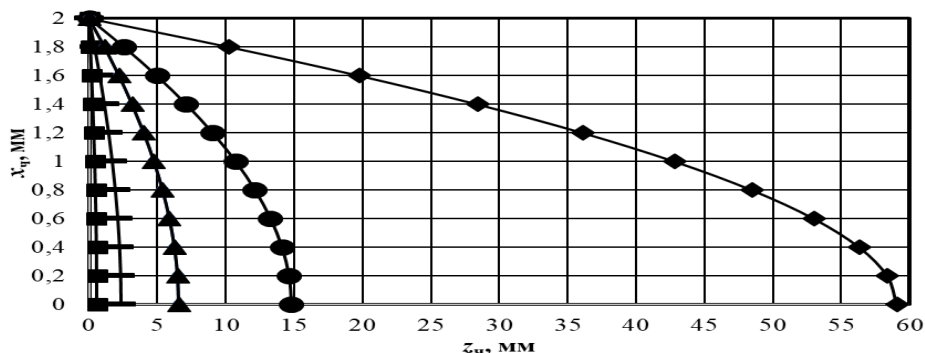


Рисунок 6. Траектории движения ферромагнитных частиц в магнитном поле $B \frac{dB}{dx} = 40 \text{ Тл}^2/\text{м}$ различного диаметра:

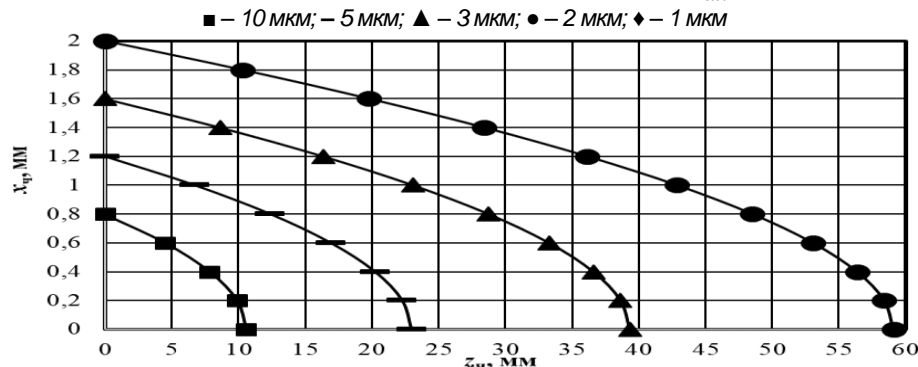


Рисунок 7. Траектории движения ферромагнитной частицы диаметром 1 мкм в магнитном поле

$B \frac{dB}{dx} = 40 \text{ Тл}^2/\text{м}$ при различных координатах положения x_0 в начальный момент движения:

■ – 0,8 мм; – 1,2 мм; ▲ – 1,6 мм; ● – 2 мм

Полученные зависимости (рис. 5-7) доказывают достоверность рассмотренной теоретической задачи движения ферромагнитных частиц в высокоградиентном магнитном поле постоянных магнитов, позволяющей определять траектории их движения при различном значении градиента напряженности магнитного поля (рис. 5), различных размеров и природы продуктов износа (рис. 6), а также при различных начальных координатах попадания частиц в поток (рис. 7).

Заключение

Решена теоретическая задача движения ферромагнитных частиц в высокоградиентном поле действия сил постоянных магнитов, основанная на рассмотрении, во-первых, непосредственного движения масляного слоя по наклонной поверхности, во-вторых, движения ферромагнитных частиц в масляном слое, и, в-третьих, движения ферромагнитных частиц в масляном слое в высокоградиентном магнитном поле.

Проведенные теоретические расчеты движения ферромагнитных частиц в высокоградиентном магнитном поле постоянных магнитов позволили определить траектории их движения при различном значении градиента напряженности магнитного поля, различных размеров и природы продуктов износа, а также при различных начальных координатах попадания частиц в поток, что, в конечном итоге, позво-

лит разработать и создать эффективные магнитные устройства для контроля за продуктами износа ДВС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Myalo, O.V. How the Key Indicators of Motor Oil Quality Affect the Reliability of Engine Assemblies in Tractors / O.V. Myalo, V.V. Myalo, E.V. Demchuk // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 666 (2021) 032053. – P. 1-9.
2. Fitch, B. Magnetic Filtration Applications and Benefits / B. Fitch // Machinery Lubrication [Electronic resource]. – 2005. – Mode of access: <https://www.machinerylubrication.com/Read/794/magnetic-filtration>. – Date of access: 15.03.2021.
3. Bubenicek, S. Le suivi d'usure de machines par la méthode des analyse périodiques d'huile / S. Bubenicek // Bulletin technique du: Bureau Veritas. – 1987. – Mart / april. – P.75-78.
4. Fitch, B. Anatomy of Wear Debris / B. Fitch // Machinery Lubrication [Electronic resource]. – 2013. – Mode of access : <https://www.machinerylubrication.com/Read/29537/wear-debris-anatomy>. – Date of access: 17.03.2021.
5. Fitch, J. The Benefits of Using Wear Debris Analysis in Industrial Machinery / J. Fitch // Machinery

Lubrication [Electronic resource]. – 2008. – Mode of access: <https://www.machinerylubrication.com/Read/1390/wear-debris-analysis-industrial>. – Date of access: 17.03.2021.

6. Маркова, Л.В. Трибодиагностика машин / Л.В. Маркова, Н.К. Мышкин. – Минск: Белорусская наука, 2005. – 251 с.

7. Liu, Y. Motion analysis on the particles in a magnetic field detector / Y. Liu [et al.]. // Tribology International. – 2000. – № 33 – P. 837-843.

8. Самофалов, В.Н. Сильные поля рассеяния в системах магнитов с гигантской магнитной анизотропией / В.Н. Самофалов, Д.П. Белозоров, А.Г. Равлик // Успехи физических наук. – 2013. – Т. 183. – № 3. – С. 287-306.

9. Coey, J.M.D. Permanent magnet applications / J.M.D. Coey // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2002. – № 248. – P. 441-456.

10. Берд, Р. Явления переноса. / Р. Берд, В. Стюарт, Е. Лайтфут. – Москва: Химия, 1974. – 688 с.

11. Magnet apparatus for generating high gradient magnetic field: pat. US 10328436 / Henrik Hoyer. – Pub. date 06. 25. 2019. – United States Patent Office.

12. Roth, I.B. Characterization and use of permanent magnets with extremely strong field gradients: master's thesis / I.B. Roth. – Department of Physics University of Oslo, 2009. – 95 p.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 10.10.2022

УДК 639.3.06+628.16.087

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ АНАЭРОБНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ АКВАКУЛЬТУРЫ

В.Н. Штепа,

декан инженерного факультета Полесского гос. университета, докт. техн. наук, доцент

А.Б. Шикунец,

магистрант Полесского гос. университета

Проведены экспериментальные исследования анаэробного сбраживания отходов промышленной аквакультуры (помета клариевого сома), а также оценены различные способы интенсификации анаэробных процессов в биогазовом реакторе. Повышение эффективности процессов с помощью периодического воздействия постоянного электрического тока позволило повысить выход биогаза на 1 литр субстрата в 4,43 раза по сравнению с контрольным реактором. Установлено, что использование электротехнологической интенсификации позволяет сократить время окупаемости метаногенерирующего оборудования, а также увеличить прибыль от его использования. Полученные результаты могут быть эффективно использованы при функционировании промышленных систем аквакультуры, коммунальных и локальных очистных сооружений, а также мобильных биогазовых анаэробных реакторов.

Ключевые слова: анаэробное сбраживание, аквакультура, электролизные процессы.

The experimental study of industrial aquaculture waste anaerobic fermentation (clariid catfish droppings) was carried out, and various methods for intensifying anaerobic processes in the biogas reactor were evaluated. Improving the efficiency of processes with the help of periodic exposure to direct electric current made it possible to increase the yield of biogas per 1 liter of substrate by 4.43 times compared to the control reactor. It has been established that the use of electro-technological intensification makes it possible to reduce the payback time of the methane generating equipment, as well as increase profits from its use. The results obtained can be effectively used in the operation of industrial aquaculture systems, communal and local treatment facilities, as well as mobile biogas anaerobic reactors.

Key words: Anaerobic fermentation, aquaculture, electrolysis processes.

Введение

Анаэробные процессы часто используют для удаления загрязнений из промышленных отходов, например, в качестве первой ступени очистки сточных вод с высокой концентрацией органических загрязнений (биологическое потребление кислорода (БПК₅) более 4-5 гО₂/л, химическое потребление кислорода (ХПК) – от 3 гО₂/л), для переработки активного ила, других

осадков и твердых отходов. При этом в ходе метаногенерации (метаногенеза), процесса с образованием метана, органические загрязнения конвертируются в биогаз, содержащий в основном СН₄ и СО₂ [1].

В то же время при аэробной утилизации отходов образуется избыточный активный ил, в который переходит до 50 % всей энергии исходного органического вещества, тогда как в анаэробных процессах до 90-95 % всей энергии субстрата аккумулируется в

виде биогаза с энергетической ценностью $(2,2-2,7) \cdot 10^7 \cdot \text{Дж}/\text{м}^3$, что делает его энергоносителем, пригодным для использования при получении электроэнергии и тепла [2]. Примерный состав основных компонентов таких горючих газов в % масс: метан (CH_4) – 40-75 (обычно 50-60), диоксид углерода (CO_2) – 30-40, азот (N) – 0,8-1, сероводород (H_2S) – 1-2, кислород (O_2) – 1-2, другие токсичные соединения – в небольших количествах [3].

Биотехнология переработки органических отходов обладает рядом положительных эффектов [3]:

- возможность получения обеззараженных, лишенных жизнеспособных семян растений, высококачественных удобрений с полной минерализацией азота и фосфора;

- высокий коэффициент полезного действия (КПД) (до 90%) превращения энергии органических веществ в биогаз, теплотворная способность которого составляет 20-25 МДж/м³ (56-70% CH_4), что соответствует 0,7-0,8 кг условного топлива;

- возможность получения ценных биологически активных соединений, например, витамина B_{12} ;

- удаление из сточных вод опасных микроорганизмов и яиц гельминтов.

Актуальность использования таких биотехнологических комплексов в индустриальной аквакультуре вызвана тем, что отводимая производственная сточная вода (промышленные отходы) включает значительные концентрации органических загрязнителей, которые превышают требования нормативных документов касательно их предельно-допустимых концентраций (ПДК) не только перед отведением в природные водоемы, но даже перед подачей их на типовые биологические локальные очистные сооружения (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика сточных вод

Показатель загрязнений	Показатели загрязнений сточных вод	ПДК загрязняющих веществ в составе сточных вод (рыбоводство)
Водородный показатель, pH	6-8,5	-
БПК ₅ , мг O_2 /л	4,5	20
Взвешенные вещества, мг/л	50	33
Аммоний-ион, г N/л	0,75	1,0
Нитриты, мг/л	1,5	0,2
Нитраты, мг/л	150	3,0
Фосфаты, мг/л	1	0,6

Вместе с тем, при относительной налаженности процессов анаэробной утилизации отходов, необходимо исследовать и апробировать технологические способы, которые улучшат их технико-экономические показатели с получением вторичных ликвидных товаров – горючего газа и удобрения.

Основная часть

Исследованию проблемы анаэробной переработки отходов посвящены работы ряда ученых – Кузнецова И.Н. (исследование процесса анаэробной переработки послеспиртовой барды), Марцуль В.Н. (испытания режимов анаэробного сбраживания осадков

сточных вод Минской очистной станции), Сеница С.И. (анаэробная обработка отходов агропромышленного комплекса), Астрейко А.А. (способы интенсификации процесса метанового брожения), Нагорного Р.К. (получение биогаза из смесей биоотходов), Сунцова Ю.А. (энергетические аспекты анаэробной переработки органических отходов сельскохозяйственного производства).

В целом анаэробную конверсию биомассы осуществляют гидролитические, ацидогенные и ацетогенные бактерии, а также ацетокластические, гидрогено-трофные и метилотрофные метаногенные археи [3].

Одним из эффективных решений проблемы накопления азотистых соединений в ходе процесса биологической очистки может стать добавление в анаэробные системы доступных соединений, способных к удалению ионов аммония и аммиака. Так, одними из наиболее известных и широко распространенных веществ, способных к такому процессу, являются цеолиты. Ионы аммония и аммиак эффективно удаляются цеолитами из водных растворов, когда те обмениваются катионами или адсорбируются в порах алюмосиликатных систем [4].

Также в последние годы в нашей стране и за рубежом ведутся активные поиски способов интенсификации классических методов биологической очистки с помощью добавления биологически активных веществ (БАВ) [3]. Изучение действия биологически активных веществ, используемых в сверхнизких концентрациях, которые по своим свойствам близки к природным регуляторам роста, представляет интерес при решении задач в области защиты окружающей среды, прежде всего водных объектов.

К примеру, в работе [5] указаны данные, которые свидетельствуют о способности гуминового препарата и мелафена оказывать различное воздействие на рост микроорганизмов активного ила в зависимости от концентрации и стадии роста, что может быть использовано для интенсификации очистки сточных вод. Кроме того, показано, что снижение концентрации гуминового препарата приводит к подавлению роста микроорганизмов, что также может найти практическое применение. Также в работе Ковалева В.В., Унгурияну Д.В. и Ковалевой О.В. отмечено, что при использовании определенных БАВ, скорость выхода биогаза относительно контроля можно увеличить в 3,7 раза [6].

Вместе с тем перспективным направлением является интенсификация анаэробных процессов воздействием постоянного электрического тока. В водных растворах постоянное электрическое поле может оказывать как стимулирующее, так и угнетающее воздействие на живые организмы в зависимости от многих технологических параметров, например, плотности тока и продолжительности обработки. Данное направление в своей работе изучала Наумова О.В. [7], где вела работы по совершенствованию электроимпульсной технологии при получении биогаза из органических отходов. Также в исследовании Ковалева В.В. изучалось влияние элек-

тролитически выделенного водорода на сообщество микроорганизмов активного ила [6].

Так, в ряде зарубежных публикаций указано положительное воздействие низких сил токов на рост и размножение микроорганизмов. Говорится, что воздействие электрического тока силой 0,1 мА на воду, отобранную из водоема и содержащую сообщество микроорганизмов, оказало стимулирующее воздействие на их рост и размножение. В контрольной емкости в течение трех дней количество микробов находилось в пределах 3500, в то время как после воздействия электрического тока, на второй день оно составляло 43000, а на третий – 108000. Также проводились исследования над культурами *Pseudomonas radiciola* и *Vacillus megateriu*. В результате культивирования на жидких питательных средах под воздействием постоянного электрического тока силой 0,3 мА показатели роста микроорганизмов в первые 2-3 дня в обрабатываемых пробах отличались от контрольных практически в 100 раз [8].

Кроме воды и питательных сред, большой рост микроорганизмов под действием электрического тока отмечался на почве и молоке, а также показано положительное воздействие малых сил токов на рост дрожжей. В то же время в работе [9] различные микробные культуры обрабатывались в течение 30 минут постоянным электрическим током силой от 5 до 20 мА, в результате чего также во всех культурах наблюдался рост биомассы.

Эти данные позволяют судить о положительном воздействии электролиза на рост и развитие различных сообществ микроорганизмов, что обосновывает целесообразность применения электролиза в качестве стимулятора клеточного роста и деления в ходе анаэробного сбраживания.

Можно предположить, что эффект усиленного роста микроорганизмов под действием постоянного электрического тока проявляется за счет изменения окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) раствора в сторону, благоприятную для протекания жизненных процессов в клетках, что согласовывается с исследованиями Резникова К.М., Колесниченко П.Д. и Коваленко И.В., которые в своей работе описывали влияние различных значений ОВП, как на конструктивный, так и на энергетический метаболизм в клетке [10].

Также в работе [11] отмечается, что электролизные процессы способствуют стабилизации структуры хлопьев активного ила в ходе анаэробных процессов, что также ведет к улучшению показателей очистки органосодержащих сточных вод и качества выделяемого биогаза, а именно – соотношения метана и других сопутствующих ему газов, выделяемых в ходе жизнедеятельности микроорганизмов. Кроме того, указано, что под действием электрического тока, в растворах разлагаются различные сложные органические вещества, имеющие токсический эффект в отношении полезных микроорганизмов активного ила, что способствует более полному и быстрому разложению субстрата.

Необходимо отметить, что другими авторами изучался также метаболизм бактерий. В результате данных

исследований было выявлено положительное влияние постоянного тока на метаболическую активность микроорганизмов, что подтверждается увеличением количества АТФ (аденозинтрифосфорной кислоты) в электротехнологически обработанных культурах по сравнению с контрольной культурой [12].

Дополнительно, в результате электролитического разложения воды, выделяется водород, поглощаемый анаэробными микроорганизмами. Это позволяет повышать качество выделяемого биогаза посредством увеличения содержания в нем метана, свёрхсинтез которого достигается избытком водорода в субстрате [11].

Исследования способов интенсификации процессов анаэробной переработки отходов индустриальной аквакультуры

В рамках эксперимента были созданы четыре опытных реактора с целью дальнейшего проведения в них процесса анаэробного сбраживания органического субстрата, представленного пометом клариевого сома.

О степени разложения органического вещества в растворе судили по удалению органических загрязнителей из водного раствора и газовой выделению. В аккредитованной лаборатории КПУП «ПинскВодоканал» выполнялся анализ химического потребления кислорода (ХПК);

Опытные реакторы делились:

- на классический реактор с механическим перемешиванием [2] (контрольный);
- классический реактор с механическим перемешиванием, содержащий цеолит и гуминовое удобрение в отходы аквакультуры;
- классический анаэробный реактор с механическим перемешиванием, который заполнялся субстратом, прошедшим предварительную электролизную обработку (время единоразового электролизного воздействия – 15 минут);
- анаэробный реактор с периодической электролизной обработкой раствора (выполнялась ежедневно, продолжительностью две минуты) (рис. 1).

Контрольный реактор представлял собой емкость

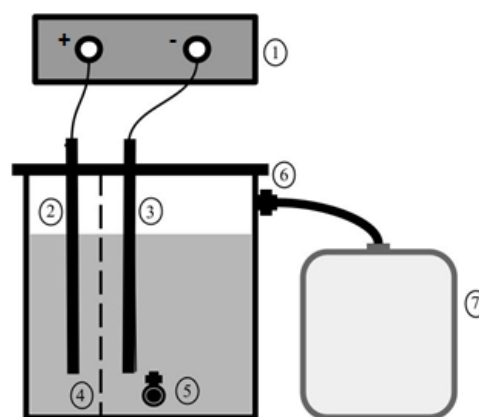


Рисунок 1. Биореактор-электролизер: 1 – источник питания; 2 – анод; 3 – катод; 4 – мембрана; 5 – кран для отбора проб; 6 – кран для выхода биогаза; 7 – газгольдер

объемом 20 литров, содержащую в своем составе два крана, один из которых находится в закрытом положении и предназначен для отбора проб с целью проведения анализов, а второй всегда находится в открытом положении и соединяет емкость с газгольдером.

Классический реактор с механическим перемешиванием, содержащий цеолит и гуминовое удобрение, конструктивно не отличался от контрольного, но в отличие от него в субстрат добавлялись цеолиты в концентрации 3 г/л, а также гуминовые удобрения в концентрации 0,1 мл/л. Цеолиты вносились в качестве средства иммобилизации микроорганизмов с целью повышения их эффективности.

Объем анаэробного реактора с субстратом, прошедшим единоразовую электролизную обработку раствора (15 минут), составил 8 литров.

Вместимость анаэробного реактора с ежедневной электролизной обработкой раствора (2 минуты) – 4,3 литра.

Субстратом для проведения эксперимента был помет клариевого сома, разбавленный водопроводной водой до достижения показателя влажности 93 % – реальный отход систем индустриальной аквакультуры без предварительной стабилизации его консистенции. Реакторы были заполнены раствором на 70 % каждый, его влажность составляла 93 %, соответственно, количество сухого остатка находилось в пределах 7 % от массы загрузки (табл. 2).

Результаты газовыделения продемонстрировали лучшую относительную эффективность использования электротехнологических способов интенсификации анаэробных процессов. Так, к концу эксперимента средний выход биогаза на единицу субстрата при ежедневной обработке превысил таковой в контрольном реакторе на 340 % (рис. 2):

Экологическую составляющую переработки отходов индустриальной аквакультуры оценивали на основе снижения химического потребления кислоро-

Таблица 2. Параметры разбавленного субстрата

Масса раствора после разведения, кг	Масса сухого остатка, кг	Сухой остаток, %	Влажность, %
36,80	2,56	6,96	93,04

да (ХПК) во всех реакторах, также был сделан анализ ХПК раствора перед экспериментом. По результатам исследования определили, что уровень химического потребления кислорода снизился во всех субстратах. Такой тренд свидетельствует о снижении количества общего органического вещества в растворе, но при этом значения в контрольном реакторе и реакторе с цеолитом и гуматами были ниже на 19 %, чем в реакторах с электротехнологическим воздействием.

Это позволяет предположить, что обработка электролизом помогает разрушать сложноокисляемые соединения, которые не учитываются при анализе ХПК, и переводить их в легкодоступную для разложения форму (табл. 3).

Технико-экономическая оценка результатов электротехнологической интенсификации анаэробной переработки отходов индустриальной аквакультуры

При расчете экономической эффективности интенсификации использовался такой технологический критерий, как выход биогаза на 1 литр субстрата (табл. 4).

Для каждого этапа исследования относительный выход биогаза рассчитывали по формуле:

$$V_{г.} = V_{газа} / V_{субст.} \quad (1)$$

где $V_{г.}$ – выход газа на единицу объема субстрата, л;
 $V_{газа}$ – объем выделившегося газа на данном этапе исследования, л;
 $V_{субстр.}$ – объем оставшегося субстрата на данном этапе исследования, л.

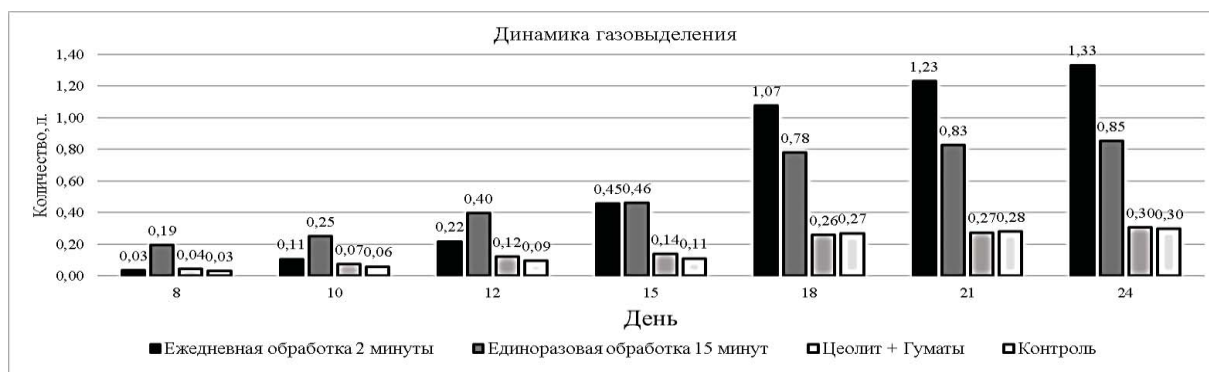


Рисунок 2. Динамика газовыделения в ходе эксперимента анаэробной переработки отходов индустриальной аквакультуры

Таблица 3. Уровень химического потребления кислорода в растворах

Наименование пробы	ХПК, мг/л					
	Исходный раствор	Контроль	Гуматы + Цеолит	2 минуты электролиза	15 минут электролиза	Контроль после 5 минут электролиза
Значение	123	58	58	72	62	53

Таблица 4. Относительная динамика выхода биогаза на литр субстрата

День эксперимента	Ежедневная обработка 2 мин., л	Единоразовая обработка 15 мин., л	Цеолит + Гуматы, л	Контроль, л
8	0,03	0,19	0,04	0,03
10	0,11	0,25	0,07	0,06
12	0,22	0,40	0,12	0,09
15	0,45	0,46	0,14	0,11
18	1,07	0,78	0,26	0,27
21	1,23	0,83	0,27	0,28
24	1,33	0,85	0,30	0,30

Исходя из информации таблицы 4, можно сделать вывод о том, что именно ежедневная двухминутная обработка субстрата имеет наибольший эффект в долгосрочной перспективе. Так, к 24-му дню эксперимента выход биогаза на 1 литр субстрата в таком реакторе превысил аналогичный контрольный показатель в 4,43 раза. В то же время значения выхода биогаза в реакторе, содержащем субстрат, обработанный единожды, к 24-му дню превысил контрольный в 2,83 раза. В реакторе, содержащем цеолиты и гуматы, разницы с контрольным показателем к 24-му дню исследований не наблюдалось.

Энергопотребление при ежедневном двухминутном электролизе на 1 м³ субстрата:

$$P_0 = \left(\frac{I \times U \times t}{3} \right) \times 1000 = 8 \frac{\text{кВтч}}{\text{м}^3}, \quad (2)$$

где P_0 – энергопотребление, кВт·ч;

I – сила тока, А;

U – напряжение, В;

t – время работы источника питания, ч;

1000 – коэффициент перевода Вт·ч в кВт·ч, а также л в м³;

3 – количество использованного субстрата, л.

Расчетные затраты и прибыль при переработке субстрата представлены в таблице 5.

Таблица 5. Затраты и прибыль при конверсии субстрата в ходе эксперимента

Показатель	Значение
Материальные затраты на электроэнергию	0,34 руб.
Выручка от биогаза с 1 м ³ субстрата при ежедневной электролизной обработке	0,23 руб.
Выручка от биогаза с 1 м ³ субстрата при одноразовой электролизной обработке	0,15 руб.
Выручка от биогаза с одного м ³ субстрата без электролизной обработки	0,05 руб.

Установлено, что выручка от выхода газа при использовании электролиза превышает таковую без его использования в 4,5 раза. Несмотря на это, для такого вида субстрата (отходов аквакультуры с влажностью – 93%, количеством сухого остатка – в пределах 7% от массы загрузки) рассчитанной экономической эффективности не хватает для покрытия финансовых расходов на электроэнергию. Так, для 1 м³ газа при ежедневной обработке электролизом по 2 ми-

нуты убытки составят 0,11 рублей за весь период генерации.

Такая проблема объясняется несколькими факторами:

– высокой влажностью субстрата, составившей в ходе эксперимента 93%;

– выбранный субстрат в виде помета клариевого сома не является энергоемким, так как содержит большое количество белков и азотистых соединений, которые по энергоемкости уступают углеводам и жирам.

По аналогии, используя теоретически установленную эффективность анаэробного сбраживания с электротехнологической интенсификацией, по сравнению с классическими конструкциями реакторов, проведен расчет генерации более энергоемкого субстрата, такого как навоз крупного рогатого скота, где среднее количество выделяемого газа с 1 м³ такого субстрата составляет 25 м³ [13-15] (табл. 6).

Стоимость постройки такого метантенка при цене 500 у.е. за 1 м³ составит 169500 у.е. [16], энергозатраты на один цикл сбраживания составят 1896 кВт·ч, что эквивалентно 81,5 руб.

Теоретически, для такого реактора при таком же количестве выделяемого газа, время окупаемости составит 6 лет:

$$T_2 = (169500 / (4507 / 2,4) \times \times 24) / 365 = 6 \text{ лет.} \quad (3)$$

Полученные результаты (уменьшение срока окупаемости при электролизной интенсификации составляет порядка 20 лет) позволяют обосновать целесообразность более детального исследования использования электротехнологических (электрохимических, ультразвуковых [17], электромагнитных и других) способов интенсификации анаэробных процессов в промышленных биореакторах с целью повы-

Таблица 6. Теоритические показатели для энергоемкого субстрата

Показатель	Значение
Выручка с 1 м ³ навоза КРС	4,3 руб.
Объем метана для метантенка объемом 1500 м ³	1050 м ³
Выручка от реализации 1050 м ³ метана	4507 руб.
Время окупаемости реактора объемом 1500 м ³	26,2 года
Объем метантенка, способного производить 1050 м ³ газа с помощью электролизной обработки	338,6 м ³

шения их технико-экономических показателей и дальнейшей комплексной автоматизации процессов [18], в том числе с использованием подходов машинного обучения и казуального моделирования.

Заключение

Результаты исследований интенсификации анаэробной утилизации отходов индустриальной аквакультуры путем обработки субстрата постоянным электрическим током показали перспективность такого подхода. К 24-му дню эксперимента выход биогаза на 1 литр субстрата при периодической обработке (2 минуты в день) был больше контрольного в 4,43 раза. В то же время значения выхода биогаза в реакторе, содержащем субстрат, обработанный единообразно (15 минут перед загрузкой в реактор), к 24-му дню превысил контрольный образец в 2,83 раза.

Определено, что выручка от выхода газа при использовании электролиза в 4,5 раза выше контрольной, но, несмотря на это, для такого субстрата полученной выручки не хватает для покрытия финансовых расходов на электроэнергию. Для 1 м³ газа при ежедневной обработке электролизом по 2 минуты убытки составят 0,11 рубля.

Теоретические расчеты показали, что при стоимости постройки метантенка с электролизной системой 169500 у.е. (капитальные финансовые затраты – 500 у.е. на переработку 1 м³), его срок окупаемости составит 6 лет при условии утилизации отходов животноводческих комплексов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Прикладная экобиотехнология: учеб. пособие / А.Е. Кузнецов [и др.]. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 629 с.
2. Хабибуллин, Р.Э. Исследование процесса анаэробного сбраживания куриного помета и инженерная методика технологического расчета биореактора / Р.Э. Хабибуллин, В.Н. Шарифуллин // Вестник Казанского технологического университета – 2010. – № 9. – С. 639-646.
3. Максимов, А.С. Современное состояние и перспективы развития биогазовых технологий / А.С. Максимов, С.А. Иларионов, М.И. Дёгтев // Вестник Пермского университета. – 2012. – № 1 (1). – С. 76-85.
4. Эффект внесения цеолитов на конверсию субстрата с высоким содержанием азота / С.И. Мизриев, [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – № 6. – С. 146-149.
5. Анализ влияния биологически активных веществ на рост анаэробных микроорганизмов активного ила / А.И. Хисамова [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – №10. – С. 201-203.
6. Ковалёв, В.В. Теоретические и практические аспекты совершенствования процессов биогазовой технологии / В.В. Ковалёв, Д.В. Унгуриян, О.В. Кова-
7. Наумова, О.В. Совершенствование электроимпульсной технологии при получении биогаза из органических отходов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / О.В. Наумова. – Саратов, 2005. – 126 с.
8. George, E. Stone. Influence of Electricity on Micro-Organisms / E. Stone George // Botanical Gazette. – 1909. – Vol. 48. – № 5. – P. 359-379.
9. Effect of Electrical Stimulation on Bacterial Growth / Park, Young-Han [et al.] // The Korean Society of Physical Therapy. – 1994. – Vol. 6. – P. 109-119.
10. Резников, К.М. Биологические и фармакологические эффекты ионизированных жидкостей с различным окислительно-восстановительным потенциалом / К.М. Резников, П.Д. Колесниченко, И.В. Коваленко // Евразийский Союз Ученых. – 2016. – № 30. – С. 62-68.
11. The case study of active sludge under anaerobic conversion of poultry manure in combination with electrolysis at the hydrolysis stage / Yelizaveta Chernysh, Vladimir Shtepa [et al.] // Applied science, MDPI. – 2022.
12. Stimulation impact of electric currents on heterotrophic denitrifying microbial viability and denitrification performance in high concentration nitrate-contaminated wastewater / Shuang Tong [et al.] // Journal of Environmental Sciences. – Vol. – 77. – P. 363-371.
13. Бабаев, В.Н. Энергетический потенциал метанообразования при мезофильном анаэробном разложении органической составляющей отходов / В.Н. Бабаев, Н.П. Горох, И.В. Коринько // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 4/6 (52). – С. 59-65.
14. Кокиева, Г.Е. Получение биогаза методом анаэробного сбраживания отходов животноводческих ферм / Г.Е. Кокиева, Ю.А. Шапошников, М.Ю. Дондоков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 9 (191). – С. 140-144.
15. Флюид. Биогазовые технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.fluid-biogas.com/?page_id=185. – Дата доступа: 18.06.2022.
16. Гончаров, Ф.І. Обґрунтування, розроблення та техніко-економічні характеристики універсального багатоканального біогенератора / Ф.І. Гончаров, В.М. Штепа // Вісник Сумського державного університету. Серія «Технічні науки»: науковий журнал. – 2010. – № 3, т. 1. – С. 172-175.
17. Анаэробное сбраживание птичьего помета с инокулятом активного ила в комбинации с электролизной обработкой / Е.Ю. Черныш, В.Н. Штепа, Л.Д. Пляцук [и др.] // Проблемы региональной энергетики. – 2022. – № 2 (54). – С. 101-113.
18. The use of electrotechnical equipment for food production wastewater treatment / N. Zaiets [et al.] // Przegląd Elektrotechniczny. – 2021. – Vol. 9. – P. 106-109.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 24.06.2022

ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАЛОГОВОЙ НАГРУЗКИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

И.А. Войтко,

доцент каф. инновационного развития ИПК и ПК АПК БГАТУ, канд. экон. наук, доцент

В статье рассмотрены существующие подходы к проведению оценки уровня налоговой нагрузки в экономике государства в целом и в сельском хозяйстве, в частности. Установлено, что подходы, применяемые Министерством по налогам и сборам Республики Беларусь, отражают уровень налоговой нагрузки только в части налоговых платежей, что не в полной мере отражает совокупную нагрузку, которую несут предприятия, так как не учитывает платежи в социальные фонды. Это делает сравнение данного показателя между странами некорректным, так как отчисления в фонд социальной защиты хоть и не являются налогом с точки зрения налогового законодательства, но являются обязательным платежом и занимают большую долю в совокупных платежах, базой для исчисления которого является фонд оплаты труда при совокупной ставке от 30 до 34 %.

Ключевые слова: налоги, налоговая нагрузка, сельское хозяйство, Фонд социальной защиты населения, ЕАЭС.

The article considers the existing approaches to assessing the level of tax burden in the state economy in general and in agriculture in particular. It has been established that the approaches applied by the Ministry of Taxes and Duties of the Republic of Belarus reflect the level of the tax burden only in terms of tax payments, which does not fully reflect the total burden that enterprises bear, since it does not take into account payments to social funds. This makes the comparison of this indicator between countries incorrect, since contributions to the social protection fund, although they are not a tax from the point of view of tax legislation, are a mandatory payment and take a large share in total payments, the basis for which is the payroll fund at an aggregate rate from 30 to 34%.

Key words: taxes, tax burden, agriculture, Social Protection Fund, EAEU.

Введение

Проявившиеся в последнее время негативные тенденции в экономике, такие, как снижение деловой активности в отдельных видах экономической деятельности, и, как следствие, снижение доходной части бюджета, были обусловлены распространением пандемии COVID-19, а также введением экономических санкций и эмбарго на отдельные виды продукции и потребовали от правительства стран по-новому взглянуть на вопросы налогообложения, как экономического регулятора. И этот новый взгляд затрагивает необходимость, с одной стороны, сохранить и приумножить стимулирующее воздействие на экономику, а с другой – снижение доходной части бюджета сдерживает возможности государства в части прямой поддержки экономики. В этой связи различного рода налоговые послабления (льготы, сниженные ставки, увеличение налогового периода, налоговые каникулы и пр.) могут стать действенным рычагом стимулирования деловой активности без привлечения бюджетных средств.

В ходе исследования изучены международные и национальные нормативно-правовые акты в сфере налогообложения в сельском хозяйстве. Используются методы системного и сравнительного анализа, расчетно-конструктивный и монографический.

Основная часть

В Республике Беларусь субъектам хозяйствования в сельском хозяйстве в сфере налогообложения предоставляется широкий перечень льгот и послаблений. Так, реализация сельскохозяйственной продукции облагается налогом на добавленную стоимость по ставке 10 % против 20 %, установленных для других видов экономической деятельности. Кроме того, капитальные строения (здания, сооружения), их части сельскохозяйственного назначения, используемые (предназначенные для использования) организациями для производства продукции растениеводства, животноводства, рыбоводства и пчеловодства, освобождаются от налога на недвижимость у плательщиков-организаций [1]. Для работодателей, занятых производством сельскохозяйственной продукции, объем которой составляет более 50 % от общего объема произведенной продукции, размеры обязательных страховых взносов на пенсионное страхование составляют 24 %, против установленной ставки в 28 % [2].

Наряду с этим, налоговым кодексом Республики Беларусь предусмотрено, что производители сельскохозяйственной продукции имеют право использовать особый режим налогообложения, который предусматривает уплату единого налога по ставке 1 % от выручки реализации продукции. Применять единый

налог вправе те организации, у которых за предыдущий календарный год сумма выручки от реализации произведенной сельскохозяйственной продукции, продукции первичной переработки льна и выручки от реализации продукции, изготовленной этой организацией из произведенной ею сельскохозяйственной продукции, в части, приходящейся на такую сельскохозяйственную продукцию, составляет не менее 50 % общей суммы выручки организации.

Уплата данного налога заменяет уплату в бюджет налога на прибыль, налога на недвижимость и налога на землю. При этом сохраняется общий порядок исчисления и уплаты земельного налога.

Как показывает практика, подавляющее большинство сельскохозяйственных организаций приняли решение о переходе на уплату налогов по особому режиму. Такой подход в сфере налогообложения приводит к тому, что уровень налоговой нагрузки в сельском хозяйстве ниже, чем по другим видам экономической деятельности (табл. 1).

Несмотря на широкое распространение такой экономической категории как «налоговая нагрузка» (как правило, данный показатель показывает соотношение совокупного размера налогов к выручке, добавленной стоимости либо валовому доходу субъекта хозяйствования, вида экономической деятельности, экономики и пр.), использование этого понятия в отраслевых и общегосударственных программах соци-

ально-экономического развития, в официальной статистике Республики Беларусь чаще всего приводится информация о ее оценке Министерством по налогам и сборам. Государственной программой социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы установлено, что уровень налоговой нагрузки в экономике страны к 2025 году не превысит 26 % к ВВП [3]. В данном случае налоговая нагрузка рассчитывается как отношение налоговых доходов консолидированного бюджета к валовому внутреннему продукту [5]. При этом платежи в социальные фонды выпадают из проводимых расчетов. На первый взгляд, это можно отнести к специфике национального налогового законодательства и методологии определения некоторых макроэкономических индикаторов. В то же время, как показывает практика, отражение в таком важном экономическом показателе только платежей, контролируемых налоговыми органами, может исказить сравнение бюджетно-налоговых систем различных стран на международном уровне, давать неполную информацию о перспективах развития экономики, а также эффективности реализации государственных целевых программ.

По данным Министерства по налогам и сборам (табл. 1) налоговая нагрузка на экономику Республики Беларусь в 2020 году составила 22,8 % в ВВП, в то время как в сельском, лесном и рыбном хозяйстве – 0,5 % в выручке (с учетом сумм возмещений НДС из бюджета) [6].

Таблица 1. Основные показатели налоговой нагрузки на организации Республики Беларусь, млн руб. (с учетом деноминации)

Показатель	Годы					2020 г. в % к 2016
	2016	2017	2018	2019	2020	
ВВП, всего	94949,0	105748,2	122319,7	134732,1	147006,0	154,8
ВВП по сельскому, лесному и рыбному хозяйству	6547,0	8000,7	8061,0	9154,6	10039,5	153,3
Доля сельского, лесного и рыбного хозяйства в общем ВВП, %	6,90	7,57	6,59	6,79	6,83	-0,1 п.п.
Списочная численность работников организаций, всего в среднем за год, тыс. чел.	3850,9	3783,8	3760,1	3758,0	3719,9	96,6
Списочная численность работников организаций, занятых в сельском хозяйстве, в среднем за год, тыс. чел.	303,2	293,6	284,6	273,2	267,4	88,2
Номинальная начисленная заработная плата работников, руб.	722,7	822,8	971,4	1092,9	1254,6	173,6
Номинальная начисленная заработная плата работников, занятых в сельском хозяйстве, руб.	493,2	564	651,5	755,3	880,4	178,5
Налоговая нагрузка в ВВП страны, %	25,3	25,0	25,9	25	22,8	-2,5 п.п.
Расчетная налоговая нагрузка в ВВП с учетом отчислений в ФСЗН*, %	37,3	37,0	38,1	37,4	35,8	-1,5 п.п.
Налоговая нагрузка в выручке сельского, лесного и рыбного хозяйства** (с учетом сумм возмещений НДС из бюджета), %	0,5	0,6	0,5	0,5	0,2	-0,3 п.п.
Расчетная налоговая нагрузка в выручке сельского, лесного и рыбного хозяйства с учётом отчислений в ФСЗН, %	5,88	5,85	5,99	6,03	5,83	-0,05 п.п.
* Расчеты автора. Получено исходя из средней заработной платы, численности работников организаций и ставки отчислений в ФСЗН;						
** По данным Министерства по налогам и сборам Республики Беларусь.						
Примечание: составлено автором на основании данных источника [4].						

При этом включение в совокупные налоги и платежи отчислений в ФСЗН приводит к тому, что уровень налоговой нагрузки в выручке увеличивается до 5-6 %. Таким образом, проведенные расчеты позволили сделать вывод о том, что использование методологии оценки уровня налоговой нагрузки, применяемой налоговыми органами, при выработке управленческих решений по формированию благоприятных условий для бизнеса в ряде случаев может оказаться некорректным. Так, например, проведя сравнительный анализ налоговой нагрузки в Беларуси и государств-членов ЕАЭС (табл. 2), можно сделать ошибочный вывод, что наши национальные производители находятся в более благоприятных с точки зрения налогообложения условиях, и дополнительные налоговые послабления не требуются.

Как видно из приведенных данных, уровень налоговой нагрузки в ВВП Республики Беларусь, полученный с использованием методологии Международного валютного фонда, существенно отличается от данных, приведенных Министерством по налогам и сборам Республики Беларусь. Основное объяснение такого различия в том, что, например, в Российской Федерации порядок расчета и уплаты платежей в социальные фонды регламентируется Налоговым кодексом, и при определении налоговой нагрузки, данный платеж учитывается в полном размере.

В то же время, обращает на себя внимание тот факт, что полученный Международным валютным фондом показатель налоговой нагрузки приближается к расчетному его уровню, полученному автором с учетом отчислений в фонд социальной защиты населения. Это позволяет сделать вывод, что невключение в расчет налоговой нагрузки платежей в социальные фонды делает сравнение данного показателя по странам ЕАЭС некорректным. Высокие ставки отчислений в ФСЗН приводят к тому, что в Республике Беларусь (по данным Международного валютного фонда) самая высокая налоговая нагрузка среди государств-членов ЕАЭС.

Данные таблицы 1 также указывают на то, что платежи в ФСЗН в сельском хозяйстве имеют еще более существенное влияние на налоговую нагрузку, нежели в целом по экономике. Так, если при включении в размер совокупных платежей отчислений в фонд, налоговая нагрузка в ВВП страны увеличится на 13 п.п. или порядка на треть, то в сельском хозяй-

стве нагрузка увеличивается в разы. Наряду с этим, учитывая имеющиеся сложности в сельском хозяйстве Беларуси, такие как низкая эффективность деятельности, непрекращающийся рост долговых обязательств, низкий уровень оплаты труда, а также отток высококвалифицированных кадров, выявленное обстоятельство имеет особое значение. Доля социальных отчислений в общем объеме платежей в бюджет и во внебюджетные фонды в сельском хозяйстве в последние годы достигает 80 % (рис. 1). Это подтверждает необходимость включения данного показателя в расчет совокупной налоговой нагрузки с целью формирования, оценки и мониторинга налогового и инвестиционного климата в аграрной сфере.

Уровень заработной платы в сельском хозяйстве составляет порядка 70 % от среднего по экономике. Принимаемые в последние годы меры по привлечению кадров на село, наряду с прочими мерами, требуют принятия мер по повышению уровня заработной платы. При этом, применяемые ставки обязательных отчислений на уровне 30 % от фонда оплаты труда [7], могут стать сдерживающим фактором роста заработной платы, так как увеличение ее на рубль приведет к росту себестоимости производимой продукции на 1,3 рубля. Низкий уровень оплаты труда приводит к оттоку квалифицированных кадров.

Расчеты показывают, что для достижения уровня среднемесячной заработной платы в размере 500 долл. США и при сохранении количества рабочих мест, потребуется порядка 2,1 млрд долл. США или около 53 % от всей добавленной стоимости по сельскому хозяйству, полученной в 2020 году (по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь). При условии сохранения среднегодового темпа роста величины добавленной стоимости и фактической доли в ней фонда оплаты труда, запланированный уровень заработной платы сельскохозяйственные организации смогут достичь только к 2027 году.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования методологических подходов к проведению оценки уровня налоговой нагрузки, как важного макроэкономического индикатора, требует учета всех **обязательных** налогов и платежей независимо от их ведомственной принадлежности. Для развития бизнеса для субъекта хозяйствования при плани-

Таблица 2. Налоговая нагрузка на экономику в странах Евразийского экономического союза в 2016-2020 гг.* % налоговых доходов к ВВП

Показатель	2016	2017	2018	2019	2020
Россия	32,92	33,36	35,54	35,82	34,69
Средняя по ЕАЭС (кроме России)	27,65	28,26	28,96	28,99	27,63
Армения	21,42	21,24	22,30	23,83	24,20
Беларусь	39,02	38,71	39,65	38,42	35,15
Беларусь (по данным МНС)	25,3	25,0	25,9	25	22,8
Казахстан	17,01	19,82	21,43	19,68	18,18
Киргизия	33,13	33,29	32,47	34,05	33,01

* По данным Международного валютного фонда [5; 7].



Рисунок 1. Структура уплаченных налогов и платежей сельскохозяйственными организациями Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь

ровании деятельности и принятии инвестиционных решений гораздо большее значение имеет совокупный размер обязательных платежей, нежели названия фондов, куда эти платежи направляются. Это обстоятельство становится все более актуальным в условиях экономического кризиса, когда остро стоит задача, как стимулировать деятельность уже существующих субъектов агробизнеса, так и создать благоприятные инвестиционные условия для старта новых бизнес-моделей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Налоговый Кодекс Республики Беларусь (Особенная часть) [Электронный ресурс]: 29 дек. 2009 г., № 71-3: принят Палатой представителей 11 дек. 2009 г.: одобр. Советом Респ. 18 дек. 2009 г.: в Кодекс с 31 дек. 2021 г. изм. и доп. не вносились / Национальный центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.
2. О взносах в бюджет государственного внебюджетного фонда социальной защиты населения

Республики Беларусь: Закон Республики Беларусь, 15 июля 2021 г., № 118-3 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2021. – № 2/2838.

3. Об утверждении Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы: Указ Президента Республики Беларусь, 29 июля 2021 г., № 292 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2021. – № 1/19834.

4. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 02.02.2022.

5. Министерство финансов Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minfin.gov.by/>. – Дата доступа: 02.02.2022.

6. Министерство по налогам и сборам Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nalog.gov.by/>. – Дата доступа: 02.02.2022.

7. Министерство финансов Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://m.minfin.gov.ru/>. – Дата доступа: 02.02.2022.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.10.2022

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

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

Журнал выходит один раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842. Стоимость подписки на 2-е полугодие 2022 года: для индивидуальных подписчиков - 39,84 руб., ведомственная подписка - 41,94 руб.

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*

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Факультет «Технический сервис в АПК»

**РЕСПУБЛИКАНСКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
«БЕЛАГРОСЕРВИС»**

Уважаемые коллеги!

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

***«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И
ПУТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО
СЕРВИСА В АПК»,***

*которая состоится в Белорусском
государственном аграрном техническом
университете*

24 - 25 ноября 2022 г.

Основные направления работы конференции:

- Технический сервис машин и оборудования***
- Инновационные технологии в АПК***

г. Минск, пр-т Независимости, 99, корпус 2

Контактные телефоны: (+ 375 17) 347-31-31;

323-44-64; 272-14-82

E-mail: dekanat.fts@bsatu.by

www.bsatu.by

