

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

FPONAHOPAMA

№ **6** декабрь **2019**

В номере:

Активная ботвовыделяющая решетка к картофелекопателю КСТ-1,4М

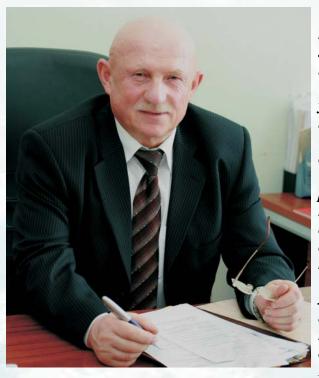
Влияние технологических режимов магнитно-электрического упрочнения на производительность процесса

Оптимизация параметров настройки частотнорегулируемого асинхронного электропривода с бездатчиковым векторным управлением



С НОВЫМ, 2020 ГОДОМІ

Уважаемые коллеги, друзья!



Приближается Новый год! По сложившейся традиции в это время мы говорим о наших достижениях, подводим итоги прошедшего года и строим планы на будущее. С уверенностью можно сказать, что уходящий год был для коллектива нашего университета успешным и насыщенным знаменательными событиями, важнейшее из которых — 65-летие со дня основания Белорусского государственного аграрного технического университета.

В течение года мы плодотворно работали над реализацией программы развития университета, направленной на повышение качества оказываемых вузом образовательных и научных услуг, совершенствование практической подготовки инженернотехнических специалистов для АПК.

Уходящий год был отмечен и новыми научными достижениями. Учеными, аспирантами и студентами БГАТУ осуществлено более 90 внедрений новых научных разработок в производство и образовательный процесс, получено 15 патентов Республики Беларусь на изобретения. Научные

исследования велись по приоритетным направлениям науки в рамках шести государственных научных программ, по заданиям Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, а также прямым договорам с предприятиями и организациями страны.

Успешно развивалось международное сотрудничество. В 2019 году университет сотрудничал в научно-образовательной деятельности более чем с 90 ведущими университетами и научными организациями СНГ, Евросоюза, Китайской Народной Республики и других государств.

Значительных успехов в прошедшем году достигли наши студенты. Ими получены многочисленные дипломы и грамоты на международных и республиканских научных конференциях, олимпиадах и конкурсах студенческих научных работ. Более 50 студентов университета удостоены стипендий Президента Республики Беларусь, имени Франциска Скорины, Минского обкома профсоюза работников АПК, Республиканского комитета белорусского профсоюза работников АПК и персональных стипендий Совета университета БГАТУ, награждены премией Специального фонда Президента Республики Беларусь по социальной поддержке одаренных учащихся и студентов.

Уважаемые коллеги! Примите слова искренней благодарности за добросовестный труд, высокий профессионализм и достойный вклад в дело воспитания и обучения молодежи!

От всей души поздравляю ученых, преподавателей, студентов, аспирантов и всех работников университета с Новым, 2020-м годом и Рождеством!

Желаю всем в Новом году дальнейших творческих успехов в учебе и труде, новых научных достижений во благо университета и нашей родной Беларуси!

Дорогие друзья! Счастья, крепкого здоровья, добра и благополучия Вам и Вашим близким!

Ректор БГАТУ, доктор технических наук, профессор И.Н. Шило

АГРОПАНОРАМА 6 (136) декабрь 2019

Издается с апреля 1997 г.

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

Учредитель

Белорусский государственный аграрный технический университет

<u>Главный редактор</u> Иван Николаевич Шило

Заместитель главного редактора Игорь Степанович Крук

Редакционная коллегия:

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

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

Компьютерная верстка В.Г. Леван

Адрес редакции:

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

Прием статей и работа с авторами: Минск, пр-т Независимости, 99/5, к. 602, 608 Тел. (017) 385-91-02, 355-22-14 Факс (017) 272-25-71 E-mail: AgroP@bsatu.by

БГАТУ, 2019.

Формат издания 60 х 84 1/8.

Подписано в печать с готового оригинала-макета 23.12.2019 г. Зак. № 955 от 23.12.2019 г. Дата выхода в свет 30.12.2019 г. Печать офсетная. Тираж 100 экз. Статьи рецензируются. Отпечатано в ИПЦ БГАТУ по адресу: г. Минск, пр-т Независимости, 99/2 ЛП № 02330/316 от 30.01.2015 г. Выходит один раз в два месяца. Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884.

Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884. Стоимость подписки на журнал на 1-е п/г 2020 г.: для индивидуальных подписчиков - 21,06 руб.; ведомственная - 24,51 руб.;

Цена журнала в киоске БГАТУ - 6,00 руб.

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

СОДЕРЖАНИЕ

Сел	ыскохозяйственное машиностроение. Металлообработка
Повыше	Гомкунас, В.Н. Кецко, Т.М. Чумак, В.В. Ярош ение проходимости машинно-тракторных агрегатов при на переувлажненных пойменных лугах
Активна	ортянко, Н.П. Гурнович, Г.А. Радишевский ая ботвовыделяющая решетка к картофелекопателю 4М
Определ скорости минима:	еонов, Ли Цинчжэнь пение номинальной мощности двигателя комбайна и и его движения при уборке зерновых, обеспечивающих пльный уровень удельных затрат при заданной одительности труда
Влияние	акулович, А.В. Миранович, В.Г. Мисько е технологических режимов магнитно-электрического ения на производительность процесса
	Энергетика. Транспорт
Расчет у	оролевич, Г.И. Янукович, Е.А. Тюнина ущерба от отклонения напряжения в асинхронных удвигателях2
Оптими асинхро	Ірищепова изация параметров настройки частотно-регулируемого онного электропривода с бездатчиковым векторным онием
	Технический сервис в АПК. Экономика
Интегрі диагнос	олич, В.Е. Тарасенко, И.И. Балаш ированная система виброакустической и тепловой стики систем, узлов и механизмов дизельного двигателя беспроводной mesh-сети
Направл	Легкова ления развития фермерских хозяйств в условиях ификации сельской экономики

ПЕРЕЧЕНЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «АГРОПАНОРАМА» В 2019 ГОДУ......46

Сельскохозяйственное машиностроение Металлообработка

УДК 631.352

ПОВЫШЕНИЕ ПРОХОДИМОСТИ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ ПРИ РАБОТЕ НА ПЕРЕУВЛАЖНЕННЫХ ПОЙМЕННЫХ ЛУГАХ

Ю.И. Томкунас,

доцент каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.Н. Кецко,

ст. преподаватель каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ

Т.М. Чумак,

ст. преподаватель каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ

В.В. Ярош,

инженер каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ

В статье представлены результаты исследований проходимости машинно-тракторных агрегатов на переувлажненных пойменных лугах.

Ключевые слова: несущая способность, давление, проходимость, технология, шины, трактор, сельскохозяйственные машины.

The article presents the results of the studies of cross-country capability of the machine-tractor units on waterlogged bottom land meadows.

Keywords: load-carrying ability, pressure, cross-country capability, technology, tires, tractor, agricultural machines.

Введение

Важным резервом увеличения заготовки грубых и сочных кормов является продуктивное использование переувлажненных естественных лугов. Площади таких угодий в Республике Беларусь составляют свыше 700 тыс. га [1].

Однако реализацию этих огромных резервов тормозит отсутствие средств механизации с достаточной проходимостью. В результате уборка кормов производится преимущественно вручную, срываются оптимальные сроки скашивания, значительные площади остаются неубранными. Использование же существующей техники, как правило, затруднено и неэффективно из-за недостаточной проходимости машин по причине повышенного буксования и высокого давления колесных движителей на почву. Буксование не только характеризует степень эффективности машинно-тракторных агрегатов, с точки зрения энергетического баланса (потерь мощности, расхода топлива), но и является причиной сдвига и разрушения верхних слоев почвы, создавая условия для развития водной и ветровой эрозии.

Проблема отрицательного воздействия мобильной сельскохозяйственной техники на почву является частью более глобальной экологической проблемы — деградации почвы.

Цель исследования – определение и реализация путей повышения проходимости машинно-трактор-

ных агрегатов путем выбора шин при использовании их на заготовке кормов на переувлажненных пойменных лугах.

Основная часть

Особенности взаимодействия с почвой ходовых систем сельскохозяйственных мобильных агрегатов вытекают из необычных условий их работы, заключающихся в том, что почва является сложнейшей биологической средой, обладающей бесценным свойством — плодородием. В источнике [2] отмечается, что, если рассматривать почву только как несущее основание, то последствиями этого будут — переуплотнение, разрушение микроструктуры почвы, эрозия, снижение плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур.

Давление на почву движителей, выпускаемых в настоящее время машин, значительно превышает несущую способность переувлажненных, как минеральных, так и торфяно-болотных почв. Рекомендации по уменьшению давления на почву, а значит и глубины колеи, вступают в противоречие с требованием по обеспечению тягово-сцепных свойств трактора. Так, уменьшение нагрузки на колесо ведет к уменьшению силы тяги, а увеличение площади контакта колеса с почвой за счет снижения давления воздуха в шине ограничивается ее работоспособностью.

Внедрение различных средств снижения давления движителей на почву и повышение проходимости



машинно-тракторных агрегатов должно определяться, прежде всего, условиями эксплуатации и агротехническими требованиями при выполнении сельскохозяйственных работ.

Использование гусеничных тракторов с их пониженным давлением на почву и более высокими тяговыми показателями позволяет повысить производительность машинно-тракторных агрегатов на переувлажненных лугах. В то же время гусеничные тракторы при буксовании и, особенно при маневрах, значительно повреждают дерновый слой почвы, что ведет к снижению продуктивности сенокосных угодий и перерасходу топлива [3, 7, 9].

Применение различных типоразмеров шин и рисунков протектора дает возможность улучшить тяговые свойства колесных тракторов и снизить уплотнение почвы. Применение широкопрофильных шин 18,4/15-34 и 12.4/11-20 вместо серийных на тракторе МТЗ-82, при работе на торфяно-болотной почве, влажностью 70-80 %, позволяет увеличить тяговую мощность на 20-23 % и снизить давление движителей на почву на 12-14 % [5].

Фактически уплотняющему воздействию движителей сельскохозяйственной техники подвержены все почвы, но особенно - влажные, суглинистого и глинистого механического состава. Деформация почвы зависит от значения внешнего нормального давления, действующего на грунтовое основание, продолжительности, темпа и характера воздействия, а также свойств грунта. Так, например, для кормоуборочного комбайна, в зависимости от состояния почвы и эксплуатационных показателей шин, значения среднего давления изменяются в пределах от 56 до 72 кПа, максимального – от 139 до 217 кПа [5]. Оптимальным состоянием почвы считается такое, когда общая порозность (общий объем пустот) составляет 50-60 % ее объема, а 30 % занято водой, воздухом - 20 %, при этом плотность почвы (зависит от механического состава) находится в пределах от 1,1 до 1,3 г/см 3 [2].

Работа машинно-тракторных агрегатов (МТА) на пойменных лугах с сохранением экологического равновесия может быть обеспечена путем применения

специальных ходовых систем повышенной проходимости. Согласно ГОСТ 26955-86, воздействие движителей на почву [4, 6, 8] необходимо определять не только по среднему, но и максимальному давлению движителей тракторов и сельскохозяйственных машин на почву. Для предотвращения переуплотнения почвы максимальное давление колес и гусениц не должно превышать 80-100 кПа. Максимальное давление движителей современных тракторов и транспортных средств достигает более 300 кПа (табл. 1).

В настоящее время проблема снижения давления на почву и уменьшения вредного воздействия движителей решается путем их модернизации для конкретных условий эксплуатации, с использованием различных методов. Простейшие из них заключаются в поддержании в шинах более низкого давления, при этом увеличивается сжатие шин, уменьшаются затраты энергии на деформирование почвы. Однако чрезмерное снижение давления вызывает ускоренный износ шин и может привести к проворачиванию их относительно обода колеса.

При заготовке сена на пойменных заливных лугах, технологический процесс включает, кроме кошения, дополнительные операции по ворошению валков, а также по формированию и вывозу копен или рулонов сена. Следовательно, приобретает актуальность проблема возможности работы на переувлажненных почвах следующих существующих основных технических средств: косилок, граблей, копнителей, пресс-подборщиков, копновозов, подборщиков, транспортировщиков тюков (рулонов) и др.

Установлено, что на переувлажненных почвах целесообразно применять ротационные косилки с модернизированной ходовой системой. Для уменьшения силовых воздействий на переувлажненную почву, производственники часто применяют листы железа, снабженные прицепным устройством для транспортировки копен, тюков и рулонов прессованного сена к местам скирдования, лыжи, уширители колес различных конструкций и другие приспособления [5].

Эффективно работали при проведении испытаний на заготовке кормов на заливных пойменных лу-

Таблица 1. Максимальное давление движителей некоторых тракторов и сельскохозяйственных машин на почву

					<i>J</i>
Обозначение шины	Модель	Давление в шине, кПа	Нагрузка на шину кПа	Максимальное давление на почву, кПа q _{max}	Тип и марка трактора (сельско- хозяйственной машины)
1	2	3	4	6	7
5-10	B-19A	250	3	250	ГВК – 6А
6-16	Я-225	250	4,5	242	ПРП – 1,6
9-16	Я-324А	250	11	336	2ΠTC – 4
12-16	Л-163	200	14	350	TΠP – 20
15,5/65-18	КФ-105А	220	17	260	2ΠTC -6
9-20	ВФ-223	120	8,5	244	КПРН – 3,0А
11,2-20	Ф-35	100	8,5	224	MT3-82
16R20	Ф-76	100	10	178	Беларус 1221, МТЗ-82
15,5R38	Ф-2А	120	16	180	Беларус-82
16,9R38	Ф-52	120	16	167	Беларус 1221,
18,4R34	Ф-44	120	16	155	Беларус 1221, MT3 – 82
18,4R38	Ф-111	120	25	175	Беларус 1221,

гах Логойского района агрегаты повышенной проходимости с использованием рисоводческого трактора МТЗ-82P с увеличенным до 670 мм дорожным просветом под остовом. Установленные широкопрофильные шины (18,4R34, модель Ф-44; 16R20, модель

Ф-76) низкого давления со специальным рисунком протектора характеризуются увеличенной высотой почвозацепов (70 мм) и малой насыщенностью протектора. Кроме того, дополнительно, с помощью специальных проставок, спаривались задние колеса трактора.

Для повышения проходимости и снижения давления на почву, на модернизированной косилке КПРН-3,0А устанавливались дополнительные колеса с шинами: 7,5-20, модель В-103; 9-20, модель ВФ-223; 6,5-16, модель Я-275А; 11,2-16, модель Я-358. Кошение травы осуществлялось с одновременным ее плющением и укладкой в валок. Снижение проходимости наблюдалось лишь в отдельных случаях, когда колеса трактора попадали, например, в старое заросшее русло, яму и т.д.

Проведенные авторами исследования показали, что рабочая скорость на закочкоренных участках составила 0,6-1,05 м/с, коэффициент использования времени смены — 0,6-0,62. На чистых от кочек участках производительность увеличивалась на 15-25 %.

Движение агрегата осуществлялось круговым способом от периферии к центру. При этом правые сдвоенные колеса трактора идут вдоль травостоя, пропуская скошенный предыдущий валок между колесами (рис. 1). Примятие валка колесами агрегата не отмечалось.

При использовании тракторов на пойменном лугу при относительной влажности почвы 80-85 % наиболее целесообразно применять широкопрофиль-

ные и радиальные шины, а также шины низкого давления. Зависимости тяговой мощности и буксования от усилия на крюке тракторов при различной комплектации шинами приведены на рисунке 1. Оптимальный тяговый режим достигнут при тяговом уси-

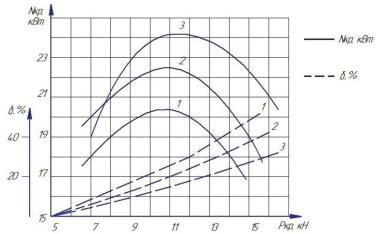


Рис. 1. Сравнительные тяговые показатели тракторов на пойменном лугу: 1 – MT3-82 на колесах с шинами 11,2-20 (передние) и 15,5R38 (задние); 2 – MT3-102 на колесах с шинами 16R20 (передние) и 16,9R38 (задние); 3 – MT3-102 на колесах с шинами 14,9R24 (передние) и 18,4R38 (задние)

лии 10-12 кH, при котором тяговая мощность составила 20,3 кВт; 22,4 кВт и 24,5 кВт, соответственно. С увеличением тягового усилия мощность на крюке значительно падает. Так, при $P_{\kappa p}=15$ кН тяговая мощность составляет 16,8 кВт; 19,0 кВт и 22,3 кВт, соответственно.

Результаты проведенных сравнительных эксплуатационных испытаний представлены в таблице 2.

Сравнительными хозяйственными испытаниями

Таблица 2. Эксплуатационные показатели машинно-тракторных агрегатов повышенной проходимости при кошении трав (площадь – 100 га, урожайность – 2,2 т/га)

поп пролодимости при ко	(
		Агрегат повышенной прохо	
Показатель	MT3-82P+	МТЗ- 82 (со сдвоенными	МТЗ -102 (со сдвоенными
	КПРН – 3,0А	колесами) + КПРН – 3,0А	колесами) + КПРН – 3,0 А
Ширина захвата, м	3,0	3,0	3,0
Рабочая скорость, м/с	1,25	1,04	1,67
Коэффициент использования вре-	0,78	0,62	0.83
мени смены	0,70	0,02	0,03
Расход топлива при номинальном	15,20	15,20	17.65
режиме, кг/ч	15,20	13,20	17,05
Число рабочих дней:			
план	15	15	15
факт	9	13,5	6,5
Продолжительность рабочего дня, ч	10,5	10,5	10,5
Выработка за 1 ч сменного времени,	1,05	0,7	1,3
га	1,00	0,1	1,5
Гектарный расход топлива, кг/га	11,5	17,3	9,6
Потребное количество:			
часов	96	148,2	76,9
агрегатов	1	1	1
топлива, кг	1150	1730	960
затраты труда, ч	96,0	142,8	76,9



установлено, что рабочая скорость агрегатов в составе косилок с тракторами МТЗ-82Р составила 1,04 м/с, МТЗ-82 (со сдвоенными колесами) — 1,25 м/с и МТЗ-102 (со сдвоенными колесами) — 1,67 м/с; коэффициенты использования времени смены составил, и соответственно, 0,62; 0,78; 0,83. Следует отметить, что у трактора МТЗ-82 наблюдались остановки из-за наматывания растительной массы на наружный привод переднего ведущего моста и забивания задней навески скошенной зеленой массой. Применение тракторов МТЗ-102 (со сдвоенными колесами) и МТЗ-82Р позволяет значительно улучшить эксплуатационные показатели агрегатов.

Использование трактора МТЗ-102, на котором установлен двигатель Д-260 мощностью 77,2 кВт, позволяет работать на более высоких передачах. Рабочая скорость составила 1,6-2,2 м/с при загрузке двигателя 85-90 %.

Таким образом, проведенные испытания показывают, что использование агрегатов повышенной проходимости с тракторами МТЗ-82, МТЗ-82Р, МТЗ-102 и модернизированной косилкой КПРН-3,0A позволяет эффективно вести заготовку кормов на переувлажнен-

ных пойменных лугах с учетом требований охраны не только почвы, но и окружающей среды в целом.

Использование агрегатов повышенной проходимости при уборке трав на сено в сравнении с ручной технологией показало высокую эффективность машинной заготовки кормов [7], о чем свидетельствуют данные, приведенные в табл. 3.

Машинная технология заготовки сена позволила снизить суммарные затраты труда с 9594,1 ч при ручной уборке трав на сено до 1168,4 ч (или в пересчете на тонну – с 43,61 ч/т до 5,31 ч/т).

Таким образом, внедрение в сельскохозяйственное производство агрегатов повышенной проходимости позволило сократить сроки уборки трав, уменьшить число занятой в технологических процессах техники, в том числе тракторов и сельскохозяйственных машин, рационально использовать трудовые ресурсы сельского хозяйства, повысить качество заготавливаемых кормов.

Заключение

1. Проблема снижения отрицательного воздей-

Таблица 3. Сравнительные данные технологии уборки трав на сено на переувлажненном пойменном лугу

	переу	влажн	CHHUM II	оименном л	yı y			
			СТЬ	o o		ебное ество	эну,	
Наименование работы	Объем работ	Число рабочих дней	Продолжительность рабочего дня, ч	Состав агрегата	Агрегатов/людей	Топлива, кп	Выработка за смену, га (т)/см	Затраты труда,
	1	. Уборка	трав на с	ено (вручную)				•
Кошение трав, га	100	15	7	вручную	-/32	0,21	1	3333,3
Сгребание сена, га	100	15	7	вручную	-/13	0,5	-	1400
Ворошение трав, га	100	15	7	вручную	-/5	1,3	-	538,5
Вынос сена с луга, т	220	15	7	вручную	-/20	0,75	-	2053,3
Копнение сена из валков, т	220	15	7	вручную	-/7	2,2	-	700
Подача сена на прицеп, т	220	15	7	вручную	-/5	3,0	-	513,3
Прием и укладка сена, т	220	15	7	вручную	-/3	6,0	740	256,7
Транспортировка, т	220	15	7	Беларус 820+ 2ПТС-6	3/3	5,6	132	275
Стогование сена, т	220	15	7	Беларус 820+ СНУ-550	1/3	14,7		524
Итого затрат труда								9594,1
2. Уборка тра	в на сен	о с испол	тьзование	м МТА повышен	ной про	ходимос	ти	
Кошение трав, га	100	15/8	10,5	МТ3-102+ КПРН – 3,0A	9,1	1/1	960	76,9
Ворошение, га	100	15/11	7	Т-30 ГВР-630	9,4	1/1	190	74,5
Сгребание, га	100	15/11	7	Т- 30+ГВР	9,1	1/1	230	76,9
Прессование с погрузкой в транспорт, т	220	15/15	7	МТЗ-82+ ПРФ-145-Ш	14,8	1/3	605	312,2
Транспортировка, т	220	15/15	7	МТ3-82 + 2ПТС-6	7,4	2/2	730	208,1
Укладка тюков в хранилище, т	220	15/15	7	МТ3-82 + ПКУ-0,8	14.7	1/3	132	324,3
Итого затрат труда								1168,4



ствия мобильной сельскохозяйственной техники на почву является составной частью экологической проблемы и должна решаться с учетом требований охраны не только почвы, но и окружающей среды в целом. Давление ходовых систем на почву при заготовке кормов на переувлажняющих пойменных лугах в 3-5 раз превышает допустимые значения. Для снижения силовых воздействий существующих машин на переувлажненную почву, необходимо использовать широкопрофильные шины, шины низкого давления и другие приспособления. При кошении трав на небольших участках пойменных лугов, следует использовать ротационные косилки КПРН-3,0А (или КПП-3,1) с модернизированной ходовой системой.

- 2. Исследования, проведенные на пойменном лугу, показали эффективность использования трактора МТЗ-102 на колесах с шинами 14,9R24 (передние) и 18,4R38 (задние), которые позволяют получить тяговую мощность 24,5 кВт, что больше тяговой мощности этого же трактора на колесах с шинами 16R20 (передние) и 16,9R38 (задние) на 21 %, при снижении буксования с 25 до 17 %.
- 3. Сравнительными хозяйственными испытаниями установлено, что рабочая скорость агрегатов в составе косилок с тракторами МТЗ-82 (со сдвоенными колесами) составила 1,25 м/с и МТЗ-102 (со сдвоенными колесами) —1,67 м/с, что выше в сравнении с МТЗ-82Р на 20,1 и 60,6 % соответственно.
- 4. Внедрение механизированной заготовки сена на переувлажненных пойменных лугах при использовании существующих машин с модернизированной ходовой системой в условиях Республики Беларусь позволило снизить затраты труда на единицу продукции с 43,61 до 5,31 ч/т.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Национальный стат. комитет Респ. Беларусь. Мн., 2011.-283 с.
- 2. Ксеневич, И.П. Ходовая система почва урожай / И.П. Ксеневич, В.А. Скотников, М.И. Ляско. М.: Агропромиздат, 1988. 304 с.
- 3. Томкунас, Ю.И. Взаимодействие колес трактора тягового класса 1,4 с торфяно-болотной почвой / Ю.И. Томкунас, Л.Ф. Баранец // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1987. N 9. С. 12-15.
- 4. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву: ГОСТ 26955-86. – Введ. 01.01.1987 – М.: Изд-во стандартов.
- 5. Механизация заготовки кормов на пойменных лугах: информ. листок № 279 / П.Н. Степанюк [и др.] / БелНИИНТИ. Мн., 1986. 45 с.
- 6. Гедроить, Г.И. Допустимый уровень воздействия ходовых систем сельскохозяйственной техники на почву / Г.И. Гедроить, Ю.И. Томкунас, Д.А. Чечеткин // Агропанорама. 2012. N = 6. C. 10-15.
- 7. Воздействие ходовых систем мобильных агрегатов на почву и экологию лугов, пастбищ, озимых / А.И. Бобровник [и др.] // Агропанорама. 2014. $N \ge 3$. С. 14-18.
- 8. Ревечко, В.Ю. Методы оценки площади контакта колесных движителей с опорным основанием / В.Ю. Ревечко, З.А. Годжаев, В.А. Русанов // Тракторы и сельхозмашины. 2019. № 5. С. 48-54.
- 9. Бондарева, Г.И. Воздействие колесного движителя на переувлажненную почву / Г.И. Бондарева, Б.Н. Орлов // Сельский механизатор. 2018. № 11. С. 4-5.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 05.11.2019

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

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

Журнал выходит один раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842. Стоимость подписки на 1-е полугодие 2020 года: для индивидуальных подписчиков - 21,06 руб., ведомственная подписка - 24,51 руб.

УДК 631.356.46



АКТИВНАЯ БОТВОВЫДЕЛЯЮЩАЯ РЕШЕТКА К КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛЮ КСТ-1,4М

Г.Н. Портянко,

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

Н.П. Гурнович,

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

Г.А. Радишевский,

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

В статье рассмотрен вариант применения конструкции активной ботвовыделяющей решетки, установленной над рабочей ветвью второго сепарирующего элеватора картофелекопателя КСТ-1,4М, для улучшения сепарации почвы и фракционной укладки вороха на выкопанное поле.

Ключевые слова: картофелекопатель, сепарация почвы, ботвовыделяющая решетка.

The application of the active potato topping grate design installed over the working branch of the second separating elevator of potato digger KST-1,4M for improvement of soil separation and fractional packing of a heap on the ploughed land is considered.

Keywords: potato digger, soil separation, potato topping grate.

Введение

Исследованию сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин посвящены работы многих авторов. Установлено, что при оптимальных режимах и условиях работы элеваторы картофелекопателей обеспечивают сепарацию почвы на 70...80 %, а это приводит к присыпанию клубней и части урожая. При эксплуатации картофелеуборочных машин на полях с неубранной (или плохо убранной) ботвой, наличием отмерших сорняков и их корневищ, повышенной твердости и влажности почвы, сепарирующая способность элеваторов снижается, и потери урожая возрастают [1]. Это связано с тем, что элеваторы недостаточно воздействуют на подкопанный пласт по всей толщине и не обеспечивают разрушения почвенных комков, так как растительные остатки перекрывают просветы между прутками, препятствуя сепарации почвы. В этой связи актуальной задачей является повышение эффективности сепарации почвы на элеваторах картофелеуборочной машины за счет выделения растительных остатков в середине технологического процесса с последующей раздельной укладкой компонентов на выкопанное поле.

Основная часть

При механизированной уборке картофеля удаление ботвы и сорняков осуществляется двумя способами:

- предварительным удалением ботвы с поля перед уборкой клубней;
- поэтапное выделение ботвы в уборочных машинах в процессе сепарации почвы.

Анализ использования существующих рабочих органов машин для предварительного удаления ботвы

показал, что они способствуют повышению сепарации почвы, однако полностью ботва с поля не удаляется, остается 30...35 %. Картофелеуборочная машина должна обеспечивать надежность технологического процесса уборки, как на полях с предварительно убранной, так и неубранной ботвой. В последнем случае в двухрядную машину поступает 20 и более тонн ботвы и растительных остатков с гектара, причем часть подкопанных клубней соединена столонами с ботвой, и для их отрыва в машине должны быть предусмотрены специальные устройства.

Используемые в настоящее время в Республике Беларусь картофелекопатели КСТ-1,4М не оборудованы ботвовыводящими устройствами, что затрудняет их использование на полях, засоренных растительными остатками. С целью устранения этого недостатка, для копателя КСТ-1,4М (рис. 1), состоящего из несущей рамы 1, копирующего 2 и ходовых колес 6, пассивных лемехов 3, активного трехгранного битера 4, первого 5 и второго 8 сепарирующих элеваторов, сужающих решеток 9, в Белорусском государственном аграрном техническом университете разработана активная ботвовыделяющая решетка 7, установленная на высоте 200 мм над рабочей ветвью второго элеватора.

Рабочая поверхность решетки (рис. 2) состоит из двух поперечин 1 и 2, шарнирно установленных на разборных коленчатых валах 3 и 4 с радиусами кривошипов $r=100\,$ мм, которые установлены на раме машины с помощью подшипниковых опор 5. Угол наклона решетки соответствует углу наклона рабочей поверхности второго сепарирующего элеватора. Передняя часть решетки находится в зоне перепада картофельного вороха с первого на второй элеватор и закреплена на поперечине 1.

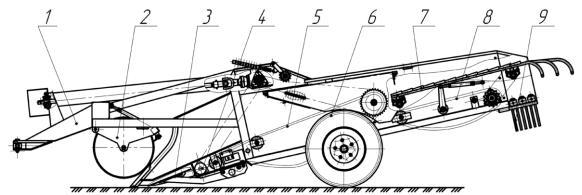


Рис. 1. Картофелекопатель КСТ-1,4М с ботвовыделяющей решеткой:
1 — рама; 2 — колеса копирующие; 3 — лемех пассивный; 4 — битер трехгранный;
5 — элеватор первый; 6 — колеса ходовые; 7 — активная ботвовыделяющая решетка; 8 — элеватор второй; 9 — решетка сужающая

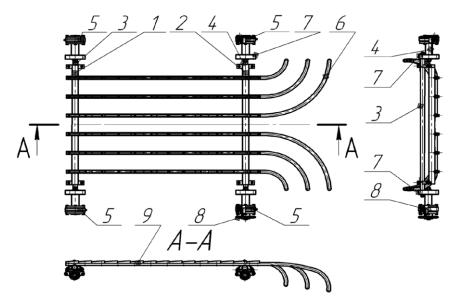


Рис. 2. Рабочая поверхность активной ботвовыделяющей решетки: 1 — поперечина передняя; 2 — поперечина задняя; 3 — вал коленчатый передний; 4 — вал коленчатый задний; 5 — опора подшипниковая; 6 — прутки решетки; 7 — кривошип сменный; 8 — звездочка; 9 — ботвозацеп

Задняя поперечина решетки 2 расположена в зоне ведущего вала второго сепарирующего элеватора, а ее кривошип (коленчатый вал) приводится цепной передачей от дополнительной звездочки Z_{l} , установленной на валу элеватора с левой стороны копателя.

Поперечины имеют прорези для установки в них параллельных трех пар, изогнутых в конце прутков решетки 6, изготовленных из трубы 30х3 мм.

Расстояние между осями соседних прутков составляет 180 мм.

Прутки задней части решетки после сужающих щитков изогнуты попарно в правую и левую стороны по радиусам 170 мм, 340 мм, 510 мм и наклонены вниз под углом, соответственно, 10, 28 и 48° к вертикали.

При работе картофелекопателя на тяжелых по механическому составу почвах, сильно засоренных ботвой и растительными остатками, секционный пассивный лемех подкапывает два рядка картофеля, би-

тер разрушает подкопанный пласт и передает его на первый сепарирующий элеватор. За счет движения и колебания рабочей поверхности на нем происходит разрушение комков и частичное отделение почвы. При сходе с первого сепарирующего элеватора оставшийся ворох поступает на активную ботвовыделяющую решетку. Клубни картофеля и мелкий ворох проходят в просветы между прутками решетки и поступают на рабочую поверхность второго сепарирующего элеватора, находящуюся под решеткой, где происходит окончательное отделение почвы, а ботва и крупные примеси зависают на прутках решетки, и за счет колебаний перемещаются в зону за сужающими решет-

ками. Далее вся масса ботвы, находящаяся на прутках, делится на два потока и укладывается в борозды за ходовыми колесами машины.

Поток из клубней и других мелких примесей, находящийся на втором элеваторе, быстрей им сепарируется вследствие того, что в нем нет ботвы и других крупных примесей, перекрывающих просветы между прутками, что позволяет увеличить рабочую скорость машины. Сходящий со второго элеватора ворох прутками сужающих решеток укладывается на выкопанное поле сзади машины. Ширина уложенного валка, для удобства работы рабочих-подборщиков, согласно агротехническим требованиям, не должна превышать 0,7 м [1]. При этом в процессе подбора картофеля рабочими нет необходимости сбрасывать в сторону отделенную решеткой ботву, что повысит производительность труда.



Производительность ботвовыделяющей решетки должна быть больше или равна подаче ботвы и растительных примесей (вороха) в машину [1]:

$$W_{\scriptscriptstyle E} = 0,278 \cdot W_{\scriptscriptstyle M} \cdot Q_{\scriptscriptstyle E},\tag{1}$$

где 0,278 – переводной коэффициент;

 W_M — максимальная производительность уборочной машины, W_M = 0,56 га/ч [2];

 $Q_{\it B}$ — урожайность ботвы и сорняков на поле в период уборки, $Q_{\it B}$ = 20 т/га [2].

$$W_{E} = 0,278 \cdot 0,56 \cdot 20 = 3,1 \text{ } \kappa z / c.$$

Каждая точка решетки совершает движение по окружности радиуса коленчатых валов r. Кинематика решетки характеризуется показателем кинематического режима k — отношением центростремительного ускорения $r\omega^2$ к ускорению свободного падения g [3].

$$k = \frac{r \cdot \omega^2}{g} \,. \tag{2}$$

От значения этого показателя зависит характер и скорость движения вороха на решетке, а, следовательно, и качество его работы. Обычно он принимается в диапазоне k = 1,5...2,2 [3].

Скорость перемещения ботвы по решетке взаимосвязана со скоростью подачи на нее разделяемого вороха и должна быть больше или равна скорости основного сепарирующего элеватора $V_{\scriptscriptstyle E} \ge V_{\scriptscriptstyle \rm al} = 2,0~$ м/с .

Путь, пройденный ботвой по решетке за одно подбрасывание

$$S = \frac{\pi \cdot r \cdot \cos \alpha}{k},\tag{3}$$

где α – угол наклона ботвовыделяющей решетки к горизонту, α =17°;

k — показатель кинематического режима, принимаем k = 1.7.

$$S = \frac{3,14 \cdot 0,1 \cdot \cos 17}{1,7} = \frac{3,14 \cdot 0,1 \cdot 0,956}{1,7} = 0,18 \text{ m.}$$

Частота вращения ведущего коленчатого вала ботвовыделяющей решетки

$$n = \frac{V_{\scriptscriptstyle E}}{S},\tag{4}$$

где $V_{\it B}$ — скорость перемещения ботвы по решетке, принимаем $V_{\it B}$ = 2,0 м/с.

$$n = \frac{2.0}{0.18} = 11.1 \ c^{-1}.$$

Передаточное отношение цепной передачи привода ботвовыделяющей решетки

$$i = \frac{n}{n_i},\tag{5}$$

где n_I — частота вращения ведущего вала второго элеватора, n_I =4,41 c⁻¹.

$$i = \frac{11,1}{4,41} = 2,52.$$

С учетом того, что на ведущем коленчатом валу ботвовыделяющей решетки установлена звездочка с числом зубьев $Z_2 = 15$, число зубьев звездочки Z_1 на ведущем валу второго элеватора равно:

$$Z_1 = Z_2 \cdot i = 15 \cdot 2,52 = 38$$
 зубьев.

Толщина слоя ботвы на решетке

$$h = \frac{W_{\mathcal{S}} \cdot (1 - \delta)}{B \cdot V_{\mathcal{S}} \cdot \gamma},\tag{6}$$

где $W_{\mathcal{S}}$ — подача ботвы и растительных примесей (вороха), кг/с;

 δ – содержание клубней в ворохе, δ = 0,3 кг [1];

B – ширина решетки, B = 0,9 м;

 γ – объемная масса ботвы, γ = 133 кг/м³ [1].

$$h = \frac{3,1 \cdot (1-0,3)}{0,9 \cdot 2,0 \cdot 133} = 0,009 \text{ m}.$$

Заключение

Максимальная производительность двухрядной картофелеуборочной машины в среднем составляет $W_M=0,56$ га/ч, при урожайности ботвы и сорняков в период уборки картофеля $Q_{\cal E}=20$ т/га. По формуле (1) получено, что секундная подача ботвы составляет $W_{\cal E}=3,1$ кг/с при рабочей скорости агрегата $V_{\cal D}=1,7$ м/с.

Расчет ботвовыделяющей решетки при принятых значениях показателя кинематического режима k=1,7 и скорости перемещения ботвы по решетке $V_{\it E}=2,0$ м/с по выражениям (3) и (4) показал, что путь, пройденный ботвой по решетке за одно подбрасывание S=0,18 м, а частота вращения ведущего коленчатого вала n=11,1 c^{-1} . По выражению (6) определена толщина слоя ботвы на решетке h=0,009 м, а это значит, что устройство работоспособно и обеспечит работу картофелекопателя на полях с неубранной ботвой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Петров, Г.Д. Картофелеуборочные машины / Г.Д. Петров. М.: Машиностроение, 1984. 384 с.
- 2. К вопросу удаления ботвы в картофелеуборочном комбайне. Тракторы, автомобили, мобильные энергетические средства: проблемы и перспективы развития: доклады Междунар. науч.-технич. конф., Минск, 11-14 февраля 2009 г. / Г.Н. Портянко [и др.]; редкол. А.В. Кузьмицкий [и др.]. Минск, 2009. 560 с.
- 3. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные мелиоративные машины / Н.И. Кленин, В.А. Сакун. М.: Колос, 1994. 567 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 12.11.2019

УДК 621.431

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ КОМБАЙНА И СКОРОСТИ ЕГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ УБОРКЕ ЗЕРНОВЫХ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ МИНИМАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ ПРИ ЗАДАННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА

А.Н. Леонов,

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

Ли Цинчжэнь,

соискатель БГАТУ (Китай, Синь Лэ)

Методом многофакторного моделирования и многокритериальной оптимизации рассчитаны оптимальные мощность двигателя (пропускная способность) и скорость движения комбайна, обеспечивающие при уборке зерновых минимальный уровень удельных затрат γ_{min} при заданной производительности труда $W \ge W_0$.

Ключевые слова: номинальная мощность двигателя, скорость движения комбайна, пропускная способность, уровень удельных затрат, производительность труда, многофакторное моделирование, многокритериальная оптимизация, урожайность, срок уборки, длина участка.

The optimal engine power (carrying capacity) and the speed of the combine harvester have been calculated by means of multivariate modeling and multi criteria optimization methods. These ensure the minimum unit cost γ_{min} at a given labor productivity $W \ge W_0$ when harvesting grain.

Keywords: engine power rating, the speed of the combine harvester, carrying capacity, the level of unit costs, labour productivity, multivariate modeling, multi criteria optimization, crop yield, harvesting time, length of land.

Введение

Данная статья посвящена изучению сложных технических систем, отличительная особенность которых заключается в том, что всестороннее их описание возможно только при наличии конфликтующих между собой параметров оптимизации. В работе [1] методом многофакторного моделирования (МФМ) и многокритериальной оптимизации (МКО) определены оптимальные номинальная мощность двигателя трактора и скорость движения МТА. В качестве параметров оптимизации выбраны: уровень удельных затрат γ и производительность труда W, а в качестве управляющих факторов — номинальная мощность двигателя трактора $N_{\text{ном}}$ и скорость его движения v.

Уборка зерновых прямым комбайнированием, по сравнению с раздельным способом уборки, обеспечивает относительно низкий уровень удельных затрат. Именно поэтому в Республике Беларусь прямым комбайнированием убирается более 80 % зерновых.

В настоящее время при выборе комбайна исходят из рекомендаций разработчика, опыта работы и рациональных комплексов, рекомендованных системой машин для механизации растениеводства для конкретного предприятия. Поэтому состав агрегата задается, а рассчитывается в этом случае только скорость движения комбайна с учетом мощности двига-

теля, пропускной способности молотильного аппарата и агротехнического интервала скоростей [2, 3].

Сначала рассчитывается максимальная рабочая скорость движения комбайна $(v_{\rm p}^q)_{\rm max}$ исходя из его пропускной способности

$$(v_p^q)_{\text{max}} = q_{\text{A}}/(b_p H_w), \qquad (1)$$

$$H_w = h_w (1 + \delta_c) \tag{2}$$

где $q_{\rm A}$ — допустимая пропускная способность комбайна, кг/с;

 $b_{\rm p}$ – рабочая ширина жатки, м;

 H_{w} – биологическая урожайность культуры, $\kappa \Gamma / M^{2}$.

 h_w – урожайность зерна в поле, кг/м²;

 δ_c — соломистость культуры — отношение массы соломы к массе зерна [2].

Затем рассчитывается рабочая скорость комбайна $\left(v_{_{\mathrm{D}}}^{q}\right)_{\mathrm{max}}$, исходя из мощности двигателя

$$\left(v_{\rm p}^{N_e}\right)_{\rm max} = \frac{\left[N_e - \left(N_{\rm BOM_x} + N_{\rm BOM_{\mathcal{I}}}\right) / \eta_{\rm BOM}\right]}{\frac{R_{\rm M}}{\eta_{\rm M\Gamma}\eta_{\delta}\eta_{\rm p\Pi}\eta_{\rm r\Pi}} + \frac{E_{\rm yJ}b_{\rm p}H}{\eta_{\rm BOM}}},$$
 (3)

где N_e — эффективная мощность двигателя, Вт;



 $N_{\rm BOMx}$ – мощность механизмов холостого хода, обеспечивающих технологический процесс, Вт;

 $N_{\rm BOM\pi}$ – мощность на реализацию дополнительных процессов (измельчение соломы), Вт;

 $R_{\rm M}$ – тяговое сопротивление комбайна, H;

 $\eta_{\text{вом}},\ \eta_{\text{мг}},\ \eta_{\delta},\ \eta_{\text{рп}},\ \eta_{\text{гп}}-\text{КПД}$ привода ВОМ, трансмиссии, буксования, клиноременной передачи от ведущего шкива к гидронасосу, гидропривода;

 $E_{\rm va}$ — удельная энергия при выполнении технологического процесса, Дж/кг.

В итоге рабочая скорость комбайна при уборке зерновых находится из уравнения [2]

$$v = \min \left[\left(v_{\rm p}^q \right)_{\rm max}, \left(v_{\rm p}^{N_e} \right)_{\rm max} \right] \in \left[v_{\rm min}^{\rm arp}, v_{\rm max}^{\rm arp} \right], \tag{4}$$
где $v_{\rm min}^{\rm arp}, v_{\rm max}^{\rm arp} -$ минимальная и максимальная

рабочие скорости уборки зерновых, обусловленные агротехнологическими требованиями, м/с.

Однако выбор номинальной мощности комбайна нормативным способом не гарантирует минимальный уровень удельных затрат при уборке зерновых, тем более, что в качестве управляющих факторов следует использовать не только мощность двигателя, но и рабочую скорость движения комбайна.

Наиболее эффективным методом проектирования комбайна является математический, заключающийся в многофакторном моделировании процесса уборки урожая с последующей многокритериальной оптимизацией. Математический метод базируется на большом объеме банка данных: агротехнология (сорт культуры, урожайность, длина участка, срок уборки, рабочая скорость движения комбайна и т.п.), технические параметры комбайна (мощность двигателя, пропускная способность молотильного аппарата, ширина захвата жатки, эксплуатационная масса комбайна, объем бункера и т.п.) и в недалеком прошлом был достаточно сложным для оперативного использования в аграрных предприятиях. Однако, в связи с развитием методов компьютерной математики, изучение сложных технических систем, каковой является уборка зерновых, значительно упростилось.

Поэтому определение номинальной мощности двигателя и скорости движения комбайна методом МФМ и МКО, при наличии нескольких конфликтующих между собой параметров оптимизации и нескольких управляющих факторов, представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

Цель данной работы – разработка теории расчета оптимальной мощности двигателя комбайна и его рабочей скорости для уборки зерновых прямым комбайнированием в заданный срок с минимальным уровнем удельных затрат при заданной производительности труда.

Основная часть

Решение поставленной задачи включает в себя 4 этапа [1].

Первый этап – обоснование и выбор параметров оптимизации. В качестве конфликтующих параметров оптимизации выбраны:

- 1) уровень удельных затрат у (у.е./кг), который является критерием, характеризующим интеллект технического решения;
- 2) производительность труда W (кг/с), имеющая большое значение для решения социальных проблем.

Конфликтующий характер этих параметров заключается в различных тенденциях их изменения с увеличением номинальной мощности двигателя.

Второй этап – выбор управляющих факторов. Управляющие факторы, характеризующие состояние технической системы, должны быть независимыми и оказывать существенное влияние на параметры оптимизации. В качестве таких факторов выбраны:

- 1) номинальная мощность двигателя комбайна N_{HOM} (BT);
 - 2) скорость движения комбайна v (м/с).

Интервал их варьирования обусловлен техническими и агротехнологическими требованиями

$$N_{\text{\tiny HOM}} \in [N_1, N_2]$$
 , $v \in [v_{\min}^{\text{arp}}, v_{\max}^{\text{arp}}]$.

Третий этап – многофакторное моделирование операции уборки зерновых прямым комбайнированием, заключающееся в составлении уравнений, отражающих зависимость параметров оптимизации от управляющих факторов.

В данной статье моделируется процесс уборки зерновых, который реализуется на площади S_0 в срок ΔT_0 и характеризуется следующими параметрами:

$$n_{\rm yq} = S_0 / (L_{\rm yq} C_{\rm yq}),$$
 (5)

где S_0 – общая площадь всех участков, м²;

 n_{vq} — число участков;

 L_{yy} , C_{yy} – длина и ширина первого участка, м; Моделирование параметра оптимизации - уровень удельных затрат γ ($N_{\text{ном}}$, ν):

$$\gamma = D/M \,, \tag{6}$$

$$D = \sum_{j=1}^{3} D_{j}, (7)$$

где ү – уровень удельных затрат при уборке зерновых, у.е./кг;

M – собранная маса зерна, пересчитанная на влажность длительного хранения w_0 , кг;

 D, D_1, D_2, D_3 – затраты: общие, на топливо, труд, амортизацию, у.е.

Затраты на топливо D_1 :

$$D_{\rm l} = (1 + k_{\rm cmm}) p_{\rm TOII} Q_{\rm TOII}, \tag{8}$$

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

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

 $Q_{\text{топ}}$ – расход топлива всеми комбайнами при уборке зерновых за время ΔT_0 , кг.



$$Q_{\text{топ}} = n_{\text{yq}} (N_{\text{p}} g_{\text{p}} t_{\text{p}} + N_{xx_1} g_{xx_1} t_{xx_1} +$$

$$+N_{xx_2}g_{xx_2}t_{xx_2}+G_{\text{Bыгр}}t_{\text{Bыгр}}+G_{\text{oct}}t_{\text{oct}}), \qquad (9)$$

$$G_{\text{выгр}} = k_{\text{выгр}} N_{\text{ном}} g_{\text{ном}}, \tag{10}$$

$$G_{\text{oct}} = k_{\text{oct}} N_{\text{Hom}} g_{\text{Hom}} , \qquad (11)$$

где $N_{\rm p},\,g_{\rm p},\,N_{xx_1},\,g_{xx_1},\,N_{xx_2},\,g_{xx_2}$ — эффективная мощность двигателя комбайна и удельный расход топлива: при уборке урожая в загоне, при движении в поворотной полосе и при переезде с участка на участок, Вт, кг/Дж;

 $t_{\rm p},\ t_{xx_1},\ t_{xx_2},\ t_{\rm выгр},\ t_{\rm ост}$ – время: чистой работы комбайна, движения в поворотной полосе, при переезде с участка на участок, при выгрузке зерна, технологических остановок в пересчете на один участок, с;

 $g_{\text{ном}}$ — удельный расход топлива при номинальной мощности двигателя, кг/дж;

 $G_{\text{выгр}}$, $G_{\text{ост}}$ – расход топлива при выгрузке зерна и на остановках технологического обслуживания, кг/с;

 $k_{\text{выгр}},\ k_{\text{ост}}$ — коэффициенты расхода топлива при выгрузке зерна и на остановках технологического обслуживания.

Затраты на труд D_2 :

$$D_2 = \Delta T_0 n_{\rm KM} (p_{\rm K} + k_{\rm BC} p_{\rm BC}) (1 + k_{\rm HaK}), \qquad (12)$$

$$n_{\rm KM} = n_{\rm yq} / n_{\rm yq_1} , \qquad (13)$$

$$n_{\text{vq}1} = k_{\text{cM}} \Delta T_0 / \Delta t_1 , \qquad (14)$$

где ΔT_0 – срок уборки урожая, с;

 $n_{\mbox{\tiny KM}}$ — количество комбайнов, используемых для уборки урожая в срок ΔT_0 ;

 $p_{\text{кб}}$, $p_{\text{всп}}$ — удельная оплата труда комбайнера и вспомогательного рабочего, у.е./с;

 $k_{\rm BC}$ – число вспомогательных рабочих на одном комбайне:

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

 $n_{
m yul}$ — количество участков, убранных одним комбайном за срок ΔT_0 ;

 $k_{\rm cm}$ – коэффициент сменности;

 Δt_1 — время уборки урожая одним комбайном с одного участка, с.

$$\Delta t_1 = t_p + t_{\text{BMP}} + t_{xx_1} + t_{xx_2} + t_{\text{OCT}},$$
 (15)

$$t_{\rm p} = \frac{L_{\rm yq} C_{\rm yq}}{b_{\rm p} \nu},\tag{16}$$

$$b_{\rm p} = \frac{q_{\rm A}}{v h_{\rm w} (1 + \delta_{\rm c})},\tag{17}$$

$$t_{xx_1} = L_{xx_1} / v, \qquad (18)$$

$$t_{xx_2} = L_{xx_2} / v, \qquad (19)$$

$$t_{\text{выгр}} = t_{\text{Б}} \frac{L_{\text{yq}} C_{\text{yq}} h_{w} (1 - \mu_{T_0}) (1 - \mu_{\text{T}})}{V_{\text{F}} \rho_{\text{sep}}},$$
(20)

$$t_{\text{oct}} = t_{\text{oct}1} (N_{\text{HOM}} / N_0) + t_{\text{oct}_0},$$
 (21)

где L_{xx_1} — общая длина поворотов на одном участке, м;

 L_{xx_2} – длина переезда с участка на участок, м;

 $t_{\rm E}$ – время разовой выгрузки зерна из бункера, с;

 μ_{T_0} – потери зерна за срок T_0 ;

 $\mu_{\scriptscriptstyle T}$ – технологические потери комбайна;

 $V_{\rm B}$ – емкость бункера, м³;

 $\rho_{\text{3ep}}-$ насыпная плотность собранного в поле зерна, кг/м³;

 $t_{{
m oct}_1}$, $t_{{
m oct}_0}$ — технологические константы, характеризующие специфику агротехнологии, с;

 $N_0 = 1000 \; \mathrm{BT}$ (для придания выражению N_{Hom}/N_0 безразмерного вида).

Допустимая пропускная способность молотильного аппарата равна

$$q_{_{A}} = 0.6a_{_{1}} \left(1 + b_{_{1}} \frac{h_{_{w}} - h_{_{9}}}{h_{_{9}}}\right) \times$$

$$\times \left(1 + \frac{1}{\delta_{c}}\right) \left(1 - k_{w}(w - w_{o})\right) q_{H}, \qquad (22)$$

где a_1 – коэффициент обмолачиваемости – для безостных культур и двухбарабанного молотильного аппарата $a_1 = 1$;

 b_1 – коэффициент, учитывающий тип молотильного устройства – для двухбарабанного молотильного аппарата $b_1 = 0.27$;

 $q_{\rm H}$ — номинальная пропускная способность молотильного аппарата, определяемая при эталонной урожайности пшеницы $h_3=0.4~{\rm kr/m^2},\,\delta_{\rm c}=1.5,\,w_0=0.15,\,{\rm kr/c};$

 k_{w} – коэффициент, учитывающий влияние влажности зерна;

w – влажность зерна в поле.

$$p_{\rm k\bar{0}} = p_{\rm k\bar{0}1} (N_{\rm HOM}/N_{\rm 0}) + p_{\rm k\bar{0}0};$$
 (23)

$$p_{\rm BC} = p_{\rm BC1} (N_{\rm HOM}/N_0) + p_{\rm BC0},$$
 (24)

где $p_{\text{кб,1}}$, $p_{\text{вс,1}}$, $p_{\text{кб0}}$, $p_{\text{вс,0}}$ – константы, характеризующие удельную оплату труда, у.е./с.

Затраты на амортизацию D_3 :

$$D_3 = n_{\text{KM}} (C_{\text{M}} + c_{\text{K}}b)z_{\text{KM}} (1 + \xi_{\text{KM}})\Delta T_0 / \tau_{\text{KM}}$$
, (25)

где $z_{\mbox{\tiny KM}}$ — коэффициент годовой амортизации комбайна;

 $C_{\rm M}$ – стоимость комбайна без жатки, у.е.;

 $c_{\rm w}$ – удельная стоимость жатки, у.е./м;

 $\xi_{\mbox{\tiny KM}}$ – коэффициенты затрат на ремонт и техобслуживание;

 $\tau_{\rm км}$ – норматив годовой загрузки комбайна, с.

Масса зерна, пересчитанная на влажность при длительном хранении w_0

$$M = h_{W_0} (1 - \mu_T) (1 - \mu_{T_0}) S_0$$
 (26)

$$h_{w_0} = h_w (1 - w) / (1 - w_0)$$
 (27)

где h_{w_0} – урожайность зерна при влажности длительного хранения w_0 , кг/м².

Для того, чтобы математическую модель для уровня удельных затрат γ , представленную уравнени-



ями (5)-(27), можно было использовать для многокритериальной оптимизации, необходимо привлечь уравнение баланса мощности комбайна [3], позволяющее рассчитать $N_{\rm p},\,N_{xx_1},\,N_{xx_2}$ как функции $N_{\rm ном}$ и v, и уравнения Лейдермана [4], позволяющие рассчитать $g_{\rm p},\,g_{\rm выгр},\,g_{xx_1},\,g_{xx_2}$ как функции $N_{\rm ном}$ и v.

Баланс мощности двигателя комбайна для расчета $N_{\rm p},\,N_{\rm xx_1},\,N_{\rm xx_2}$:

$$N_e = N_f / \eta_f + N_{\text{BOM}} / \eta_{\text{ROM}}, \qquad (28)$$

$$N_f = M_3 g v (f_{KY} + \sin \alpha), \qquad (29)$$

$$M_{3} = M_{\text{KOH}} + \overline{M}_{3\text{ep}} + \overline{M}_{TOH} + M_{K\bar{0}} + m_{xc}b$$
, (30)

$$\overline{M}_{3ep} = V_{\rm B} \rho_{3ep} / 2, \qquad (31)$$

$$\overline{M}_{\text{TOII}} = V_{\text{TOII}} \rho_{\text{TOII}} / 2, \tag{32}$$

$$\eta_f = \eta_{\text{MT}} \eta_{\delta} \eta_{\text{prr}} \eta_{\text{rrr}}, \qquad (33)$$

$$N_{_{\rm BOM}} = N_{_{\rm TEXH}} + N_{_{\rm XX}} + N_{_{\rm H3M}} + N_{_{\rm Bbir}}\,, \eqno(34)$$

$$N_{\text{\tiny TEXH}} = E_{\text{\tiny VII}} \, q_{\text{\tiny II}} \,, \tag{35}$$

$$N_{\text{\tiny H3M}} = k_{\text{\tiny H3M}} N_{\text{\tiny TeXH}} \,, \tag{36}$$

$$N_{xx} = E_{xx} q_{_{\rm H}}, \tag{37}$$

$$N_{\text{выгр}} = k_{\text{выгр}} N_{\text{ном}}, \tag{38}$$

где N_e , N_f , $N_{\text{техн}}$, $N_{\text{хх}}$, $N_{\text{изм}}$, $N_{\text{выг}}$ — мощность: эффективная, на самодвижение комбайна, на выполнение технологического процесса (срезание, транспортировка, обмолот, разделение соломы и зерна), холостого хода, работы измельчителя, шнека при выгрузке зерна из бункера, Вт;

 η_f – КПД ходовой части;

 $M_{\rm 3},\,M_{\rm кон},\,\overline{M}_{\rm 3ep}\,,\,\overline{M}_{\rm топ}\,,\,M_{\rm кб}$ – масса: эксплуатационная комбайна, конструкционная комбайна (без жатки), зерна в бункере (средная), топлива (средная), комбайнера, кг;

 $V_{\text{топ}}$ – объем топливного бака, м³;

 $\rho_{\text{топ}}$ – плотность дизельного топлива, кг/м³;

 $m_{\rm w}$ – удельная масса жатки, кг/м;

 $f_{\text{кч}}$ – коэффициент сопротивления качению;

 α – угол уклона местности, рад;

 $k_{\text{изм}}$ – коэффициент мощности измельчения;

 E_{xx} – удельная энергия механизмов холостого хода, обеспечивающих технологический процесс, Дж/кг;

 $k_{\text{выгр}}$ – коэффициент мощности при выгрузке зерна из бункера.

Мощность двигателя комбайна при уборке урожая в загоне $N_{\rm p}$ рассчитывается по уравнениям (28) — (38), причем $N_e=N_{\rm p},\,N_{\rm выг}=0$

$$N_{\rm p} = \frac{M_{\rm 3}gf_{\rm kq.\Gamma}^{\dagger}\nu}{\eta_{\rm M\Gamma}\eta_{\delta}\eta_{\rm pp}\eta_{\rm fp}} +$$

$$+\frac{(1+k_{_{\rm H3M}})E_{_{\rm YJ}}bvh_{_{\rm W}}(1+\delta_{_{\rm C}})}{\eta_{_{\rm BOM}}}+\frac{E_{_{\rm XX}}q_{_{\rm H}}}{\eta_{_{\rm BOM}}},$$
 (39)

где $f_{\text{кч.г}}$ — коэффициент сопротивления качению комбайна при уборке в гоне.

Мощность двигателя при движении комбайна в поворотной полосе (j=1) и при переезде с участка на участок (j=2) N_{xx_j} рассчитывается по уравнениям (28) - (38), причем $N_e = N_{xx_s}$, $N_{\text{вом}} = 0$

$$N_{xx_j} = \frac{M_{\mathfrak{I}}g f_{\kappa_{\mathsf{I}},xx_j} v}{\eta_{\mathsf{M}\Gamma}\eta_{\delta}\eta_{\mathsf{p}\Pi}\eta_{\mathsf{\Gamma}\Pi}} , \qquad (40)$$

где $f_{\kappa^{\mathbf{q}}, \mathbf{x} \mathbf{x}_{j}}$ – коэффициент сопротивления качению комбайна в поворотной полосе (j=1), при переезде с участка на участок (j=2).

Для расчета g_p , g_{xx_1} , g_{xx_2} воспользуемся уравнениями Лейдермана [4]:

$$g_e/g_{\text{HOM}} = c_0 - c_0 (n/n_{\text{HOM}}) + (n/n_{\text{HOM}})^2$$
, (41)

$$N_e/N_{\text{HOM}} = c_1(n/n_{\text{HOM}}) +$$

$$+(2-c_1)(n/n_{HOM})^2 - (n/n_{HOM})^3,$$
 (42)

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

 c_0, c_1 — константы для конкретной марки дизельного двигателя;

 $n, n_{\text{ном}}$ — скорость коленчатого вала: угловая, номинальная угловая, c^{-1} ;

 $N_{\mbox{\scriptsize HOM}}$ — номинальная мощность двигателя, Вт.

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

Из уравнений (41) и (42) следует, что при $n/n_{\text{ном}}=1$, $g_e=g_{\text{ном}},\,N_e=N_{\text{ном}}.$

Значения c_0 и c_1 различные для разных линеек дизельных двигателей, и могут быть рассчитаны по паспортным данным $g_{\text{мин}}/g_{\text{ном}}$ и $Ng_{\text{мин}}/N_{\text{ном}}$.

Значение угловой скорости $n_{\rm g_{\rm мин}}$, обеспечивающее минимальное значение $g_{\rm мин}$, при условии ${\rm d}g_e/{\rm d}n=0$ находится из уравнения (41)

$$n_{\rm g_{\rm MHH}}/n_{\rm HOM} = c_0/2$$
 (43)

Подставляя уравнение (43) в уравнения (41) и (42), получим

$$g_{\text{MUH}} / g_{\text{HOM}} = c_0 - c_0^2 / 4,$$
 (44)

$$N_{g_{\text{MMH}}}/N_{\text{HOM}} = (4c_1c + 2(2 - c_1)c_0^2 - c_0^3)/8.$$
 (45)

Уравнения (44) и (45) позволяют рассчитать значения c_0 , c_1 , используя паспортные данные $g_{\text{мин}}/g_{\text{ном}}$ и $Ng_{\text{мин}}/N_{\text{ном}}$. После этого, уравнения (41) и (42) описывают зависимость $g_e/g_{\text{ном}} = g_e/g_{\text{ном}}$ ($n_e/n_{\text{ном}}$) и $N_e/N_{\text{ном}} = N_e/N_{\text{ном}}$ ($n_e/n_{\text{ном}}$) для конкретной линейки дизельных двигателей. Полученные уравнения являются параметрическими. Исключая из них $n_e/n_{\text{ном}}$, методом МНК можно получить выражения $g_e = g_e$ (N_e) в явном виде, что позволит рассчитать удельный расход топлива g_{xx1} и g_{xx2} при известных значениях N_{xx_1} и N_{xx_2} .

Уравнения (5)-(45) являются математической моделью уровня удельных затрат $\gamma = \gamma (N_{\text{ном}}, \nu)$.



Моделирование параметра оптимизации – производительность труда $W = W(N_{\text{ном}}, v)$. Для этого воспользуемся уравнениями (13)-(23) и (27)

$$W = \frac{M}{\Delta T_0 n_{\rm KM} (1 + k_{\rm BC})},$$
 (46)

где W – производительность труда, кг/с.

Уравнение (46) с учетом уравнений (13)-(23), (27) являются математической моделью производительности труда W.

Четвертый этап – многокритериальная опти**мизация** (метод ε -ограничений [5]).

В качестве целевой функции использован параметр оптимизации у

$$\gamma \to \min$$
 (47)

На параметр оптимизации W наложено функциональное ограничение

$$W \ge W_0. \tag{48}$$

Факторные ограничения:

исследованный диапазон мощности двигателей

$$N_1 \le N_{\text{HOM}} \le N_2 \; ; \tag{49}$$

- агротехнологическое требование

$$v_{\min}^{\text{arp}} \leq v \leq v_{\max}^{\text{arp}};$$
 (50)
– энергетическое требование

$$N_{\rm p} \leq N_{\rm HOM}. \tag{51}$$

Так как траектория движения комбайна в поворотной полосе оказывает влияние на энергетический и временной баланс времени, в данной статье, в качестве примера, выбрана траектория комбайна, схематично представленная на рис. 1 с очередностью обработки полос 1-7. Каждые 7 полос образуют один загон, ширина которого 7b. Количество таких загонов на одном участке равно

$$n_{\rm fill} = C_{\rm Vq} / 7b. \tag{52}$$

Суммарная длина поворотов на одном участке равна

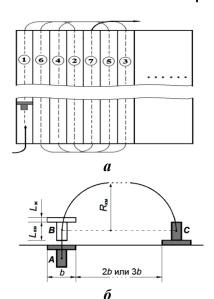


Рис. 1. Схема движения комбайна в поворотной полосе: а – схема движения комбайна в загоне и поворотной полосе; б – параметры траектории движения комбайна в поворотной полосе

$$L_{\chi\chi_{_{1}}} = AB + \cup BC =$$

$$= n_{\text{\tiny EJI}} \left[7R_{\text{\tiny KM}}(\pi - 2) + 23b + 7(L_{\text{\tiny KM}} + 2L_{\text{\tiny JK}}) \right], (53)$$

где $R_{\text{км}}$ – радиус поворота комбайна, м;

 $L_{\text{\tiny KM}}, L_{\text{\tiny ж}}$ – длина комбайна и жатки, м.

Кроме того, для оптимизации процесса уборки зерновых необходимо выбрать линейку комбайнов с перечнем технико-экономических параметров. В качестве примера выбрана линейка комбайнов марки «ПАЛЕССЕ», технико-экономические которых приведены в таблицах 1-3.

Структурные параметры земельного участка, технологические и экономические параметры агротехнологии уборки зерновых, характерные для среднего Китая, в качестве примера, приведены в таблицах 4-7.

Таблица 1. Технико-экономические параметры комбайнов торговой марки «ПАЛЕССЕ» [6.7], коррелирующие с мошностью комбайна

	mapitii (11	TWILCE.	" [U, I, I, I	oppoin	уующие	CMOH	LIIOCI DIO	ROMOUIIII	
-	Марка	$N_{\text{ном}}$, к B т	$q_{\scriptscriptstyle m H}$, кг/с	$R_{\text{\tiny KM}}$, M	$M_{ m koh}$, т	$V_{\rm E}$, ${\rm M}^3$	$V_{\text{топ}}$, м ³	$g_{\scriptscriptstyle ext{HOM}}$, кг/к B т/ч	$C_{\text{\tiny KM}}$, y.e.
-[«ПАЛЕССЕ GS16»	390	16	10,0	18,1	9	0,8	0,210	181100
[«ПАЛЕССЕ GS14»	294	14	10,0	17,6	9	0,8	0,215	152500
[«ПАЛЕССЕ GS12A1»	243	12	8,6	14,4	8	0,6	0,212	131000
1	«ПАЛЕССЕ GS10»	184	10	9,0	13,6	7	0,5	0,220	99600
[«ПАЛЕССЕ GS812»	169	8	7,5	12,0	5,5	0,5	0,217	94600
1	«ПАЛЕССЕ GS575»	114	5	7,2	10,1	3,5	0,3	0.223	61650

Таблица 2. Технико-экономические константы комбайнов торговой марки «ПАЛЕССЕ» [3], не зависящие от мощности двигателя

$\eta_{\scriptscriptstyle{\mathrm{M}\Gamma}}$	η_{δ}	ηρπ	$\eta_{r\pi}$	η_{BOM}	ξ_{km}	τ _{км} , ч	Z_{KM}	$k_{\scriptscriptstyle \rm H3M}$	$E_{\rm xx}$, Дж/кг	$E_{\rm уд}$, Дж/кг	$L_{\text{\tiny KM}},\mathbf{M}$	$L_{ж}$, м	$m_{\rm ж}$, кг/м
0,85	0,97	0,90	0,80	0,95	0,5	130	0,10	0,70	2750	7400	10,8	2	320

таолица э. 1	CAHNACCKNC KUH	стапты дынгатс.	ICH ZIMIJ (. туроон <i>а</i> дду	вом [о]
Марка двигателя	$N_{\rm g_{ m muh}}/N_{ m hom}$	$g_{ m MWH}/g_{ m HOM}$	ε	k_{cm_3}	$ρ_{\text{ton}}$, κγ/ M^3
ямз	0.696	0.927	0.25	0.05	850



Таблица 4. Структурные константы земельного участка

_ ***	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	• 1101101101101		••
S ₀ , га	$L_{ m yq}$, м	$C_{ m yq}$, м	L_{xx_2} , м	α, рад
1000	100–1500	L _n /2	500	0

Таблица 5. Технологические константы процесса уборки пшеницы [2]

$f_{\mathrm{rp,xx1}}$	$f_{\mathrm{rp,xx2}}$	$v_{ m min}^{ m arp}$, м/с	$v_{ m max}^{ m arp}$, м/с	Δt_0 , дн	<i>U</i> _w , т/га	$\mu_{\scriptscriptstyle \mathrm{T}}$	μ_{T0}	w	w_0	$t_{\text{ост}_1}$, c	t ост ₀ , с	ρ_{3ep} , T/M^3	<i>t</i> _B , c
0,10	0,06	0,8	2,2	5	2-8	0,015	0,035	0,22	0,15	2,6	-90	0,7	180

Таблица 6. Зависимость коэффициента соломистости от урожайности пшеницы [9]

т поници о	· Jubireini	то позфф	щисити сои	OMINICI OCTI	or Jpomann	ocin nimen	11421
<i>h</i> _w , т/га	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$\delta_{ m c}$	1,4	1,2	1,1	1,0	0,91	0,85	0,80

Таблица 7. Природно-производственные константы для среднего Китая

7.0		,		1 ' '		, ,				0.00	All and a second
l	$p_{\text{топ}}$, у.е./кг	$k_{ m ha\kappa}$	$k_{\rm cm}$	W_0 , т/ч	n_{mex}	$n_{\scriptscriptstyle \mathrm{BC\Pi}}$	$p_{\text{mex}1}$, y.e./c	p_{mex0} , y.e./c	$p_{\text{всп1}}$, у.е./с	$p_{\rm всп0}$, у.е./с	<i>p</i> _ж , у.е./м
	1	0,35	0,8	2	1	0	4,17·10 ⁻⁶	6,94·10 ⁻⁴	2,89·10 ⁻⁶	6,19·10 ⁻⁴	1000

Для осуществления многокритериальной оптимизации на базе данных табл. 1, методом МНК были получены регрессионные зависимости параметров $q_{\rm H}$, $R_{\rm KM}$, $M_{\rm KM}$, $g_{\rm HOM}$, $C_{\rm KM}$ от $N_{\rm HOM}$ в явном виде (рис. 2), а на базе данных табл. 6 – зависимость соломистости $\delta_{\rm c}$ от урожайности $U_{\rm w0}$ (рис. 2).

$$q_{\rm H} = k_a \left(N_{\rm HOM} / N_0 \right) + a_a, R^2 = 0.940,$$
 (54)

$$R_{\text{\tiny KM}} = k_R \ln \left(N_{\text{\tiny HOM}} / N_0 \right) + a_R, R^2 = 0.931,$$
 (55)

$$g_{\text{HOM}} = k_g \left(N_{\text{HOM}} / N_0 \right) + a_g, R^2 = 0.781,$$
 (56)

$$M_{\rm KM} = k_M (N_{\rm HOM} / N_0) + M_0, R^2 = 0.912,$$
 (57)

$$C_{\text{\tiny KM}} = k_C \left(N_{\text{\tiny HOM}} / N_0 \right) + C_0, R^2 = 0.970,$$
 (58)

$$V_{\rm E} = k_{V_{\rm E}} \ln(N_{\rm HOM}/N_0) + V_{\rm E,0} R^2 = 0.913,$$
 (59)

$$V_{\text{TOII}} = k_{V_{\text{TOII}}} \ln \left(N_{\text{HOM}} / N_0 \right) + V_{\text{TOII}0} R^2 = 0.945, (60)$$

$$\delta_{c} = k_{\delta_{c}} \ln(h_{w}/h_{0}) + \delta_{c0} R^{2} = 0.998,$$
 (61)

где $k_q=0.0393$ кг/с; $a_q=1.695$ кг/с; $k_R=2.91$ м; $a_R=-6.98$ м; $k_g=-1.22\cdot10^{-11}$ кг/Дж; $a_g=6.29\cdot10^{-8}$ кг/Дж; $k_{\rm M}=30.0$ кг; $M_0=7300$ кг; $k_C=362.1$ у.е.; $C_0=2.53\cdot10^4$ у.е.; $k_{V\rm D}=4.75$ м³; $V_0=-18.5$ м³; $k_{V\rm TOII}=0.432$ м³; $V_{\rm TOII}=-1.74$ м³; $V_{\rm S}=-0.431$; $\delta c_0=0.698$; R^2- коэффициент детерминации уравнения регрессии.

На базе данных табл. 3 и уравнений (45) и (46) рассчитаны константы $c_0=1,46;\ c_1=0,0987,\ a$ затем методом МНК было получено $g_e=g_e\left(N_e\right)$ в явном виде

$$g_e/g_{\text{HOM}} = 1,257 - 0,976(N_e/N_{\text{HOM}}) +$$

$$+0.718(N_e/N_{HOM})^2$$
, $R^2 = 0.998$. (62)

С помощью уравнения (62) для $N_e = N_{xx_1}$, $N_e = N_{xx_1}$ (уравнение (41)) рассчитывается удельный расход топлива g_{1xx_1} и g_{xx_1} .

Уравнения (54)-(62) статистически значимы по критерию Фишера [10], так как

$$F_9 = R^2 (n-k-1)/k/(1-R^2) > F_{k, n-k-1; 0.95},$$
 (63)

где n – количество опытов; k – число переменных факторов; $F_{k,n-k-1:0.95} \in (5,9)$.

Результаты многокритериальной оптимизации:

- 1. Для любого участка, длиной $L_{
 m yu}$, существует оптимальный комплекс факторов $(N_{
 m Hom})_{
 m out}$ и $v_{
 m out}$, обеспечивающий минимальный уровень удельных затрат $\gamma_{
 m min}$, при условии, что производительность труда $W \geq W_0$ (рис. 3а). Показано, что с увеличением длины участка $L_{
 m yu}$ эффективность уборки повышается, так как $\gamma_{
 m min}$ уменьшается, а W увеличивается (рис. 3 б).
- 2. Оптимальная рабочая скорость комбайна $v_{\rm ont}$ результат компромисса между изменением топливных затрат на самодвижение комбайна и амортизационных затрат за счет изменения времени в поворотной полосе. С увеличением $L_{\rm yq}$, уровень удельных затрат γ в большей степени зависит от экономии топлива, и поэтому при увеличении $L_{\rm yq}$, скорость комбайна $v_{\rm ont}$ уменьшается. При этом пропускная способность $q=q_{\rm q}$ обеспечивается за счет увеличения ширины захвата $b_{\rm ont}$.
- 3. С увеличением урожайности h_w , которая сопровождается уменьшением коэффициента соломистости $\delta_{\rm c}$, увеличивается допустимая пропускная способность $q_{\rm d}$, что приводит к уменьшению $\gamma_{\rm min}$ и увеличению W. Повышение $q_{\rm d}$ достигается за счет увеличения мощности двигателя, которое реализуется на технологические цели. В результате, с увеличением $h_{\rm W}$, $(N_{\rm hom})_{\rm out}$ увеличивается.
- 4. При урожайности $h_w = 5,6$ т/га (рис. 4а, точка A) $v_{\text{опт}} = 2,2$ м/с (что определяется агротехнологическими требованиями), $N_{\text{p}} = (N_{\text{ном}})_{\text{опт}}$ и $q = q_{\text{д}}$. Дальнейшее увеличение $h_w > 5,6$ т/га (рис. 4а, точка Б) приводит к увеличению N_{p} . Выполнение условия $N_{\text{p}} = (N_{\text{ном}})_{\text{опт}}$ достигается за счет уменьшения $v_{\text{опт}}$ (уменьшение энергии на самодвижение комбайна). При этом снижается уровень удельных затрат γ , а условие $q = q_{\text{д}}$ обеспечивается за счет увеличения $b_{\text{опт}}$ (рис. 4в).

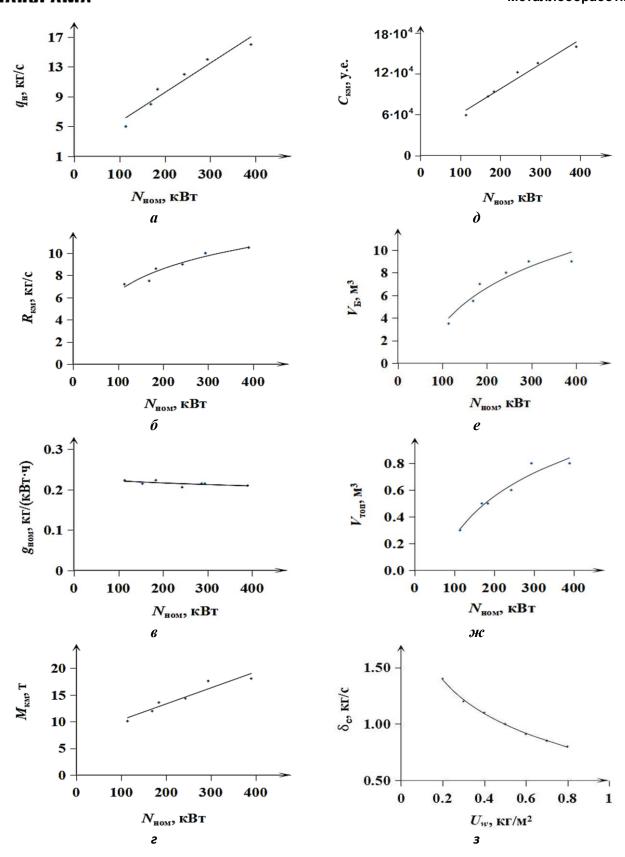
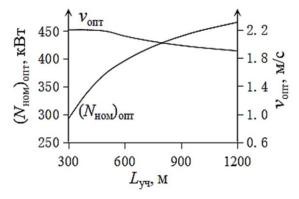
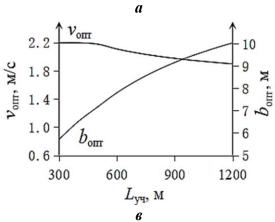
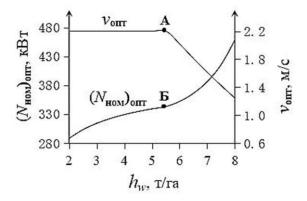


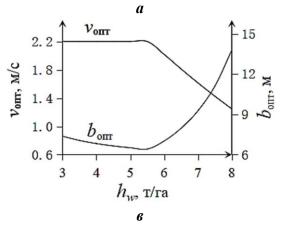
Рис. 2. Графики зависимостей q_H (а), $R_{\text{км}}$ (б), $g_{\text{ном}}$ (в), $M_{\text{км}}$ (г), $C_{\text{км}}$ (д), $V_{\text{Б}}$ (е), $V_{\text{топ}}$ (ж) от мощности двигателя $N_{\text{ном}}$ и зависимость $\delta_{\text{с}}$ (з) от урожайности U_{w}











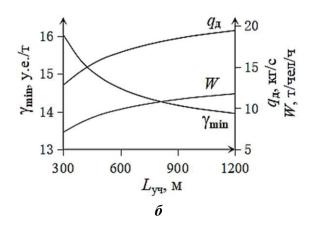


Рис. 3. Графики зависимостей ($N_{\text{ном}}$) $_{\text{опт}}$ и $v_{\text{опт}}$ (a); γ_{min} , $q_{\text{д}}$ и W (б); $v_{\text{опт}}$ и $b_{\text{опт}}$ (в) от $L_{\text{уч}}$ при $U_{\text{w}}=5$ т/га и $\Delta T_0=5$ дн.

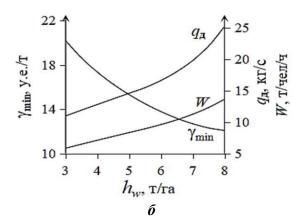


Рис. 4. Графики зависимостей ($N_{\text{ном}}$) $_{\text{опт}}$ и $V_{\text{опт}}$, (a); γ_{min} , $q_{\text{д}}$ и W (б); $V_{\text{опт}}$ и $b_{\text{опт}}$ (в) от h_{W} при $L_{\text{уч}} = 400$ м, $C_{\text{уч}} = 200$ м и $\Delta T_0 = 5$ дн.



- 5. При уборке зерновых изменение параметров оптимизации γ и W носит конфликтующий характер (рис. 5, участок b-с), так как увеличение производительности труда W возможно только за счет увеличения уровня удельных затрат γ . Например, для участка $L_{\rm yq} = 300$ м, $C_{\rm yq} = 150$ м, увеличение W с 7 до 10 т/ч возможно только за счет увеличения $\gamma_{\rm min}$ с 16,0 до 16,5 у.е./т (рис. 5).
- 6. Эксплуатация комбайна на участке a-b бессмысленна, так как параметры точки b ($\gamma_{\min} = 16,0$ у.е./т; W = 7,0 т/чел/ч) лучше, чем параметры всех точек на участке a-b (рис. 5).

16. 4 - 16. 2 - 16. 2 - 16. 0 - 15. 8 4 6 8 10 W, т/чел/ч

Рис. 5. График зависимости минимального уровня удельных затрат γ_{min} от производительности труда W при L_{yq} = 300 м, C_{yq} = 150 м, h_w = 5 m/га, v_{ont} = 2,20 м/с

Заключение

Разработана математическая модель, позволяющая рассчитать номинальную мощность двигателя комбайна, и, следовательно, коррелирующую с ней пропускную способность, а также рабочую скорость его движения при уборке зерновых для участков различной длины и урожайности в требуемый срок, отличающаяся тем, что в качестве управляющих факторов выбраны — мощность двигателя и рабочая скорость комбайна, что позволяет добиться минимального уровня удельных затрат при заданной производительности труда.

Показано, что между параметрами оптимизации «уровень удельных затрат» и «производительность труда» существует конфликтующий характер изменений: добиться увеличения производительности труда можно только за счет увеличения уровня удельных затрат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Ли, Цинчжэнь. Определение номинальной мощности двигателя трактора и скорости МТА для выполнения конкретной операции с минимальным уровнем удельных затрат / Цинчжэнь Ли, А.Н. Леонов // Агропанорама. 2019 № 4. С. 26 32.
- 2. Непарко, Т.А. Техническое обеспечение производства продукции растениеводства. / Т.А. Непарко, А.В. Новиков, И.Н. Шило [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2013. – С. 75.
- 3. Техническое обеспечение производства продукции растениеводства / А.В. Новиков [и др.]. –

Минск: БГАТУ, 2011. - С. 110.

- 4. Удельный расход топлива [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: https://www.belstu.by/ Portals/0/userfiles/217/lekcii/8-Lekciya-Tipi-traktorov-i-avtomobilejKlassifikaciya.pdf. Дата доступа: 25.03.2019.
- 5. Sawaragi, Y. Theory of Multiobjective Optimization / Y. Sawaragi // J. of Mathematics in Science and Engineering. Orlando, FL: Academic Press Inc, 1985. Vol. 176. 296 p.
- 6. Зерноуборочные комбайны «ГОМСЕЛЬМАШ». [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: [https://www.gomselmash.by/produktsiya/zernouborochnye-kombainy/ Дата доступа: 15.08.2019.
- 7. Комбайны «ПАЛЕССЕ» в России. [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: https://tiu.ru/Kombajn-palesse-1.html. Дата доступа: 15.08.2019.
- 8. Двигатели марки ЯМЗ [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: https://dvigateli-yamz.ru/katalog/yamz-850/yamz-856_10/yamz-e856_10/. Дата доступа: 15.08.2019.
- 9. Коэффициенты пересчета зерна и семян в побочную продукцию и содержание основных элементов питания в побочной продукции сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь / Е.Н. Богатырева [и др.] // Почвоведение и агрохимия. -2016. -№ 2 (57). С. 81.
- 10. Себер, Дж. Линейный регрессионный анализ / Дж. Себер. М.: Мир, 1980. 456 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 21.11.2019



УДК 621.791.92: 621.81

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА

Л.М. Акулович,

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

А.В. Миранович,

декан факультета технического сервиса в АПК БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.Г. Мисько,

ст. преподаватель каф. технологий и организации технического сервиса БГАТУ

Приведены результаты экспериментальных многофакторных исследований производительности осаждения покрытий из материала композиционного порошка ФБХ-6-2 при магнитно-электрическом упрочнении цилиндрических поверхностей деталей из стали 30ХГС в зависимости от технологических режимов.

Ключевые слова: магнитно-электрическое упрочнение, ферромагнитный порошок, покрытие, электрические разряды, математико-статистическая модель.

The results of experimental multifactorial studies of the capacity of coating deposition made of composite powder material FBH-6-2 at the magnetic-electric hardening of cylindrical surfaces of 30HGS steel parts depending on the technological modes are presented.

Keywords: magnetic-electric hardening, ferromagnetic powder, coating, electric discharges, mathematical-statistical model.

Введение

Большинство деталей сельскохозяйственной техники работает в условиях, при которых эксплуатационная нагрузка (скорость перемещения, давление, нагрев, воздействие окружающей среды и т.п.) воспринимается главным образом их поверхностным слоем. Поэтому износостойкость рабочих поверхностей, зарождение и развитие усталостных трещин являются очагами коррозии, зависят от сопротивления поверхностного слоя разрушению. Основной причиной выхода из строя деталей сельскохозяйственной техники (около 50 %) является износ их рабочих поверхностей. К ним относятся [1] валы коробок перемены передач тракторов и грузовых автомобилей, которые выходят из строя при износе сопряжений «вал – подшипник качения», «вал – распорная втулка», «вал – муфта фрикциона» и т.п. Допустимый износ таких сопряжений не превышает 0,10-0,25 мм.

Разнообразие условий работы машин и видов изнашивания деталей обусловило появление большого количества методов поверхностного упрочнения, основанных на нанесении покрытий и (или) изменении состояния (модификации) поверхности. При нанесении покрытий упрочнение поверхностей деталей достигается путем осаждения на них материалов, которые по своим свойствам отличаются от свойств основного металла, но наиболее полно отвечают условиям эксплуатации (механическое, коррозионное, химическое, эрозионное воздействие и т.п.). При из-

менении состояния (модификации) поверхностного слоя происходит физико-химическое изнашивание в металле, повышающее его сопротивление разрушению. Модифицирование поверхностного слоя может осуществляться поверхностным пластическим деформированием (ППД), поверхностной термообработкой, диффузионным насыщением легирующими элементами. Из-за многообразия условий работы машин и видов изнашивания ни один из известных методов упрочнения поверхностей деталей не может претендовать на универсальность. Один и тот же метод в одних условиях эксплуатации может дать положительный эффект, а в других - отрицательный. Поэтому в ряде случаев целесообразно применять комбинированную или совмещенную упрочняющую обработку, основанную на использовании двух или трех методов упрочнения, каждый из которых позволяет усилить тот или иной показатель качества поверхности.

Перспективным является упрочнение поверхностей комплексными или комбинированными методами, основанными на сочетании различных видов высокоэнергетических и механических воздействий. Например, при пластическом деформировании целесообразно использовать технологическое тепло, выделяемое при энергетическом воздействии от другого метода упрочнения. Для модифицирования уже сформированного упрочненного слоя используют лазерную обработку. В мировой практике известны технологии модифицирования газотермических и плазменных покрытий. В любом случае, выбор того

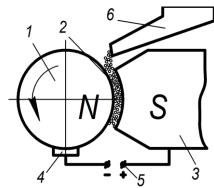


или иного метода поверхностного упрочнения определяется экономическими соображениями. Наиболее востребованными в настоящее время являются способы, основанные на использовании концентрированных потоков энергии и характеризующиеся минимальным тепловложением, что практически исключает коробление деталей, вызванное температурными деформациями. Для упрочнения и восстановления деталей, поверхности которых изношены до 0,3 мм, эффективными способами являются электрофизические, в том числе магнитно-электрическое упрочнение (МЭУ) [2] и лазерное оплавление покрытий [3].

Основная часть

Магнитно-электрическое упрочнение, помимо осаждения на поверхностях деталей материалов, отличающихся от свойств основного металла, обеспечивает модификацию поверхностного слоя. Установлено [4, 5], что эффект упрочнения при воздействии магнитного поля на поверхностный слой металла состоит в изменении его эксплуатационных свойств. Сталь, как любое твердое тело, обладает внутренней энергией, обусловленной дислокационной структурой материала. Взаимодействие энергии магнитного поля с внутренней энергией материала приводит к появлению местных перенапряжений. В этих местах резко возрастает вероятность разрыва межатомных связей. В тех местах, где эти локальные перенапряжения превышают пределы упругости материала, формируются очаги пластической деформации, что свидетельствует об упрочнении металлической поверхности. Именно здесь интенсивно протекают процессы размножения и перемещения дислокаций. С увеличением плотности дислокации, сталь претерпевает своеобразный наклеп, что выражается в изменении параметра решетки мартенсита и снижении температуры мартенситного превращения.

Сущность магнитно-электрического упрочнения состоит в том, что упрочняемую поверхность 1 детали (рис. 1) и полюсный наконечник 3 магнита распо-



Puc. 1. Схема магнитно-электрического упрочнения

лагают относительно друг друга с определенным зазором и их подключают к источнику импульсного технологического тока 5 с помощью скользящего контакта 4.

В образованный зазор из бункера-дозатора 6 подают ферромагнитный порошок (ФМП), частицы которого выстраиваются в токопроводящие «цепочки» 2. Частицы ФМП, контактирующие с поверхностью детали, расплавляются под действием электрических разрядов, и расплав осаждается на упрочняемой поверхности. Качество образовавшегося покрытия зависит от свойств ФМП. Формирование покрытия происходит путем расположения на поверхности детали множества точечных вкраплений округлой формы, по мере заполнения которыми поверхности детали, сплошность покрытия увеличивается, а толщина его практически не изменяется, хотя перенос материала порошка на поверхность детали продолжается. В результате происходит сглаживание формируемой поверхности, и ее шероховатость находится в пределах Ra 12,5-40 мкм. Поверхности с такой шероховатостью покрытий хорошо зарекомендовали себя при работе в среде свободного абразива. Для условий работы в парах трения требуется дополнительная обработка поверхности. Наибольший эффект получен при совмещении МЭУ с поверхностным пластическим деформированием. В этом случае происходит электроконтактное термомеханическое упрочнение, при котором для разогрева поверхностного слоя используется технологическое тепло, образовавшееся от прохождения энергии электрических разрядов через пятно контакта частиц порошка. В результате такого комбинированного упрочнения осуществляется нагрев неровностей поверхности, их деформирование и сглаживание.

Так как МЭУ может использоваться как в качестве самостоятельной технологии нанесения покрытий при восстановлении и упрочнении поверхностей деталей, так и являться первым этапом комбинированной или совмещенной упрочняющей обработки, то целью настоящего исследования является определение рациональных значений технологических режимов, обеспечивающих максимальную производительность процесса осаждения материала ФМП на упрочняемой поверхности. Масса осажденного материала упрочняющего порошка характеризует толщину упрочненного слоя.

Эксперименты проводили на цилиндрических образцах из стали $30{\rm X}\Gamma{\rm C}$ (ГОСТ 4543-71), из которой изготавливают многие детали сельскохозяйственной техники (валы, шкворни, диски сеялок зерновых и т.п.). Образцы представляли собой кольца с наружным диаметром $40~{\rm Mm}$, внутренним $-16~{\rm Mm}$ и высотой $12~{\rm mm}$. Масса исходных образцов $-125~{\rm r}$. Образцы подвергались нормализации и обрабатывались до параметра шероховатости поверхности $Ra=12,5~{\rm mkm}$. Нанесение покрытий из ферромагнитного композиционного порошка $\Phi{\rm EX-6-2}$ (ГОСТ 11546-75) на упрочняемую поверхность образцов проводилось на установке модели УНП 1, смонтированной на токарно-винторезном станке модели $1E61{\rm M}$.

На основе анализа существующих вариантов и методов математического моделирования технологических процессов [6-8] установлено, что процесс



МЭУ достаточно полно можно описать математикостатистическими моделями второго порядка, полученными по матрице центрального композиционного ротатабельного униформ-планирования экспериментов (ЦКРУП).

Производительность q мг/мин оценивалась по массе покрытия, наносимого на упрочняемую поверхность в единицу времени. Измерения массы образцов производились до и после упрочнения на лабораторных весах ВЛА-200-2М с точностью до 0,001 г. Значение показателей, полученных для каждого из условий МЭУ, определялось как среднее арифметическое результатов замеров на пяти образцах.

Постоянными приняты факторы: размер частиц композиционного порошка $\Delta=240{\text -}320$ мкм; величина рабочего зазора $\delta=1{,}0$ мм; расход рабочей жидкости (СОЖ – 5 %-й раствор эмульсола Э2 в воде) равен $0{,}4{\cdot}10^{-3}$ дм³/(с·мм²). Исходя из априорной информации, в качестве независимых переменных приняты технологические режимы, которые оказывают наибольшее влияние на производительность МЭУ. Их перечень с указанием средств измерения и точности фиксирования приведен в таблице 1.

Величину тока в катушках электромагнитов I_{κ} , обеспечивающего заданное значение магнитной индукции B, определяли экспериментально.

Структура матрицы ЦКРУП была следующей:

- полуреплика факторного эксперимента с определяющим контрастом 1 = $-X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 \cdot X_5$;
 - -10 «звездных» точек с длиной плеча k=2;
 - 6 точек в центре плана;
 - число опытов ядра плана 16.

Общее количество опытов в плане – 32.

Уровень технологических параметров и условия проведения опытов приведены в таблице 2.

Униформность плана обеспечивается соблюдением равенства числа опытов в центре плана

$$n_{_{0}} = \lambda (N_{_{1}} + 4\sqrt{N_{_{1}}} + 4) - N_{_{1}} - 2k$$
,

где N_1 – число опытов ядра плана;

 λ — коэффициент униформности при числе факторов k=5 равен 0,8918.

При этом дисперсия предсказания сравнительно мало изменяется в радиусе от центра плана до $X_i = \pm 1$.

Чтобы ротатабельный план был ортогональным, число опытов в центре плана должно соответствовать равенству согласно формуле

$$n_0 = 4\sqrt{N_1} - 2k + 4$$
.

Обработка результатов экспериментов, полученных по матрице ЦКРУП второго порядка, с использованием стандартного пакета Excel Microsoft Office, позволила получить математико-статистическую модель, определяющую зависимость производительности Y процесса МЭУ Q мг/мин от технологических режимов (1)

$$Y = 224,64 + 2,62X_1 + 1,68X_2 + 1,07X_3 + 0,48X_4 + 1,58X_5 + 1,65X_1X_2 - 1,2X_1X_3 + 1,62X_1X_4 - 1,94X_1X_5 - 2,26X_2X_3 - 0,11X_2X_4^* - 2,36X_2X_5 - 0,04X_3X_4^* + 2,26X_3X_5 + 0,16X_4X_5^* - 1,38X_1^2 - 0,60X_2^2 - 0,94X_3^2 - 0,30X_4^2 - 0,47X_5^2$$
(1)

Выявлено, что не все коэффициенты уравнения регрессии (1) значимы с 95 %-й доверительной вероятностью по критерию Стьюдента (* – коэффициент не значим). Установлено, что математикостатистические модели адекватны при 5 %-м уровне значимости по критерию Фишера.

Полученные математико-статистические модели процесса МЭУ позволяют установить характер и степень влияния технологических факторов на производительность МЭУ при нанесении упрочняющих покрытий и диапазоны рациональных режимов упрочнения. Степень влияния технологических режимов на

 Таблица 1. Перечень исследуемых технологических параметров и средств их измерения

COCACID III IISMC COIM						
Технологические параметры						
наименование	обозначения и единицы измерения	Методы регулирования	Средства измерения	Точность фиксирования		
Величина магнит- ной индукции в ра- бочем зазоре	<i>В</i> , Тл	Величиной тока в катушках электромагнитов	Измеритель магнит- ной индукции ИМИ-1	±1,5 %		
Плотность разрядного тока	<i>i,</i> А/мм ²	Изменение параметров электрических импульсов инверторного сварочного источника	Источник технологического тока Invertec V270 T	±2 %		
Удельная длитель- ность упрочнения	т, с/см ²	Продольной подачей полюсного наконечника электромагнита относительно упрочняемой поверхности	Секундомер	±0,05 c/cm ²		
Окружная скорость заготовки детали	V, м/с	Настройкой токарно- винторезного станка мод. 1E61M	Механический тахо- метр MVR RY-850	±0,02 %		
Подача ферромаг- нитного порошка	<i>q</i> , г/с	Изменением величины напряжения электродвигателя вибратора	Весы аналитические ВЛА-200-2М	±1мг/с		



Таблица 2. Условия проведения опытов

Tuomiqu 2. v chobin hpobegenin onbitob						
	Технологические параметры					
Уровень параметров	<i>В</i> , Тл	<i>i,</i> A/мм ²	<i>т,</i> с/см ²	V, м/с	<i>q</i> , г/с	
	<i>X</i> ₁	<i>X</i> ₂	<i>X</i> ₃	X_4	<i>X</i> ₅	
Основной (0)	0,60	1,80	2,50	0,06	0,17	
Верхний (+1)	0,75	2,20	3,00	0,08	0,20	
Нижний (-1)	0,45	1,40	2,00	0,04	0,14	
Звездная точка (+α) Звездная точка (-α) Интервалы варьиро-	0,90 0,30	2,60 1,00	3,50 1,50	0,10 0,02	0,23 0,11	
вания: основной по α	0,15 0,30	0,40 0,80	0,50 1,00	0,02 0,04	0,03 0,06	

производительность МЭУ представлена в таблице 3. Анализ математико-статистической модели (1) и данных таблицы 3 показывает, что в порядке убывания значимости влияния на исследуемый параметр технологические режимы можно расположить в следующий ряд: $Q: B \to i \to \tau \to q \to V$;

Таблица 3. Влияние технологических режимов на производительность МЭУ

режимов на производи	10012110012	
_	Степень влияния	
Технологические	технологических	
режимы	режимов на произво-	
	дительность, Q %	
Величина магнитной индукции в рабочем зазоре. В Тл	41,55	
Плотность разрядного тока, і	10.74	
A/mm ²	18,74	
Удельная длитель ность	17,91	
упрочнения, <i>т</i> с/см ²	17,01	
Окружная скорость заготовки,	5.23	
V m/c	5,23	
Подача ферромагнитного	16.57	
порошка, <i>q</i> г/с	10,57	

На производительность процесса МЭУ наибольшее влияние оказывают величины магнитной индукции B, затем в порядке убывания следуют плотность разрядного тока i, удельная длительность упрочнения τ , подача ферромагнитного порошка q и окружная скорость заготовки V.

Для анализа влияния величины магнитной индукции B на производительность процесса Q стабилизируем в уравнении (1) факторы X_2 , X_3 , X_4 , X_5 на нулевом уровне. В результате получим зависимость

$$Y = 224,64 + 2,62X_1 - 1,38X_1^2. (2)$$

Графическая интерпретация зависимости (2) представлена на рис. 2.

С увеличением магнитной индукции в рабочем зазоре масса наносимого материала ФМП увеличивается до определенного значения. Такой характер зависимости (2) можно объяснить тем, что величина магнитной индукции влияет не только на интенсивность образования цепочек из зерен упрочняющего ферромагнитного порошка, но и на электрическую проводимость образовавшихся из зерен токопроводящих цепочек.

При прохождении электрического тока по образовавшимся цепочкам последние можно рассматривать как проводники с током, находящиеся во внешнем магнитном поле. На элемент цепочки длиной Δl в рабочем зазоре действует сила

$$\Delta F = I \cdot B \cdot \Delta l$$

где I – величина тока в цепочке, A;

B- величина магнитной индукции в рабочем зазоре, Тл.

Если цепочка располагается строго вдоль магнитных силовых линий, то сила ΔF равна нулю. Однако в реальном процессе в рабочем зазоре одновременно формируется множество токопроводимостью, и некоторые из них могут иметь направление, не параллельное магнитным силовым линиям. В таком случае на зерна ФМП действуют силы ΔF и силы взаимодействия токов в цепочках, которые с увеличением магнитной индукции способны разорвать цепочку до момента расплавления зерен. Этим можно объяснить наличие экстремума в зависимостях (3) и (4). Область рационального значения величин магнитной индукции в рабочем зазоре находится в пределах: 0.6 < B < 0.8 Тл.

Для анализа влияния плотности разрядного тока i на производительность процесса Q стабилизируем в уравнении (1) факторы X_1 , X_3 , X_4 , X_5 на нулевом уровне. В результате получим зависимость

$$Y = 224,64 + 1,68X_2 - 0,60X_2^2, (3)$$

графическое представление которой показано на рис. 3.

Существенное влияние на производительность Q процесса оказывает плотность разрядного тока i. При увеличении плотности разрядного тока до 2,4 А/мм²

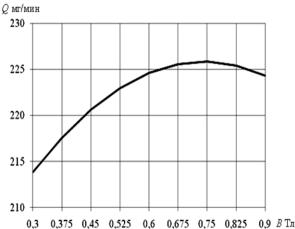


Рис. 2. Зависимость производительности Q (мг/мин) МЭУ от величины магнитной индукции В (Тл)



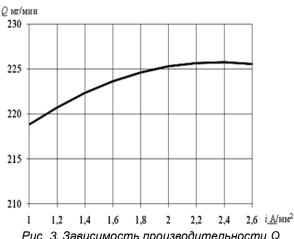


Рис. 3. Зависимость производительности Q (мг/мин) МЭУ от плотности разрядного тока і (A/MM^2)

происходит преобразование электрической энергии в тепловую и обеспечивается интенсивный нагрев и осаждение на упрочняемой поверхности материала зерен ферромагнитного порошка, расположенных в цепочках-микроэлектродах. В результате возрастает производительность процесса. Вместе с тем, при превышении максимального значения плотности тока (более 2,4 А/мм²), производительность снижается, так как согласно источнику [9], возрастает вероятность возникновения электрического разряда у поверхности полюсного наконечника по причине увеличения коэффициента передачи энергии. Область рационального значения плотности разрядного тока i (рис. 3) находится в пределах 2,1 < i < 2,5 A/мм².

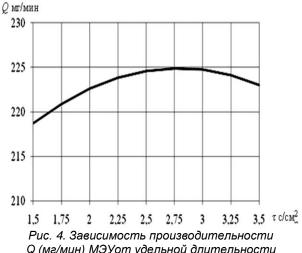
Стабилизируя в уравнении (1) факторы X_1, X_2, X_4 , X_5 на нулевом уровне, получим зависимость (4) производительности О процесса от удельной длительности упрочнения т, графическая интерпретация которой представлена на рис. 4.

$$Y = 224,64 + 1,07X_3 - 0.94X_3^2. (4)$$

С увеличением времени упрочнения производительность МЭУ повышается, достигает максимального значения, затем уменьшается (рис. 4). Это уменьшение вызвано тем, что процесс МЭУ одновременно сопровождается двумя явлениями: нанесением покрытия и его эрозией. Масса наносимого покрытия в каждый момент времени зависит от того, какое явление превалирует. Из рис. 4 видно, что на восходящей линии зависимости превалирует нанесение покрытия, а на нисходящей - явление эрозии превалирует над нанесением покрытия. Из полученных данных можно сделать вывод, что МЭУ следует вести с удельной длительностью упрочнения τ , не превышающей 2,8 с/см².

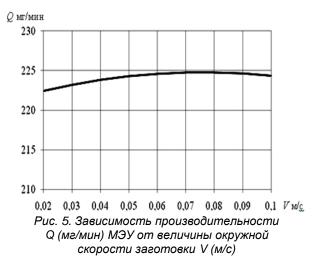
Если в (1) факторы X_1 , X_2 , X_3 и X_5 стабилизировать на нулевом уровне, то получим зависимость производительности Q от окружной скорости заготовки V

$$Y = 224,64 + 0,48X_4 - 0,30X_4^2. (5)$$



Q (мг/мин) МЭУот удельной длительности упрочнения τ (c/c m^2)

Из анализа зависимости (5) следует (рис. 5), что окружная скорость заготовки не оказывает существенного влияния на производительность МЭУ. Функциональное назначение этого фактора состоит в подводе к рабочей зоне новых участков упрочняемой поверхности. Однако стохастическое расположение вкраплений материала порошка на упрочняемой поверхности обуславливает необходимость повторного подвода одних и тех же участков. Однако при этом с увеличением скорости вращения заготовки часть зерен ФМП уносится из рабочего зазора до возникновения электрического разряда. Это обусловлено увеличением силы трения зерен ФМП при их контакте с образовавшимися на поверхности неровностями в виде выступающих вкраплений металла порошка. Область рационального значения величины окружной скорости заготовки V (рис. 5) находится в пределах 0.06 < V < 0.09 м/с.



Стабилизируя в уравнении (1) факторы X_1, X_2, X_3 и X_4 на нулевом уровне, получим зависимости производительности Q от подачи ферромагнитного порошка в рабочий зазор q:



$$Y = 224,64 + 1,58X_5 - 0,47X_5^2. (6)$$

Графическое представление зависимости (6) показано на рис. 6.

Анализируя зависимость (рис. 6), можно сделать вывод, что увеличение подачи ферромагнитного порошка приводит к большему количеству образовавшихся в рабочем зазоре токопроводящих цепочек. Это повышает производительность МЭУ. Однако экспериментально установлено, что при увеличении подачи порошка свыше 0,21 г/с количество токопроводящих цепочек сильно возрастает. Однако при этом электрическая проводимость рабочего зазора возрастает, и появляется опасность возникновения короткого замыкания межэлектродного промежутка и прерывания процесса МЭУ. Поэтому величина подачи порошка не должна превышать 0,21 г/с.

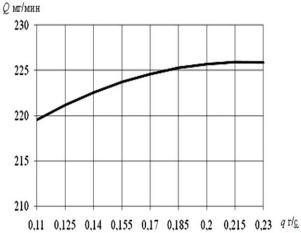


Рис. 6. Зависимость производительности Q (мг/мин) МЭУ от подачи ферромагнитного порошка в рабочий зазор q (г/с)

Заключение

Статистический анализ результатов проведенных многофакторных экспериментальных исследований, полученных при магнитно-электрическом упрочнении цилиндрических поверхностей деталей из стали 30 XFC с использованием композиционного ферромагнитного порошка ФБХ-6-2, показывает, что из исследованных технологических режимов наибольшее влияние на производительность магнитноэлектрического упрочнения оказывает величина магнитной индукции (B, Tл) в рабочем зазоре (около 42%). Затем следуют величины плотности (i, A/mm^2) разрядного тока (около 19%) и подачи (q, r/c) ферромагнитного порошка (около 16%). Наименьшее влияние (около 5%) на производительность магнитно-

электрического упрочнения оказывает окружная скорость заготовки $(V, \Gamma/c)$.

Проведенные исследования позволили определить следующие рациональные диапазоны величин технологических режимов: магнитной индукции 0,6 < B < 0,8 Тл; плотности разрядного тока 2,1 < i < 2,5 А/мм²; удельной длительности упрочнения $2,3 < \tau < 2,8$ с/см²; окружной скорости заготовки 0,06 < V < 0,09 м/с; подачи ферромагнитного порошка 0,18 < q < 0,21 г/с.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Миклуш, В.П. Организация технического сервиса в агропромышленном комплексе / В.П. Миклуш, А.С. Сайганов. Минск: ИВЦ Минфина, 2014. 607 с.
- 2. Акулович, Л.М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л. М. Акулович, А.В. Миранович. Минск: БГАТУ, 2016. 236 с.
- 3. Морунов, И.В. Применение лазерной наплавки для упрочнения и восстановления деталей машиностроения / И.В. Морунов, С.Е. Крылова // Материалы Всероссийской научно-методической конференции. Оренбург: ОГУ, 2017. С. 159-162.
- 4. Алифанов, А.В. Магнитно-импульсная упрочняющая обработка металлических изделий / А.В. Алифанов // Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, инструмента и технологической оснастки: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург, 10-13 апр. 2007. Ч. 2. С. 9-15.
- 5. Малыгин, Б.В. Магнитное упрочнение инструментов и деталей машин / Б.В. Малыгин. М.: Машиностроение, 1998. 130 с.
- 6. Лавров, В.В. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента / В.В. Лавров, Н.А. Спирин. — Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. — 257 с.
- 7. Аверченков, В.И. Основы математического моделирования технических систем: учеб. пос./ В.И. Аверченков, В.П. Федоров, М.Л. Хейфец. Брянск: БГТУ, 2004. 271 с.
- 8. Хейфец, М.Л. Математическое моделирование технологических процессов / М.Л. Хейфец. Новополоцк: ПГУ, 1999. 104 с.
- 9. Ракомсин, А.П. Упрочнение и восстановление изделий в электромагнитном поле / А.П. Ракомсин; под общ. ред. П.А. Витязя. Минск: Парадокс, 2000. 201 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 11.12.2019

Энергетика Транспорт

УДК 621.313:333

РАСЧЕТ УЩЕРБА ОТ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ

Н.Г. Королевич,

зав. каф. экономики и организации предприятий АПК БГАТУ, канд. экон. наук, доцент

Г.И. Янукович,

профессор каф. электроснабжения БГАТУ, канд. техн. наук, профессор

Е.А. Тюнина,

ст. преподаватель каф. электроснабжения БГАТУ

В статье приведена методика расчета ущерба в асинхронных электродвигателях от отклонения напряжения. Показано влияние данных отклонений напряжения на величину ущерба в асинхронном электродвигателе.

Ключевые слова: электроэнергия, ущерб, отклонение напряжения, электродвигатели.

The article presents methods of damage calculations in induction motors from voltage deviations. The effect of these voltage deviations on the damage value in the induction motor is shown.

Keywords: electricity, damage, voltage deviation, electric motor.

Введение

Одним из показателей качества электрической энергии является отклонение напряжения от номинального значения. Ранее существовавший ГОСТ 13109-97 допускал отклонение напряжения у потребителей в пределах ± 5 %. Вновь принятый ГОСТ 32144-2013, который вступил в действие с 1 апреля 2016 года, допускает отклонение напряжения в пределах ± 10 % [1].

Основная часть

Каждый асинхронный электродвигатель проектируется и изготавливается для работы в определенном режиме, который называется номинальным. Количественные значения параметров машины в номинальном режиме называются номинальными параметрами. Наиболее важными из них являются: номинальная мощность, номинальное напряжение, номинальный ток, номинальный режим работы, номинальный КПД, номинальная частота вращения, номинальная частота тока и другие [2].

Работа асинхронного электродвигателя в неноминальных режимах имеет свои особенности. В частности, при снижении напряжения питания происходят следующие взаимосвязанные процессы:

- уменьшается намагничивающий ток и магнитные потери двигателя;
- значительно уменьшается электромагнитный момент пропорционально изменению напряжения во второй степени;
- при неизменном моменте сопротивления на валу снижается частота вращения ротора, и уменьшаются механические потери в двигателе, а скольжение возрастает;

- вследствие увеличения частоты перемагничивания ротора возрастает ЭДС, наводимая в его обмотке вращающимся с синхронной частотой магнитным полем, что приводит к увеличению тока ротора и электрических потерь в роторе;
- увеличение тока ротора приводит к увеличению его магнитного поля, которое оказывает размагничивающее действие и уменьшает наводимую в обмотке статора ЭДС, возрастает ток статора и электрические потери его обмотки.

При небольшом увеличении напряжения (до 10 % от номинального) протекают аналогичные физические процессы противоположной направленности. При более значительном увеличении напряжения происходит насыщение магнитной системы двигателя. Значительно увеличивается намагничивающий ток. Ток статора начинает расти. Угол увеличивается, соѕ φ уменьшается. Потери в стали и в обмотках увеличиваются, следовательно КПД уменьшается. Частота вращения увеличивается.

Все вышеперечисленные процессы приводят к экономическому ущербу при отклонениях напряжения на зажимах электродвигателя от номинального. У асинхронных двигателей составляющие ущерба связываются с дополнительными потерями активной мощности, дополнительным потреблением реактивной мощности, сокращением срока службы изоляции, снижением производительности механизмов. Значение ущерба также зависит от коэффициента загрузки двигателя [3]. При средних значениях коэффициента загрузки двигателя (k_3 =0,7 – 0,8) дополнительные потери активной мощности будут иметь положительное значение, как при положительных, так и отрицательных отклонениях напряжения [3].



Это происходит потому, что при больших загрузках двигателя основное значение имеют нагрузочные потери. При повышенном напряжении они уменьшаются в большей степени, чем увеличиваются потери холостого хода. Поэтому при повышении напряжения общие потери в машине при такой загрузке уменьшаются. При малых загрузках двигателя (k_3 =0,5 и ниже) большее значение приобретают потери холостого хода [3]. При снижении напряжения они снижаются в большей степени, чем возрастают нагрузочные потери. Поэтому при снижении напряжения снижаются и общие потери в машине. При средних коэффициентах загрузки соотношение потерь холостого хода и нагрузочных потерь такое, что при повышении напряжения или его понижении, потери в машине возрастают [3].

На основании анализа литературных источников [2, 4] ущерб в асинхронных электродвигателях можно определить как:

$$Y_{\rm JB} = Y_{\rm aJ} + Y_{\rm pJ} + Y_{\rm cB} + Y_{\rm cc} , \qquad (1)$$

где ${\rm Y}_{\rm ag}$ — ущерб от изменения потерь активной мощности двигателя, руб.;

 ${\rm Y}_{\rm pg}$ – ущерб от изменения потребления реактивной мощности, руб.;

 ${\rm Y_{cв}}$ — ущерб от изменения скорости вращения двигателя, что связано с изменением производительности технологического оборудования, руб. Дополнительные потери активной мощности, вызванные отклонениями напряжения [3]:

$$\delta P = \Delta P_U - \Delta P, \tag{2}$$

где ΔP — потери активной мощности при напряжении, равном номинальному, кВт.

 ΔP_U – потери активной мощности при напряжении, отличном от номинального, кВт;

Зависимость потерь активной мощности от напряжения с достаточной для практики точностью можно выразить формулой [3]:

$$\Delta P_U \approx \Delta P_0 k_{\rm H}^2 + \frac{\Delta P_{\rm HH}}{k_{\rm H}^2} k_3^2 \,, \tag{3}$$

где ΔP_0 – активные потери холостого хода электродвигателя, кВт;

 $\Delta P_{\text{нн}}$ – номинальные нагрузочные потери двигателя, кВт;

$$k_{_{\mathrm{H}}}=\frac{U}{U_{_{\mathrm{H}}}}$$
 – коэффициент изменения напряжения;

U – напряжение на зажимах двигателя, отличное от номинального, кВ;

 $U_{\rm H}$ – номинальное напряжение на зажимах двигателя, кB;

 k_3 — коэффициент загрузки двигателя. При расчетах можно принять усредненное значение, равное 0,75.

Потери активной мощности при номинальном напряжении определяются по известной формуле [3]:

$$\Delta P = P_{\text{\tiny HOM}} \frac{1 - \eta_{\text{\tiny HOM}}}{\eta_{\text{\tiny HOM}} (1 - \alpha)},\tag{4}$$

где $P_{\text{ном}}$ — номинальная мощность электродвигателя, кВт;

 $\eta_{\text{ном}}$ — коэффициент полезной мощности электродвигателя (к.п.д.);

 α — коэффициент, равный отношению постоянных потерь мощности к переменным. Для асинхронных электродвигателей общего назначения

$$\alpha = \frac{\Delta Px}{\Delta P\kappa} = 0.5 - 0.7.$$

Потери холостого хода электродвигателя определяются по формуле [3]:

$$\Delta P_{\rm r} = \sqrt{3U_0} I_0 \cos \varphi_0 \,, \tag{5}$$

где U_0 , I_0 , $\cos \varphi_0$ – параметры двигателя в режиме холостого хода, кВ, кА.

Ущерб от изменения потребления активной мощности двигателем определяется по формуле [4]:

$$\mathbf{y}_{\mathrm{a}\pi} = C_1 \cdot \delta P \cdot T,\tag{6}$$

где C_1 – тариф на электроэнергию, руб/(кВ·ч);

 δP – дополнительные потери активной мощности, кВт;

T – время работы электродвигателя, ч.

Потребление реактивной мощности двигателем определяется аналогично, как для активной мощности [4]:

$$\Delta Q = \Delta Q_0 k_{\rm H}^2 + \frac{\Delta Q_{\rm H}}{k_{\rm H}^2} k_{_3}^2 \,, \tag{7}$$

где ΔQ_0 – реактивные потери холостого хода электродвигателя, квар;

 $\Delta Q_{_{\mathrm{H}}}$ – дополнительная реактивная мощность рассеивания, квар.

Дополнительное потребление реактивной мощности, вызванное отклонениями напряжения, можно определить [4]:

$$\delta Q = \Delta Q_{U} - \Delta Q, \qquad (8)$$

где ΔQ — потребление реактивной мощности электродвигателем при напряжении, равном номинальному, квар;

 $\Delta Q_{\!\scriptscriptstyle U}$ – потребление реактивной мощности электродвигателем при напряжении, отличном от номинального, квар.

На практике установлено, что для электродвигателей, мощностью от 2 до 100 кВт, изменение напряжения на 1 % вызывает изменение потребляемой реактивной мощности на 3 % [3].

Ущерб от изменения потребляемой реактивной мощности асинхронного электродвигателя определяется по формуле [3]:

$$\mathbf{y}_{\mathrm{p}\mathrm{g}} = \delta Q \cdot \mathbf{3}_{_{\mathrm{VK}}} \,, \tag{9}$$

где 3_{y_K} –удельные затраты реактивной мощности конденсаторов, руб/квар.

Удельные затраты на компенсацию реактивной мощности можно определить по формуле [5]:

$$3_{yk} = EK_{yk} + \Delta P_{yk} c_1 T, \qquad (10)$$

где E = 0,22 – суммарный коэффициент отчислений от капитальных затрат для конденсаторов;



 $K_{\rm yk} = 30$ руб/квар – капитальные затраты на компенсацию реактивной мощности;

 $\Delta P_{y\kappa} = 0{,}004~{\rm kBr/kbap} -$ потери активной мощности на компенсацию реактивной мощности.

Если двигатель работает при пониженном напряжении продолжительное время, происходит ускоренный износ изоляции из-за ее перегрева. А это приводит к снижению срока службы двигателя. Приближенно срок службы изоляции Т можно определить по формуле [6]:

$$T = \frac{T_{\text{\tiny HOM}}}{R} \,, \tag{11}$$

где $T_{\text{ном}}$ – срок службы изоляции двигателя при номинальном напряжении и номинальной нагрузке, ч;

R — коэффициент, зависящий от значения и знака отклонения напряжения, а также от коэффициента загрузки двигателя [6].

Так как изменение срока службы двигателей при отклонениях напряжения, не превышающих ± 10 % от номинального, незначительно, то ущерб от сокращения срока службы не учитываем.

При изменении частоты вращения в самом двигателе незначительно изменяются только механические потери, но при работе двигателя в нерегулируемых электроприводах, может возникать дополнительный технологический ущерб, связанный с изменением производительности механизмов [7]

$$\mathbf{Y}_{\mathrm{CB}} = 2\mathbf{Y}_{\mathrm{V}\mathrm{J}} \mathbf{W} \mathbf{S}_{\mathrm{HOM}} \delta U, \tag{12}$$

где Y_{yg} – удельный ущерб от отклонения напряжения, руб/(кВт·ч) [6];

W – энергия, потребляемая двигателем, кBт·ч;

 $S_{\text{ном}}$ — номинальное скольжение электродвигателя, %;

 δU – отклонение напряжения от номинального, кВ. По вышеприведенной методике определим ущерб от отклонения напряжения для электродвигателя мощностью 2,2 кВт ($\tilde{\eta}=83.0$ %, $cos\phi=0.87$, номинальное скольжение $s_{\text{ном}}=5$ %,) и электродвигателя мощностью 7,5 кВт ($\eta_{\text{ном}}=87.5$ %, $cos\phi=0.88$, номинальное скольжение $s_{\text{ном}}=3.5$ %,). Предположим, что двигатели установлены в животноводческом комплексе по производству молока. Продолжительность работы составляет – 800 часов в год. По ранее произведенным расчетам [8] $V_{yg}=6.7$ руб/кВт·ч, тариф на электроэнергию $C_1=0.2$ руб/кВт·ч. Результаты расчета ущерба от отклонения напряжения в пределах ± 10 % от номинального приведены в таблице 1.

Таблица 1. Ущерб при работе электродвигателей мощностью 2,2 кВт и 7,5 кВт на напряжении, отличном от номинального, в пределах ± 10 %

δU, %	-10	-5	+5	+10
У _{дв} , руб/год	-117,30	-59,18	60,06	120,72
У _{дв} , руб/год	-280,14	-141,17	144,20	289,57

Как показал расчет, с ростом мощности электродвигателя растут величины составляющих потерь электроэнергии. При этом ущерб от изменения потребления активной мощности увеличивается, как при положительных, так и отрицательных отклонениях напряжения. Ущерб от изменения потребления реактивной мощности увеличивается с ростом ее потребления и уменьшается со снижением ее потребления.

Заключение

- 1. При отклонении напряжения от номинального в асинхронных электродвигателях возникает ущерб от изменения потребления активной и реактивной мощности, от изменения срока службы изоляции и изменения частоты вращения. При работе в нерегулируемых электроприводах может возникать дополнительный технологический ущерб, связанный с изменением производительности механизмов.
- 2. С ростом мощности электродвигателя растут дополнительные потери энергии и величина дополнительного реактивного потребления, как следствие, возрастает ущерб от отклонения напряжения. Так, для двигателя мощностью 7,5 кВт при напряжении выше номинального на 10 % общий ущерб составил 289,57 руб., в то время как для двигателя мощностью 2,2 кВт он был 120,72 руб.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 32144-2013. М.: Стандартинформ, 2014.
- 2. Вольдек, А.И. Электрические машины. Машины переменного тока: учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» и «Электроэнергетика»/ А.И. Вольдек, В.В. Попов. Санкт-Петербург: Питер, 2010. 350 с.
- 3. Жежеленко, И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко. М.: Энергоатомиздат, 2005. 261 с.
- 4. Перова, М.Б. Управление качеством сельского электроснабжения / М.Б. Перова, В.М. Санько; под ред. В.А. Воробьева. Вологда: Легия, 1999. 214 с.
- 5. Радкевич, В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пос. / В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова. Минск: ИВЦ Минфина, 2015. 589 с.
- 6. Суднова, В.В. Качество электрической энергии / В.В. Суднова. М.: Энергосервис, $2000.-88\ c.$
- 7. Зельцбург, Л.М. Экономика электроснабжения промышленных предприятий / Л.М. Зельцбург. М.: Высшая школа, 1973. 272 с.
- 8. Королевич, Н.Г. Теоретические основы качества электроснабжения сельскохозяйственного производства и методология его повышения / Н.Г. Королевич, Г.И. Янукович. Минск: ИВЦ Минфина, 2019. 142 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 12.11.2019

УДК 621.313.333

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С БЕЗДАТЧИКОВЫМ ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Е.М. Прищепова,

ст. преподаватель каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ

В современных частотно-регулируемых электроприводах используются принципы блочно-модульного построения по типовым функциональным схемам. Поэтому проектирование систем автоматизированного электропривода сводится к определению его функциональной схемы и синтезу параметров регуляторов. В данной статье получены выражения, позволяющие определить параметры настройки регуляторов тока, потокосцепления и скорости, а также передаточные функции, обеспечивающие проведение оценки точности поддержания скорости электропривода в установившемся режиме, и качество переходных процессов при набросе или сбросе нагрузки.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, передаточные функции, параметры настройки, точность регулирования, анализ качества переходных процессов.

The principles of block-modular construction according to standard functional schemes are used in modern variable-frequency electric drives. Therefore, the design of automated electric drive systems is restricted to the determination of its functional scheme and the synthesis of the controller parameters. The article presents the data allowing to determine current regulator settings, flux linkage, and speed, as well as transfer functions providing assessment of the accuracy of electric drive speed holding in the steady state mode, and the quality of transients during load rise or load dump.

Keywords: variable-frequency electric drive, transfer functions, instrument settings, control accuracy, quality transients analysis.

Введение

В современных частотно-регулируемых асинхронных электроприводах (ЭП) используются, как правило, принципы блочно-модульного построения по типовым функциональным схемам. При этом способ управления ЭП определяется в основном требованиями к его статическим и динамическим характеристикам, а также условиями эксплуатации ЭП. Статические характеристики определяются диапазоном регулирования скорости и механическими характеристиками рабочей машины в этом диапазоне, а динамические характеристики определяются в основном набросом или сбросом нагрузки. Поэтому проектирование систем автоматизированного ЭП сводится в основном к определению ее структуры или функциональной схемы ЭП и синтезу параметров регуляторов, при условии обеспечения необходимой точности поддержания заданной координаты в установившемся режиме и качества переходных процессов двигателя или рабочей машины.

Целью работы является разработка методики оптимизации параметров настройки контуров регулирования тока, потокосцепления и скорости разработанного частотно-регулируемого ЭП.

Основная часть

При анализе технологического процесса рабочей машины (вальцовой плющилки-измельчителя зерна),

автором статьи был выявлен диапазон регулирования ее угловой скорости, механические характеристики и условия работы.

В результате было определено, что все эти требования обеспечит частотно-регулируемый асинхронный ЭП с бездатчиковым векторным управлением, то есть привод, обеспечивающий обратную связь по угловой скорости, но скорость будет вычисляться по мгновенным значениям тока и напряжения статора асинхронного двигателя (АД).

На базе наиболее широко распространенного ЭП с векторным управлением фирмы Siemens типа «Трансвектор», описанного в работах [1-3], была разработана структурная схема частотно-регулируемого асинхронного ЭП с бездатчиковым векторным управлением и ориентацией по вектору потокосцепления ротора — двухкоординатная, с двумя внешними контурами регулирования потокосцепления и скорости, и двумя внутренними подчиненными контурами тока (рис. 1).

На рисунке 1 приняты следующие обозначения передаточных функций и параметров:

 $W_{p\psi}(p)$ — передаточная функция регулятора потокосцепления;

 $W_{pc}(p)$ — передаточная функция регулятора скорости;

 $W_{pT}(p)$ — передаточная функция регулятора тока;



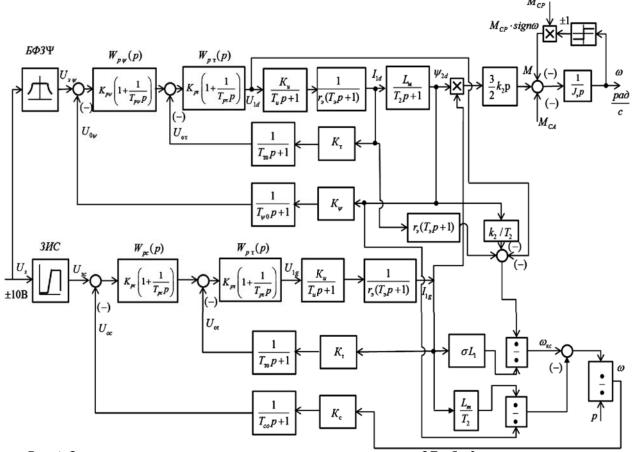


Рис. 1. Структурная схема частотно-регулируемого асинхронного ЭП с бездатчиковым векторным управлением и ориентацией по вектору потокосцепления ротора – двухкоординатная, с двумя внешними контурами регулирования потокосцепления и скорости, и двумя внутренними подчиненными контурами тока

$$K_{_{_{\rm I\! I}}} = rac{\sqrt{2}U_{_{_{\rm I\! I\! I}}}}{U_{_{_{_{\!{
m y}_{
m I}}},{
m Make}}}}$$
 — коэффициент усиления преоб-

разователя частоты; U_H , $U_{VII.Makc}$ – номинальное фазное напряжение сети и максимальное значение напряжения управления, В. Принимаем U_{VII.макс}=10 В;

$$T_{_{\rm II}} = \frac{0.5}{f_{_{\rm IIIMM}}}$$
 — эквивалентная постоянная времени

преобразователя частоты, с;

 $f_{\mbox{\tiny IIIИM}}$ – несущая частота инвертора, Γ ц;

$$K_{_{\Psi}} = rac{U_{_{_{3}}}}{\Psi_{_{2H}}} -$$
коэффициент обратной связи по

потокосцеплению, В/Вб. Принимаем U_{3 уг макс}=10 В;

окосцеплению, в/во. Принимаем
$$U_{3\psi,\text{макс}}=10$$
 В;
$$\psi_{2\text{H}} = \frac{M_{_{\rm H}}}{\frac{3}{2} K_2 p \sqrt{2} \sqrt{I_{1\text{H}}^2 - I_0^2}} - \text{значение номи-}$$

нального потокосцепления АД, Вб;

 M_{H} , I_{1H} – номинальные момент и ток АД, Н м, А;

 I_0 – ток холостого хода АД, А; р – количество пар полюсов АД;

$$T_{\psi 0} = \frac{T_{c\psi}}{3} - \text{постоянная времени запаздывания}$$

в цепи обратной связи по потокосцеплению, с;

$$T_{c\psi} = (16 \cdot \frac{1}{f_{\text{mим}}}) n_{\psi}$$
 – период расчета потокос-

цепления ротора АД, с.

Принимаем количество расчетов (измерений) $n_w \ge 3$; К_с - коэффициент обратной связи по скорости,

$$T_{co} = \frac{T_{cc}}{3}$$
 — постоянная времени запаздывания

в цепи обратной связи по скорости, с;

$$T_{cc} = (16 \cdot \frac{1}{f_{\text{mим}}}) n_c$$
 – период расчета (измере-

ния) скорости, с. Принимаем количество расчетов (измерений) $n_c \ge 3$;



$${
m K}_{
m T} = rac{{
m U}_{_{3~{
m T.Make}}}}{{
m I}_{_{1~{
m Make}}}} - {
m \kappa}$$
оэффициент обратной связи по

току, B/A. Принимаем $U_{3 \text{ т.макс}} = 10 \text{ B};$

$$I_{1 \text{ макс}} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{\text{эп макс}}^2 - I_0^2}$$
 , A — максимально

допустимое значение тока АД, А;

 $I_{_{\rm ЭП\ MAKC}}$ — максимально допустимый ток АД, соответствующий его максимально допустимому моменту нагрузки, А;

$$T_{\text{то}} = \frac{T_{\text{ст}}}{3} - \text{постоянная времени запаздывания}$$

в цепи обратной связи по току, с;

$$\mathbf{T}_{\mathrm{cr}} = \frac{1}{f_{\mathrm{minm}}} \cdot \mathbf{n}_{_{\mathrm{T}}}$$
 – период сглаживания результа-

та измерений тока, с.

Принимаем количество измерений $n_T = 8$.

Характерной особенностью частотно-регулируемых электроприводов переменного тока является относительно большая инерционность в цепях обратных связей контуров регулирования тока, потокосцепления и скорости.

Настройка параметров многоконтурной системы с подчиненным регулированием параметров достигается последовательной оптимизацией контуров, начиная с внутреннего, и заканчивая внешним. Под оптимизацией контуров понимают такую настройку контуров, которая наилучшим образом отвечает предъявленным к ним требованиям. К этим требованиям можно отнести два основных: обеспечение заданной точности в установившихся режимах и как можно быстрое и точное следование регулируемой величины за изменением ее задания, а также как можно меньшее отклонение регулируемой величины от заданной при воздействии на систему различных возмущений (изменений нагрузки, напряжения питающей сети). Отклонения регулируемой величины (угловой скорости) от заданного значения должны устраняться регулятором за кратчайшее время и с минимальным перерегулированием. В реальных же системах эти два основных требования вступают в противоречие, т.е. повышение быстродействия контура повышает перерегулирование регулируемой величины, и наоборот. Поэтому окончательное решение при настройке контура или всей системы ЭП будет компромиссным. В электроприводе принято, что технически оптимальной настройкой системы регулирования является такая, которая при возможных возмущениях обеспечивает близкий к монотонному апериодическому или периодический затухающий процесс регулируемой величины с числом периодов перерегулирования регулируемой величины 0,5...1.

В практике настройки систем ЭП в основном применяют два критерия оптимальной настройки контуров по управлению: модульный (технический), оптимум (МО) и симметричный оптимум (СО) [4-9].

Так как структурные схемы контуров токов с инерционной обратной связью и полной компенсацией внутренней отрицательной связи по ЭДС двигателя I_{1d} и I_{1g} в структурной схеме частотнорегулируемого ЭП идентичны, то проведем оптимизацию их настройки по одной и той же методике, предварительно изобразив структурную схему контура тока (рис. 2).

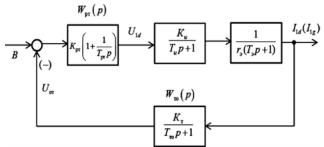


Рис. 2. Структурная схема контура тока с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором

Тогда передаточная функция разомкнутого контура тока рассматриваемой схемы (рис. 2) определяется следующим образом:

$$W_{\text{\tiny KT}}(p) = W_{\text{\tiny pT}}(p) \cdot \frac{K_{_{\text{\tiny H}}}}{T_{_{\text{\tiny H}}}p+1} \cdot \frac{1}{r_{_{9}}(T_{_{9}}p+1)} \cdot \frac{K_{_{\text{\tiny T}}}}{T_{_{79}}p+1}, \tag{1}$$

где r_3 — эквивалентное сопротивление АД, Ом; T_3 — эквивалентная электромагнитная постоянная времени АД, с.

Для упрощения процедуры оптимизации параметров настройки регуляторов тока понизим порядок передаточной функции контура тока. Для этого заменим инерционные звенья с малыми постоянными времени одним инерционным звеном с постоянной времени

$$T_{_{\rm MT}} = T_{_{\rm II}} + T_{_{\rm TO}}, \qquad (2)$$

и выражение (1) преобразуем к виду

$$W_{_{KT}}(p) = W_{_{pT}}(p) \cdot \frac{K_{_{B}}K_{_{T}}}{T_{_{MT}}p + 1} \cdot \frac{1/r_{_{9}}}{r_{_{9}}(T_{_{9}}p + 1)}. \quad (3)$$

Учитывая, что разомкнутый контур тока, настроенный на МО, должен иметь следующую передаточную функцию:

$$W_{_{MO}}(p) = \frac{1}{a_{_{\mu T}}T_{_{\mu T}}p(T_{_{\mu T}}p+1)}, \tag{4}$$

где $a_{\mu\tau}=1...6$ – коэффициент настройки на модульный оптимум контура тока;

 $a_{\mu r}$ =2 – стандартный коэффициент настройки на МО; $T_{\mu r}$ – малая постоянная времени настраиваемого контура тока, с.

Приравнивая правые части выражений передаточных функций (3) и (4) и решая полученное урав-



нение относительно передаточной функции регулятора тока, получим

$$W_{pT}(p) = \frac{\left(T_{_{MT}}p + 1\right)(T_{_{9}}p + 1)}{a_{_{\mu T}}T_{_{\mu T}}p(T_{_{\mu T}}p + 1) \cdot K_{_{_{\it I\! I}}} \cdot K_{_{_{\it T\! I}}} \cdot 1 / r_{_{\! 9}}} \,. \, (5)$$

Если принять равным $T_{\text{мт}} = T_{\mu\tau}$, то передаточная функция регулятора тока будет следующей:

$$W_{pT}(p) = \frac{T_{_{9}}p + 1}{a_{_{\mu T}}T_{_{MT}}p \cdot K_{_{\mu}} \cdot K_{_{T}} \cdot 1 / r_{_{9}}}.$$
 (6)

Разделив числитель уравнения (6) на его знаменатель, получим

$$W_{pr}(p) = K_{pr} + \frac{1}{T_{pr}p},$$
 (7)

где
$$K_{pr} = \frac{T_{_{9}}r_{_{9}}}{a_{_{_{\!\!M\!T}}}T_{_{_{\!\!M\!T}}}K_{_{_{\!\!M\!T}}}\cdot K_{_{_{\!\!T\!}}}}$$
 – коэффициент переда-

чи регулятора тока, о.е;

$$T_{pr} = rac{a_{\mu r} T_{MT} K_{\mu} \cdot K_{\tau}}{r_{_{_{_{3}}}}} - \text{постоянная времени ре-}$$

гулятора тока, с.

Таким образом, в результате преобразований получим, что при настройке контура тока на МО, регулятор тока будет пропорционально-интегрального типа с соответствующим коэффициентом передачи $K_{\rm pt}$ и постоянной времени интегрирования $T_{\rm pt}$.

Уравнение (6) можно преобразовать и к другому, наиболее часто используемому виду, разделив и умножив его знаменатель на постоянную времени Т_э:

$$W_{pT}(p) = \frac{(T_{3}p + 1)}{a_{\mu T}T_{MT} \cdot K_{\mu} \cdot K_{\tau} \cdot T_{3} / T_{3} \cdot 1 / T_{3} \cdot p}.$$

После преобразований

$$W_{pT}(p) = K_{pT} \frac{T_{pT}p + 1}{T_{pT}p} = K_{pT} \left(1 + \frac{1}{T_{pT}p}\right),$$
 (8)

где постоянная времени регулятора тока $T_{pr}=T_{\mathfrak{I}}$, а коэффициент его передачи K_{pr} остался прежним, как и в выражении (7).

Уравнения (7) и (8) идентичны, однако уравнение (8) в большей степени отражает суть проведенной оптимизации параметров регулятора тока, заключающейся в компенсации больших инерционностей объекта в контуре регулирования.

Из уравнения (8) следует, что в составе регулятора тока имеется звено $T_{pr}p+1=T_{_{9}}p+1$, которое компенсирует действие апериодического звена объекта управления (обмоток статора АД) $W_{_{05}}(p)=\frac{1}{T_{_{9}}p+1}$ с эквивалентной электромагнитной

постоянной времени обмоток статора Тэ, что и позво-

ляет добиться максимального быстродействия контура регулирования тока.

После определения передаточной функции регулятора тока, найдем передаточную функцию разомкнутого контура регулирования координат тока

$$\begin{split} W_{\text{pas.T}}(p) &= W_{\text{pT}}(p) \cdot \frac{K_{\text{M}}}{T_{\text{M}}p + 1} \cdot \frac{1}{r_{_{3}}(T_{_{3}}p + 1)} \cdot \\ &\cdot \frac{K_{_{T}}}{T_{_{T0}}p + 1} = \frac{T_{_{3}}r_{_{3}}}{a_{_{\mu T}}T_{_{MT}} \cdot K_{_{M}} \cdot K_{_{T}}} \cdot \frac{T_{_{3}}p + 1}{T_{_{3}}p} \cdot \frac{K_{_{M}}}{T_{_{M}}p + 1} \cdot \\ &\cdot \frac{1}{r_{_{3}}(T_{_{3}}p + 1)} \cdot \frac{K_{_{T}}}{T_{_{T0}}p + 1} = \\ &= \frac{1}{a_{_{\mu T}}T_{_{MT}}p(T_{_{M}}T_{_{T0}}p^{2} + (T_{_{M}} + T_{_{T0}})p + 1)} = \\ &= \frac{1}{a_{_{\mu T}}T_{_{MT}}T_{_{M}}T_{_{T0}}p^{3} + a_{_{\mu T}}T_{_{MT}}T_{_{MT}}p^{2} + a_{_{\mu T}}T_{_{MT}}p}. \end{split}$$

Затем передаточную функцию замкнутого контура по управлению для регулируемых координат тока

$$\begin{split} W_{_{3 \text{AM.T}}}(p) &= \frac{1}{W_{_{TO}}(p)} \cdot \frac{W_{_{p \text{A3.T}}}(p)}{1 + W_{_{p \text{A3.T}}}(p)} = \\ &= \frac{1}{\frac{K_{_{T}}}{T_{_{TO}}p + 1}} \cdot \frac{W_{_{p \text{A3.T}}}(p)}{1 + W_{_{p \text{A3.T}}}(p)} = \\ &= \frac{\frac{1}{K_{_{T}}}(T_{_{TO}}p + 1)}{\frac{1}{K_{_{T}}}(T_{_{TO}}p + 1)} = \\ &= \frac{\frac{1}{K_{_{T}}}(T_{_{TO}}p + 1)}{\frac{1}{K_{_{T}}}(T_{_{TO}}p + 1)} \approx \\ &\approx \frac{\frac{1}{K_{_{T}}}(T_{_{TO}}p + 1)}{\frac{1}{K_{_{T}}}(T_{_{TO}}p + 1)}, \end{split}$$

где $W_{\text{то}}(p)$ — передаточная функция обратной связи контура тока.

Настройка контура близка к настройке на МО системы 2-го порядка. Контур является астатичной системой 1-го порядка по управлению.

Контур потокосцепления также настраиваем на MO. При настройке на MO контура потокосцепления, внутренний оптимизированный контур тока можем представить звеном, имеющим передаточную функцию второго порядка, с малой некомпенсированной постоянной времени $T_{\rm ut}$:



$$W_{_{KT}}(p) = \frac{\frac{1}{K_{_{T}}}}{a_{_{\mu T}}T_{_{\mu T}}^{^{2}}p^{^{2}} + a_{_{\mu T}}T_{_{\mu T}}p + 1}.$$

Для упрощения решения задачи синтеза контура потокосцепления, понизим порядок передаточной функции подчиненного контура тока до передаточной функции 1-го порядка и это, согласно приведенным исследованиям [6], не скажется на точности решения.

$$W_{_{KT}}(p) = \frac{\frac{1}{K_{_{_{T}}}}}{a_{_{UT}}T_{_{UT}}p+1} = \frac{\frac{1}{K_{_{_{T}}}}}{T_{_{MT}}p+1},$$

где $T_{_{\text{MT}}} = a_{_{\text{HT}}} \cdot T_{_{\text{HT}}} = T_{_{\text{H}}} + T_{_{\text{TO}}}$ – малая постоянная времени оптимизированного контура тока, с.

В этом случае передаточная функция разомкнутого контура потокосцепления рассматриваемой структурной схемы (рис. 3) определится следующим образом:

$$W_{_{K\Pi}}(p) = W_{_{p\psi}}(p) \cdot \frac{\frac{1}{K_{_{_{T}}}}}{T_{_{MT}}p+1} \cdot \frac{L_{_{_{M}}}}{T_{_{_{2}}p+1}} \cdot \frac{K_{_{\psi}}}{T_{_{\psi_{0}}}p+1}, (9)$$

где L_м – индуктивность контура намагничивания

Т₂ - электромагнитная постоянна времени цепи ротора АД, с.

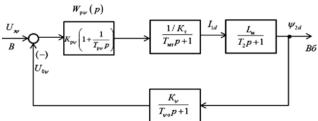


Рис. 3. Структурная схема контура потокосцепления с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором

Для упрощения синтеза параметров регулятора потокосцепления, понизим порядок передаточной функции контура потокосцепления. Учитывая, что электромагнитная постоянная времени ротора АД Т2 в 1,5...2,5 раза больше постоянной времени статора Т_э, то найдем суммарную малую постоянную времени контура потокосцепления $T_{\text{мпс}} = T_{\text{мт}} + T_{\psi 0}$, тогда выражение (9) преобразуем к виду

$$W_{_{K\Pi}}(p) = W_{_{p\psi}}(p) \cdot \frac{L_{_{M}}K_{_{\psi}}}{T_{_{2}}p + 1} \cdot \frac{\frac{1}{K_{_{T}}}}{T_{_{MIC}}p + 1}.$$
 (10)

Далее приравниваем правые части выражений (10) и (4), предварительно в выражении (4) заменив $a_{\mu \tau}$ на $a_{\mu \pi}$, а $T_{\mu \tau}$ на $T_{\mu \pi}$

$$W_{p\psi}(p) \cdot \frac{L_{_{M}}K_{_{\Psi}}}{T_{_{2}}p+1} \cdot \frac{\frac{1}{K_{_{T}}}}{T_{_{M\Pi c}}p+1} = \frac{1}{a_{_{\mu\Pi}}T_{_{\mu\Pi}}p(T_{_{\mu\Pi}}p+1)}$$

Решая полученное равенство относительно передаточной функции регулятора потокосцепления, получим

$$W_{p\psi}(p) = \frac{\left(T_{\text{\tiny MIIC}}p+1\right)\!\left(T_{_{2}}p+1\right)}{a_{\mu\text{\tiny II}}T_{\mu\text{\tiny II}}p(T_{\mu\text{\tiny II}}p+1)L_{_{M}}K_{\psi}\,\frac{1}{K_{_{D}}}}. \label{eq:Wpw}$$

Если принять равным $T_{\text{мпс}} = T_{\mu \text{п}}$, то регулятор потокосцепления будет иметь передаточную функцию

$$W_{p\psi}(p) = \frac{T_{2}p + 1}{a_{\mu\pi}T_{MTIC}pL_{M}K_{\psi}\frac{1}{K}}.$$
 (11)

Разделив числитель уравнения (11) на его знаменатель, получим

$$\begin{split} W_{p\psi}(p) &= K_{p\psi} + \frac{1}{T_{p\psi}p}, \\ \text{где } K_{p\psi} &= \frac{T_{_2}K_{_T}}{a_{_{\mu\Pi}}T_{_{MIC}}L_{_M}K_{_\psi}} - \text{коэффициент переда-} \end{split}$$

чи регулятора потокосцепления, о.е.;

егулятора потокосцепления, о.е.;
$$T_{p\psi} = \frac{a_{\mu n} T_{mnc} L_{_M} K_{_{\psi}}}{K_{_{_{T}}}} - \text{постоянная времени регу-}$$

лятора потокосцепления, с.

Или в другом виде, для этого знаменатель уравнения (11) разделив и умножив на постоянную времени Т2, получим

$$W_{p\psi}(p) = \frac{T_{2}p + 1}{a_{\mu\pi}T_{mnc}L_{_{M}}K_{_{\Psi}}\frac{T_{2}}{T_{2}} \cdot \frac{1}{K_{_{T}}} \cdot p}.$$

После преобразований, получим

$$W_{p\psi}(p) = K_{p\psi} \cdot \frac{T_{p\psi}p + 1}{T_{p\psi}p} = K_{p\psi}(1 + \frac{1}{T_{p\psi}p}),$$
 (12)

где постоянная времени регулятора потокосцепления $T_{p\psi} = T_2$, а коэффициент его передачи $K_{p\psi}$ остался прежним.

Аналогично, как и в регуляторе тока, из уравнения (12) следует, что в составе регулятора потокосцепления имеется звено $T_{p\psi}p + 1 = T_2p + 1$, которое компенсирует действие апериодического звена объуправления (обмоток АД)

$$W_{o\delta}(p) = \frac{1}{T_{2}p + 1}$$
 с электромагнитной постоянной

времени обмоток ротора Т2, что также позволяет до-

биться максимального быстродействия контура регулирования потокосцепления.

Далее, по аналогии с контуром тока, найдем передаточную функцию разомкнутого контура регулирования потокосцепления

$$\begin{split} W_{\text{pa3.}\psi}(p) &= W_{\text{p\psi}}(p) \cdot \frac{\frac{1}{K_{_{T}}}}{T_{_{MT}}p+1} \cdot \frac{L_{_{M}}}{T_{_{2}}p+1} \cdot \frac{K_{_{\psi}}}{T_{_{\psi_{o}}}p+1} = \\ &= \frac{T_{_{2}}K_{_{_{T}}}}{a_{_{\mu\Pi}}T_{_{M\Pi c}} \cdot L_{_{M}} \cdot K_{_{\psi}}} \cdot \frac{T_{_{2}}p+1}{T_{_{2}}p} \cdot \frac{\frac{1}{K_{_{T}}}}{T_{_{MT}}p+1} \cdot \frac{L_{_{M}}}{T_{_{2}}p+1} \cdot \\ &\cdot \frac{K_{_{\psi}}}{T_{_{\psi_{o}}}p+1} = \\ &= \frac{1}{a_{_{\mu\Pi}}T_{_{M\Pi c}}p\left(T_{_{MT}}T_{_{\psi_{o}}}p^{2} + \left(T_{_{MT}} + T_{_{\psi_{o}}}\right)p+1\right)} = \\ &= \frac{1}{a_{_{\mu\Pi}}T_{_{M\Pi c}}p\left(T_{_{MT}}T_{_{\psi_{o}}}p^{3} + a_{_{\mu\Pi}}T_{_{M\Pi c}}^{2}p^{2} + a_{_{\mu\Pi}}T_{_{M\Pi c}}p\right)}. \end{split}$$

Затем передаточную функцию замкнутого контура по управлению для регулирования потокосцепления

$$\begin{split} W_{_{3\text{aM.}\psi}}(p) &= \frac{1}{W_{_{\psi_{o}}}(p)} \cdot \frac{W_{_{pa3.\psi}}(p)}{1 + W_{_{pa3.\psi}}(p)} = \\ &= \frac{\frac{1}{K_{_{\psi}}} \Big(T_{_{\psi_{o}}} p + 1 \Big)}{a_{_{\mu\Pi}} T_{_{M\Pi c}} T_{_{MT}} T_{_{\psi_{o}}} p^3 + a_{_{\mu\Pi}} T_{_{M\Pi c}}^2 p^2 + a_{_{\mu\Pi}} T_{_{M\Pi c}} p + 1} \approx \\ &= \frac{\frac{1}{K_{_{\psi}}} \Big(T_{_{\psi_{o}}} p + 1 \Big)}{a_{_{\mu\Pi}} T_{_{M\Pi c}}^2 p^2 + a_{_{\mu\Pi}} T_{_{M\Pi c}} p + 1}. \end{split}$$

Из передаточной функции очевидно, что настройка контура потокосцепления близка к настройке на МО системы 2-го порядка. Контур потокосцепления является астатической системой регулирования 1-го порядка по управлению, и обеспечивает нулевую установившеюся ошибку по потокосцеплению.

Так как контур регулирования скорости электропривода имеет двукратное интегрирование, т.е. имеет звено с большой инерционностью, которую необходимо компенсировать, и интегрирующее звено объекта управления, но независимо от этого он должен обеспечивать высокую жесткость механических характеристик в широком диапазоне регулирования скорости, контур скорости следует настраивать на СО, так как настройка контура на МО с ПИрегулятором неосуществима. При настройке на СО контур скорости будет иметь симметричный вид логарифмической частотной характеристики.

При этом разомкнутый контур скорости, настроенный на СО, должен иметь следующую передаточ-

$$W_{pc}(p) = \frac{b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c} p + 1}{a_{cc} \cdot T_{\mu c}^2 p^2 \left(T_{\mu c} p + 1\right)} =$$

$$= \frac{4T_{\mu c} p + 1}{a_{cc} \cdot T_{\mu c}^2 p^2 \left(T_{\mu c} p + 1\right)},$$
где $b_c \cdot a_c = 4$, так как коэффициенты оптимизации

оэффициенты оптимизации

асс=4...16 – коэффициент настройки контура скорости на симметричный оптимум;

 $a_{cc}=b_{c}\cdot a_{c}^{2}=8-$ стандартный коэффициент настройки, так как коэффициенты оптимизации $b_{c}=a_{c}=2$;

 $T_{\mu c}$ – малая постоянная времени настраиваемого контура скорости, с.

Для упрощения решения задачи синтеза контура скорости, передаточную функцию подчиненного контура тока 1-го порядка заменим, как и в контуре потокосцепления

$$W_{_{KT}}(p) = \frac{\frac{1}{K_{_{T}}}}{a_{_{\mu T}}T_{_{\mu T}}p + 1} = \frac{\frac{1}{K_{_{T}}}}{T_{_{MT}}p + 1}.$$

Тогда передаточная функция разомкнутого контура скорости рассматриваемой структурной схемы (рис. 4) определится следующим образом:

$$W_{KC}(p) = W_{pC}(p) \cdot \frac{\frac{1}{K_{T}}}{T_{MT}p + 1} \cdot \frac{K_{M}}{J_{2}p} \cdot \frac{K_{C}}{T_{CO}p + 1}, (14)$$

где
$$K_{_{\rm M}} = \frac{3}{2} K_{_2} p \Psi_{_{\rm 2d}} -$$
коэффициент момента АД, Вб;

 ψ_{2d} – проекция вектора потокосцепления ротора на ось d, синхронно вращающейся ортогональной системы координат d, g, Bб.

В однозонном ЭП значение ψ_{2d} остается постоянным и равным проекции вектора потокосцепления на ось d при номинальном режиме работы АД. В двухзонном ЭП во второй зоне регулирования значение ψ_{2d} уменьшается блоком формирования значения потокосцепления БФЗЧ.

Далее понизим порядок передаточной функции контура скорости. Для этого найдем суммарную малую постоянную времени контура скорости $T_{\text{мс}} = T_{\text{мт}} + T_{\text{со.}}$ Тогда выражение (14) примет следующий вид:

$$W_{\text{kc}}(p) = W_{\text{pc}}(p) \cdot \frac{K_{c} \cdot \frac{1}{K_{T}}}{T_{\text{top}} + 1} \cdot \frac{K_{M}}{J_{c}p}.$$
 (15)

Приравнивая правые части выражений (13) и (15) и решая полученное уравнение относительно передаточной функции регулятора скорости, получим

$$W_{pc}(p) = \frac{4T_{\mu c}p + 1}{a_{cc} \cdot {T_{\mu c}}^2 p^2 \left(T_{\mu c}p + 1\right)} \cdot \frac{\left(T_{_{Mc}}p + 1\right)J_{_{9}}p}{K_{_{c}} \cdot \frac{1}{K_{_{T}}} \cdot K_{_{M}}}.$$

Если принять равными постоянные времени $T_{\text{мс}} = T_{\mu \tau}$, то регулятор скорости будет иметь передаточную функцию

$$W_{pc}(p) = \frac{(4T_{Mc}p + 1)J_{9}}{a_{cc} \cdot T_{Mc}^{2}p \cdot K_{c} \cdot \frac{1}{K} \cdot K_{M}}.$$
 (16)

Разделив числитель полученного уравнения на его знаменатель, получим

$$W_{pc}(p) = K_{pc} + \frac{1}{T_{pc}p},$$
 (17)

где
$$K_{pc} = \frac{4J_{_{_{3}}}K_{_{_{T}}}}{a_{_{cc}}\cdot T_{_{_{MC}}}\cdot K_{_{c}}\cdot K_{_{_{M}}}}$$
 – коэффициент пе-

редачи регулятора скорости, о.е;

$$T_{pc} = \frac{a_{cc} \cdot T_{mc}^{2} \cdot K_{c} \cdot K_{m}}{J_{c}K_{m}}$$
 – постоянная времени

регулятора скорости, с.

Или преобразовав к другому виду, для чего разделим и умножим знаменатель уравнения (16) на 4

$$\begin{split} W_{pc}(p) &= \frac{(4T_{mc}p + 1)J_{9}}{a_{cc} \cdot T_{mc}^{2}p \cdot K_{c} \cdot \frac{1}{K_{T}} \cdot K_{M} \cdot \frac{4}{4}} = \\ &= \frac{(4T_{mc}p + 1)4J_{9}K_{T}}{a_{cc} \cdot T_{mc}^{2}p \cdot K_{c} \cdot K_{M} \cdot 4} = K_{pc} \left(\frac{4T_{mc}p + 1}{4T_{mc}p}\right) = \\ &= K_{pc} \frac{T_{pc}p + 1}{T_{pc}p} = K_{pc} \left(1 + \frac{1}{T_{pc}p}\right), \end{split}$$

где постоянная времени регулятора скорости $T_{pc}\!\!=\!\!4T_{mc},$ а коэффициент его передачи K_{pc} остался прежним, как и в выражении (17).

Таким образом, в составе регулятора скорости имеется звено $T_{pc}p+1=4T_{_{MC}}p+1$, которое компенсирует инерционные звенья контура и интегрирующее звено объекта $W_{_{0\delta}}(p)=\frac{1}{J_{_{_{3}}}p}$.

Затем найдем передаточную функцию разомкнутого контура регулирования скорости

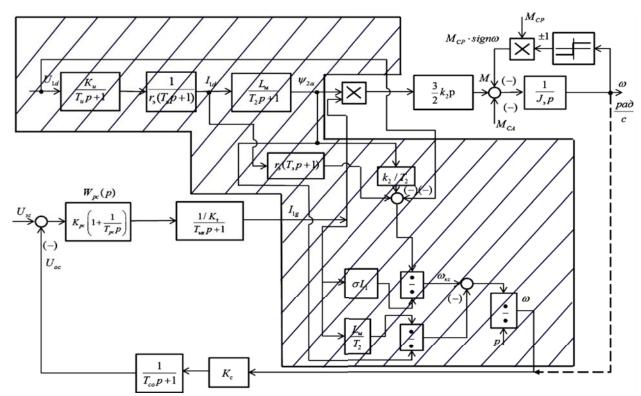


Рис. 4. Структурная схема контура скорости с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором: – – – – – расчетная обратная связь по угловой скорости ω.



$$\begin{split} W_{\text{pa3.c}}(p) &= W_{\text{pc}}(p) \cdot \frac{1}{K_{_{T}}} \cdot \frac{K_{_{M}}}{V_{_{J_{3}p}}} \cdot \frac{K_{_{C}}}{V_{_{co}p+1}} = \\ &= \frac{(4T_{_{Mc}p+1)J_{_{3}}K_{_{T}}}}{a_{_{cc}} \cdot T_{_{Mc}}^{2}p \cdot K_{_{c}} \cdot K_{_{M}}} \cdot \frac{1}{(T_{_{MT}p+1})K_{_{T}}} \cdot \frac{K_{_{M}}}{J_{_{3}p}} \cdot \frac{K_{_{C}}}{T_{_{co}p+1}} = \\ &= \frac{4T_{_{Mc}p+1}}{a_{_{cc}} \cdot T_{_{Mc}}^{2}p^{2} \left(T_{_{MT}T_{co}p}^{2} + \left(T_{_{Kc}} + T_{_{co}}\right)p+1\right)} = \\ &= \frac{4T_{_{Mc}p+1}}{a_{_{cc}} \cdot T_{_{Mc}}^{2}p^{2} \left(T_{_{MT}T_{co}p}^{2} + \left(T_{_{Kc}} + T_{_{co}}\right)p+1\right)} = \\ &= \frac{4T_{_{Mc}p+1}}{a_{_{cc}} \cdot T_{_{Mc}}^{2}T_{_{MT}T_{co}p}^{2} + \left(T_{_{Kc}} + T_{_{co}}\right)p+1\right)} = \\ &= \frac{4T_{_{Mc}p+1}}{a_{_{cc}} \cdot T_{_{Mc}}^{2}p^{2} \left(T_{_{MT}T_{co}p}^{2} + \left(T_{_{Kc}} + T_{_{co}}\right)p+1\right)} = \\ &= \frac{4T_{_{Mc}p+1}}{a_{_{cc}} \cdot T_{_{Mc}}^{2}T_{_{MT}T_{co}p}^{2} + \left(T_{_{Kc}} + T_{_{co}}\right)p+1\right)} = \\ &= \frac{4T_{_{Mc}p+1}}{a_{_{cc}} \cdot T_{_{Mc}}^{2}T_{_{MT}T_{co}p}^{2} + \left(T_{_{Kc}} + T_{_{Co}}\right)p+1\right)} = \\ &= \frac{4T_{_{Mc}p+1}}{a_{_{cc}} \cdot T_{_{Mc}}^{2}T_{_{MT}T_{co}p}^{2} + \left(T_{_{Kc}} + T_{_{Co}}\right)p+1\right)} = \\ &= \frac{4T_{_{Mc}p+1}}{a_{_{cc}} \cdot T_{_{Mc}}^{2}p^{2} + \left(T_{_{Mc}p+1}\right)\left(T_{_{Co}p+1}\right)\right)} = \\ &= \frac{4T_{_{Mc}p+1}}{a_{_{Cc}} \cdot T_{_{Mc}}^{2}T_{_{MT}}T_{_{Co}p}^{2} + \left(T_{_{Mc}p+1}\right)\left(T_{_{Co}p+1}\right)\right)} = \\ &= \frac{4T_{_{Mc}p+1}}{a_{_{Cc}} \cdot T_{_{Mc}}^{2}T_{_{MT}}T_{_{Co}p}^{2} + \left(T_{_{Mc}p+1}\right)\left(T_{_{Co}p+1}\right)\right)} = \\ &= \frac{4T_{_{Mc}p+1}}{a_{_{Cc}} \cdot T_{_{Mc}}^{2}T_{_{MT}}T_{_{Co}p}^{2} + \left(T_{_{Mc}p+1}\right)\left(T_{_{Co}p+1}\right)\right)} = \\ &= \frac{1}{a_{_{Cc}} \cdot T_{_{Mc}}^{2}T_{_{MT}}T_{_{Co}p}^{2} + \left(T_{_{Mc}p+1}\right)\left(T_{_{Mc}p+1}\right)} = \\ &= \frac{1}{a_{_{Mc}p+1}} \cdot \frac{1}{a_{_{Mc}p+1$$

Далее найдем передаточную функцию замкнутого контура по управлению для регулирования скорости

$$\begin{split} W_{_{3\text{aM.c}}}(p) &= \frac{1}{W_{_{co}}(p)} \cdot \frac{W_{_{pa3.c}}(p)}{1 + W_{_{pa3.c}}(p)} = \frac{1}{K_{_{c}}} \cdot \\ &\cdot \frac{(4T_{_{Mc}}p + 1) \Big(T_{_{co}}p + 1\Big)}{a_{_{cc}} \cdot T_{_{Mc}}^{^{2}} T_{_{MT}}^{^{2}} T_{_{co}}p^{^{4}} + a_{_{cc}}^{^{2}} T_{_{Mc}}^{^{3}}p^{^{3}} + a_{_{cc}}^{^{2}} T_{_{Mc}}^{^{2}}p^{^{2}} + 4T_{_{Mc}}p + 1}. \end{split}$$

жен обеспечивать высокое быстродействие.

Для анализа реакции контура скорости на возмущающее воздействие, т.е наброс или сброс нагрузки ΔМ_с, определим передаточную функцию замкнутого контура скорости по возмущению согласно выражению:

$$W_{_{3\text{AM.B}}}(p) = \frac{\omega(p)}{-M_{_{c}}} = \frac{W_{_{0\text{б.M}}}(p)}{1 + W_{_{pas.c}}(p)}, \label{eq:W3}$$

где $W_{\text{об.м}}$ (p) – передаточная функция механической части ЭП.

Тогда

$$W_{3\text{am.B}}(p) = \frac{1/J_{9}p}{1 + \frac{4T_{MC}p + 1}{a_{cc} \cdot T_{MC}^{2}T_{MT}T_{co}p^{4} + a_{cc}T_{Mc}^{3}p^{3} + a_{cc}T_{Mc}^{2}p^{2}}} =$$

$$\frac{C_{c}}{p + 1} = \frac{1/J_{9}\left(a_{cc} \cdot T_{Mc}^{2}T_{MT}T_{co}p^{3} + a_{cc}T_{Mc}^{3}p^{2} + a_{cc}T_{Mc}^{2}p\right)}{a_{cc} \cdot T_{Mc}^{2}T_{MT}T_{co}p^{4} + a_{cc}T_{Mc}^{3}p^{3} + a_{cc}T_{Mc}^{2}p^{2} + 4T_{Mc}p + 1} =$$

$$= \frac{1/J_{9} \cdot \left(a_{cc} \cdot T_{Mc}^{2}p(T_{MT}p + 1)(T_{co}p + 1)\right)}{a_{cc} \cdot T_{Mc}^{2}T_{MT}T_{co}p^{4} + a_{cc}T_{Mc}^{3}p^{3} + a_{cc}T_{Mc}^{2}p^{2} + 4T_{Mc}p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{1/J_{9} \cdot \left(a_{cc} \cdot T_{Mc}^{2}p(T_{Mc}p + 1)\right)}{a_{cc}T_{Mc}^{3}p^{3} + a_{cc}T_{Mc}^{2}p^{2} + 4T_{Mc}p + 1}.$$

Оптимизированный замкнутый контур скорости с ПИ-регулятором представляет собой астатическую систему регулирования 1-го порядка по возмущению. Ожидаемые показатели качества работы контура при обработке ступенчатого возмущающего воздействия [10]:

– установившаяся ошибка по возмущению $\Delta \omega_{\text{в.уст}} = 0$;

- динамический провал (или всплеск) скорости при набросе (или сбросе) нагрузки ΔM_c

$$\Delta \omega_{_{\mathrm{B.MAKC}}} \approx \frac{1,75 \left(T_{_{\mathrm{MT}}} + T_{_{\mathrm{co}}}\right)}{J_{_{9}}} \cdot \Delta M_{_{\mathrm{c}}};$$

- время обработки (окончания) возмущающего воздействия

$$t_{p,B} \approx (12,5...10,9) (T_{mT} + T_{co}).$$

Полученные выражения для расчета коэффициентов передачи и постоянных времени ПИ-регуляторов, а также передаточных функций разомкнутых и замкнутых по управлению и возмущению контуров регулирования тока, потокосцепления и скорости, которые необходимо использовать при их настройке и анализе качества работы при векторном управлении, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициенты передачи и постоянные времени ПИ-регуляторов, передаточные функции разомкнутого и замкнутого по управлению и возмущению контуров пегулипования тока, потокоснепления и скопости при векторном управлении

регулирования тока, потокосцепления и скорости при векторном управлении				
Контуры Расчетные формулы				
Т О К А	$K_{pT} = \frac{T_{g}T_{g}}{a_{\mu T}T_{MT}K_{u} \cdot K_{\tau}}; T_{pT} = \frac{a_{\mu T}T_{MT}K_{u} \cdot K_{\tau}}{r_{g}};$ $W_{pas.T}(p) = \frac{1}{a_{\mu T}T_{MT}T_{u}T_{\tau o}p^{3} + a_{\mu T}T_{MT}^{2}p^{2} + a_{\mu T}T_{mT}p};$			
	$W_{_{3AM,T}}(p) = \frac{\frac{1}{K_{_{T}}}(T_{_{TO}}p+1)}{a_{_{\mu T}}T_{_{M}}T_{_{TO}}p^{^{3}} + a_{_{\mu T}}T_{_{MT}}^{^{2}}p^{^{2}} + a_{_{\mu T}}T_{_{MT}}p+1} \approx \frac{\frac{1}{K_{_{T}}}(T_{_{TO}}p+1)}{a_{_{\mu T}}T_{_{MT}}^{^{2}}p^{^{2}} + a_{_{\mu T}}T_{_{MT}}p+1}.$			

Продолжение таблицы 1.

продолжение гаолицы 1.			
Контуры	Расчетные формулы		
П О Т О К	$K_{p\psi} = \frac{T_{_{2}}K_{_{T}}}{a_{_{\mu\Pi}}T_{_{MRc}}L_{_{M}}K_{_{\psi}}}; T_{p\psi} = \frac{a_{_{\mu\Pi}}T_{_{MRc}}L_{_{M}}K_{_{\psi}}}{K_{_{T}}};$		
о С Ц Е	$W_{\text{pas},\psi}(p) = \frac{1}{a_{\mu\pi} T_{\text{MRe}} T_{\text{MT}} T_{\psi_{o}} p^{3} + a_{\mu\pi} T_{\text{MRe}}^{2} p^{2} + a_{\mu\pi} T_{\text{MRe}} p};$		
П Л Е Н И Я	$W_{_{3\text{aM},\psi}}(p) = \frac{\frac{1}{K_{_{\psi_o}}} \left(T_{_{\psi_o}} p + 1\right)}{a_{_{\mu\Pi}} T_{_{MTC}} T_{_{\Psi_o}} p^{^3} + a_{_{\mu\Pi}} T_{_{MTC}}^{^2} p^{^2} + a_{_{\mu\Pi}} T_{_{MTC}} p + 1} \approx \frac{\frac{1}{K_{_{\psi}}} \left(T_{_{\psi_o}} p + 1\right)}{a_{_{\mu\Pi}} T_{_{MTC}}^{^2} p^{^2} + a_{_{\mu\Pi}} T_{_{MTC}} p + 1}.$		
C K	$K_{pc} = \frac{4J_{_{3}}K_{_{T}}}{a_{_{cc}} \cdot T_{_{Mc}} \cdot K_{_{c}} \cdot K_{_{M}}}; T_{pc} = \frac{a_{_{cc}} \cdot T_{_{Mc}}^{^{2}} \cdot K_{_{c}} \cdot K_{_{M}}}{J_{_{3}}K_{_{T}}};$		
C K O P O C T	$W_{pa3.c}(p) = \frac{4T_{mc}p + 1}{a_{cc} \cdot T_{mc}^2 T_{mT} T_{co} p^4 + a_{cc} T_{mc}^3 p^3 + a_{cc} T_{mc}^2 p^2};$		
Т	$W_{\text{3aM.c}}(p) = \frac{1}{K_c} \cdot \frac{(4T_{\text{Mc}}p+1)(T_{\text{co}}p+1)}{a_{\text{cc}} \cdot T_{\text{Mc}}^2 T_{\text{MT}} T_{\text{co}} p^4 + a_{\text{cc}} T_{\text{Mc}}^3 p^3 + a_{\text{cc}} T_{\text{Mc}}^2 p^2 + 4T_{\text{Mc}}p+1};$		
	$W_{_{3\text{dM},B}}(p) = \frac{1 / J_{_{_{3}}} \cdot \left(a_{_{\text{cc}}} \cdot T_{_{\text{MC}}}^{\ 2} p (T_{_{\text{MT}}} p + 1) \left(T_{_{\text{co}}} p + 1\right)\right)}{a_{_{\text{cc}}} \cdot T_{_{\text{MC}}}^{\ 2} T_{_{\text{MT}}} T_{_{\text{co}}} p^{^{4}} + a_{_{\text{cc}}} T_{_{\text{Mc}}}^{\ 3} p^{^{3}} + a_{_{\text{cc}}} T_{_{\text{Mc}}}^{\ 2} p^{^{2}} + 4 T_{_{\text{Mc}}} p + 1} \approx \frac{1 / J_{_{_{3}}} \cdot \left(a_{_{\text{cc}}} \cdot T_{_{\text{Mc}}}^{\ 2} p \left(T_{_{\text{Mc}}} p + 1\right)\right)}{a_{_{\text{cc}}} T_{_{\text{Mc}}}^{\ 3} p^{^{3}} + a_{_{\text{cc}}} T_{_{\text{Mc}}}^{\ 2} p^{^{2}} + 4 T_{_{\text{Mc}}} p + 1}.$		
$a_{\mu\tau}=16 (a_{\mu\tau}=2); T_{M\tau}=T_{\mu}+T_{\tau 0}; a_{\mu n}=16 (a_{\mu n}=2); T_{Mnc}=T_{M\tau}+T_{\psi 0};$			
$b_c = a_c = 2$; $a_{cc} = 416$ ($a_{cc} = b_c \cdot a_c^2 = 8$); $T_{MC} = T_{MT} + T_{CO}$			

Заключение

- 1. Анализ полученных выражений коэффициентов передачи по току, потокосцеплению и скорости показывает, что их значения определяются соотношениями постоянных времени структурных звеньев прямых и обратных ветвей соответствующих контуров регулирования, а также коэффициентов усиления и обратных связей.
- 2. Постоянные времени контуров регулирования по току, потокосцеплению и скорости определяются суммой постоянных времени прямых и обратных ветвей соответствующих контуров, моментом инерции механической части ЭП и соответствующими коэффициентами усиления и обратных связей.
- 3. Полученные выражения передаточных функций ПИ-регуляторов замкнутых по управлению контуров регулирования токов, потокосцепления и скорости свидетельствуют о высокой точности поддержания заданных режимов в статическом режиме, так как все контуры являются астатическими системами регулирования.
- 4. Из передаточной функции замкнутого контура скорости по возмущению с ПИ-регулятором очевидно, что он представляет собой астатическую систему регу-

лирования 1-го порядка по возмущению. При этом ожидаемые показатели качества работы контура при обработке ступенчатого возмущающего воздействия:

- установившаяся ошибка по возмущению $\Delta\omega_{\text{\tiny B,ycr}}\!\!=\!\!0;$
- динамический провал (или всплеск) скорости при набросе (или сбросе) нагрузки ΔM_c

$$\Delta \omega_{_{\mathrm{B.MARC}}} pprox rac{1,75 \left(T_{_{\mathrm{MKC}}} + T_{_{\mathrm{CO}}}
ight)}{J_{_{\mathrm{C}}}} \cdot \Delta M_{_{\mathrm{C}}};$$

— время обработки (окончания) возмущающего воздействия $t_{_{\mathrm{p,B}}} \approx (12,5...10,9) \big(T_{_{\mathrm{MKC}}} + T_{_{\mathrm{co}}} \big).$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Blaschke, F. Das Prinzip der Feldorientierung, die Grundlage für die Transvektor Regelung von Drehfeldmaschnen / F. Blaschke // Siemens Zeitschrift, 1971. № 45. P.10.
- 2. Рудаков, В.В. Асинхронные электроприводы с векторным управлением / В.В. Рудаков, И.М. Столяров, В.А. Дортау. Л.: Энергоатомиздат, 1987. 134 с.



- 3. Flöter, W., Ripperger H. Die Trasvektor Regelung für den feldorientierten betrieb einer Asynchron maschine // Siemens Zeitschrift, 1971. № 45. P. 10.
- 4. Фрер, Ф. Введение в электронную технику регулирования: пер. с нем. / Ф. Фрер, Ф. Орттенбургер. М.: Энергия, 1973.-192 с.
- 5. Шёнфельд, Р. Автоматизированные электроприводы: пер. с нем.; / Р. Шёнфельд, Э. Хабигер; под ред. Ю.А. Борцова. Л.: Энергоатомиздат; Ленинградское отд-ие, 1985. 464 с.
- 6. Удут, Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: учеб. пос. / Л.С. Удут, О.П. Мальцев, Н.В. Кояин. 2-е изд. перераб. и доп. Томск: ТПУ, 2007. 156 с.
- 7. Aström, K.J. PID Controllers: the on design and tuning / K. J. Aström, T. Hägglung.2-d Edition. North

Carolina. Instrument society of America, 1995.

- 8. Чернышев, А.Ю. Электропривод переменного тока: учеб. пос. / А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И. А. Чернышев. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. 213 с.
- 9. Удут, Л.С Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: учеб. пос./ Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. 164 с.
- 10. Мальцева, О.П. Системы управления электроприводов: учеб. пос./ О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. 82 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 09.12.2019

Устройство для сдваивания колес тракторов «БЕЛАРУС»

Предпазначено для улучшения агроэкологических свойств тракторов при выполнении сельскохозяйственных и транспортных работ. Предложенное устройство позволяет значительно снизить динамические нагрузки на конечные передачи и полуоси ведущих мостов тракторов, а, следовательно, и трансмиссию в целом, обеспечить повышение ресурса узлов трактора, шин, повысить транспортную скорость, уменьшить расход топлива, улучшить управляемость и поворотливость агрегатов. Эффективность достигается благодаря периодическому отключению и переводу в ведомый режим наружных колес трактора. Для перевода наружных колес на необходимый режим используется имеющаяся на тракторе пневмосистема. Конструкция защищена патентом Республики Беларусь №16282.



Основные технические данные

Максимальные габаритные размеры, мм Масса комплекта, кг Способ управления включением наружного колеса

Рабочее давление в пневмокамерах, МПа

Время включения/выключения пневмопривода, с Снижения давления на почву ходовой части тракторов, % 420x550 90...200

периодически от пневмосистемы трактора

0,8 100/60 25...40

Технический сервис в АПК Экономика

УДК 629.11

ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ДИАГНОСТИКИ СИСТЕМ, УЗЛОВ И МЕХАНИЗМОВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА БАЗЕ БЕСПРОВОДНОЙ MESH-CETИ

О.Ч. Ролич,

доцент каф. проектирования информационно-компьютерных систем БГУИР, канд. техн. наук, доцент

В.Е. Тарасенко,

зав. каф. технологий и организации технического сервиса БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

И.И. Балаш,

мл. науч. сотр. НИЧ БГУИР

Обоснована архитектура трехмерного сканера как распределенной системы контроля и диагностики систем, узлов и механизмов дизельного двигателя в масштабе реального времени, позволяющая получить наиболее полную диагностическую картину и повысить достоверность принятия решений в оценке остаточного ресурса отдельных узлов и дизеля в целом.

Ключевые слова: двигатель, диагностика, система, сигнал, сеть, архитектура, провизор, модуль.

The architecture of the three-dimensional scanner as a distributed system of control and diagnostics of diesel engine systems, components and mechanisms in real time has been justified. This provides the most complete diagnostic picture and increases the reliability of decision making in the assessment of the residual life of individual components and of the diesel engine as a whole.

Keywords: engine, diagnostics, system, signal, network, architecture, pharmacist, module.

Введение

Для повышения достоверности принятия решений в оценке остаточного ресурса, виброакустической и тепловой диагностики систем, узлов и механизмов дизельного двигателя в масштабе реального времени требуется формирование наиболее полной диагностической картины в виде динамически меняющегося множества (ансамбля) сигналов, считанных

W425 Модуль 1 данных (BLE-сервер) THE T BLE5.0 BLE5.0 BLE5.0 mesh-сеть BLE5.0 W/2-BLE5.0 nRF-провизор Модуль N данных Модуль 2 данных (BLE-клиент) (BLE-сервер) (BLE-сервер) - Filter 1117 BLE5.0 bluetooth BLE5.0 BLE5.0 SMART W125 PHONE Модуль 3 данных (BLE-сервер) - 1 1 W

Puc. 1. Архитектура интегрированной системы виброакустической и тепловой диагностики дизельной аппаратуры на базе беспроводной mesh-cemu

с различных ракурсов. Полноту картины способен обеспечить трехмерный сканер пространственновременного распределения звукового давления и теплового поля с гибкой архитектурой, состоящий из нескольких десятков цифровых датчиков, расположенных в различных точках пространства.

Целью работы является обоснование архитектуры трехмерного сканера как распределенной системы

контроля и диагностики систем, узлов и механизмов дизельного двигателя в масштабе реального времени, позволяющей получить наиболее полную диагностическую картину и повысить достоверность принятия решений в оценке остаточного ресурса отдельных узлов и дизеля в целом.

Основная часть

Интенсивное развитие интерфейсов и сетей на основе радиоканалов позволяет предоставить необходимую архитектурную гибкость, а развитые современные mesh-сети на базе Bluetooth, ZigBee, Lora, WiFi – надежность передачи данных и достоверность ансамбля сигналов.

Предлагаемая архитектура системы диагностики, изображенная на рисунке 1, опирается на модульную структуру, детально описанную в источнике [1].



Система, представленная в виде mesh-сети с динамически меняющейся структурой, объединяет N $(N \le 64)$ универсальных модулей данных со встроенным радиоканалом частотой 2,4 ГГц и автономным питанием [2]. Кроме модулей данных, в ней присутствует ведущий прибор-провизор, в функции которого входят выработка команд и централизованный сбор данных. С точки зрения клиент-серверной архитектуры построения сетей, провизор представляется клиентом, обозначенным на рисунке 1 как «BLE-клиент» (BLE -Bluetooth Low Energy), а модуль данных - сервером («BLE-сервер» на рисунке 1). Провизор-клиент последовательно опрашивает модули данных, получая от них необходимые диагностические выборки и принимая впоследствии, исходя из совокупной картины, решения, связанные с оценкой остаточного ресурса систем, узлов и механизмов дизельного двигателя.

Благодаря радио интерфейсу связи, система является беспроводной, и в отличие от проводных систем, в значительно большей степени обладает гибкостью и не зависит от удаленности модулей данных от провизора, а также от труднодоступности мест их установки. Кроме этого, согласно идеологии meshсетей, некоторые модули данных могут и не находиться в области прямой видимости с провизором, а информация от них поступает к провизору через промежуточные модули mesh-сети.

В контексте задачи виброакустической и тепловой диагностики систем, узлов и механизмов дизельного двигателя, универсальный модуль данных со структурой, изображенной на рисунке 2, содержит цифровые датчики вибрации (MEMS-акселерометр и MEMS-гироскоп, интегрированные в модуле MPU6050), акустики в виде MEMS-микрофона, тем-

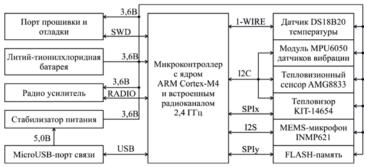


Рис. 2. Структура модуля данных

пературы и тепловидения [1].

Модуль представляет собой логически завершенный автономный прибор. Он построен на современном быстродействующем микроконтроллерном ядре ARM Cortex-M4 с дополнительно встроенным радио интерфейсом связи [2]. Уверенный обмен данными по радио интерфейсу модуля, установленного в труднодоступном месте, обеспечивается радио усилителем. Для надежного хранения массивов данных, полученных от первичных сенсоров и датчиков, а также для ведения протокола работы модуля, предусмотрена FLASH-память, взаимодействие с которой осуществляется микроконтроллером по интерфейсу

SPI. Проводная связь модуля с компьютером или планшетом реализуется посредством стандартного microUSB-порта, работающего в режиме ведомого «USB DEVICE». Модуль данных как автономный прибор имеет собственный литий-тионилхлоридный источник питания напряжением 3,6 В, способный длительно работать при температурах окружающей среды в диапазоне от –55°C до 150°C [3]. Верхняя температурная граница питающего источника особенно важна в условиях контроля дизельной аппаратуры, где средняя температура колеблется и зачастую превышает 100°C.

На рисунке 3 представлена структура провизора – портативного мобильного прибора распределения целевых указаний между модулями данных и получения от них диагностической информации.

Так как провизор удален от модулей данных, и расстояние удаления составляет нескольких десятков метров при пассивном радио усилителе и более сотни метров при активном функционировании радио усилителя, к нему не налагаются жесткие температурные и габаритные ограничения. Поэтому структура провизора включает пользовательский интерфейс в составе дисплея с сенсорной панелью, SD-карту хранения больших объемов данных, microUSB-порт с управляемым питанием для возможного проводного считывания массивов из модулей данных и их пересылки в НОST-машину, т.е. на компьютер, и блок автономного питания с контроллером заряда аккумуляторной батареи.

Два USB-порта (USBх и USBу) провизора предназначены соответственно для компьютерного контроля заряда аккумулятора и для связи с HOST-машиной с целью передачи на нее исходных и обработанных диагностических данных. Дополнительную гибкость

предоставляет SD-карта с поддержкой файловой системы FAT32 FS, позволяющая легко переносить в стандартизированных форматах сформированные провизором файлы диагностической картины систем, узлов и механизмов дизельного двигателя на высокопроизводительные рабочие станции для последующего детального экспертного анализа.

Сообщения и массивы данных в рассматриваемой интегрированной системе диагностики на основе mesh-сети, построенной на базе радио интерфейса BLE, передаются как в advertise-режиме, так и в режиме прямого соединения [4]. В относительно

низкоскоростном advertise-режиме провизором отдаются команды управления, в частности, команды синхронизации времени, захвата массивов данных и сигнализации об их готовности. Считывание полученных результатов из очередного модуля данных, вследствие обмена значительным объемом информации, осуществляется по высокоскоростному выделенному ВLE-каналу в режиме прямого соединения с модулем.

Следует отметить, что в качестве провизора или внешнего конфигуратора, кроме предлагаемого прибора со структурой, изображенной на рисунке 3, может вы-



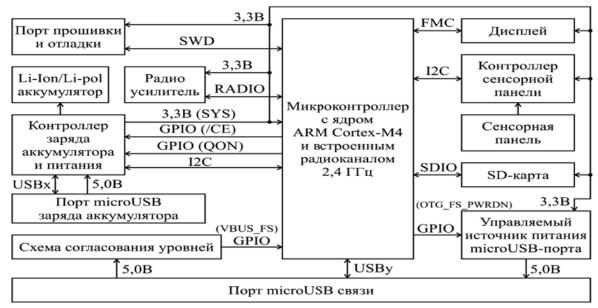


Рис. 3. Структура провизора

ступать мобильное устройство, работающее под операционной системой Android или iOS. Это связано со стандартом Bluetooth-интерфейса, встроенного практически в любой современный мобильный прибор, со стандартным протоколом взаимодействия по Bluetooth и защитой на транспортном уровне информации, передаваемой по соответствующему радиоканалу.

Касательно алгоритма функционирования предложенной интегрированной системы диагностики на базе mesh-сети, в нем выделяются этапы конфигурирования сети с добавлением или удалением серверов (т.е. модулей данных), синхронизации сетевого времени, выдачи единой команды запуска формирования выборок данных, детектирования завершения формирования выборок и готовности их передачи провизору. По событию, устанавливаемому пользователем, например, по нажатию на кнопку запуска процесса считывания, клиент-провизор в advertise-режиме посылает соответствующую команду серверам, т.е. модулям данных, которые, в свою очередь, запускают процедуры формирования выборок с ранее сконфигурированной длительностью и записывают их в собственную FLASH-память. По окончании заданного временного интервала серверы в advertise-пакетах выставляют индивидуальные флаги готовности данных, после чего провизор поочередно считывает полученные выборки из каждого модуля в режиме прямого соединения.

На текущий момент наибольшую известность и популярность получил радио интерфейс BLE, позволяющий в автономном режиме наиболее экономно расходовать питание аккумуляторной батареи. Так, компаниями Nordic Semiconductor, ST Microelectronics, Espressif Systems выпускаются микроконтроллеры с ядрами ARM Cortex-M4 и Tensilica Xtensa со встроенным BLE-интерфейсом, для которого разработан полноценный программный инстру-

ментарий (SDK) в виде набора библиотек с открытым исходным кодом и поддержкой mesh-сети на базе BLE5.0 [2].

Предложенная в данной статье архитектура интегрированной многоканальной системы диагностики систем, узлов и механизмов дизельного двигателя с беспроводными каналами связи на базе mesh-сети обладает следующими достоинствами:

- гибкость, заключающаяся в динамической реорганизации структуры сети;
- возможность установки модулей данных в труднодоступных местах без жесткой привязки к провизору;
- возможность объединения в сети нескольких десятков модулей данных, что позволяет повысить достоверность и полноценность диагностической картины, ее объемность и охват, анализировать распределение звукового давления и тепловых полей во всем объеме измерений;
- совместимость с мобильными приборами, функционирующими под управлением операционной системы Android или iOS.

Наряду с незначительным усложнением структуры модуля данных по отношению к его аналогичному проводному варианту [1], заключающемуся в добавлении собственного микроконтроллера и FLASH-памяти, автономного блока питания и радио усилителя, значительно упрощается структура ведущего приборапровизора и появляются принципиально новые черты гибкости системы и возможности ее дистанционного управления с мобильного телефона, с сохранением способности к помехоустойчивому кодированию и надежной передаче данных на расстояния до сотни метров.

Заключение

Предложена распределенная система в виде трехмерного сканера динамики изменения виброаку-



стической картины и распределения теплового поля в объеме измерений, что позволяет проводить всеобъемлющий контроль и диагностику исследуемого объекта, повысить достоверность принятия решений в оценке параметров его поведения.

Модульный принцип построения рассмотренной в статье системы с предложенной структурой ведомого модуля данных и ведущего прибора-провизора способен универсализировать решение подобных и аналогичных задач, например, инерциальной навигации, тепловидения и ночного зрения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ролич, О.Ч. Многоканальная интегрированная система виброакустической и тепловой диагностики

дизельных двигателей / О.Ч. Ролич, В.Е. Тарасенко // Агропанорама. -2019. -№ 5 (135). - C. 42-45.

- 2. nRF52840. System on Chip. Advanced Bluetooth 5, Thread and Zigbee multiprotocol SoC [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: https://www.nordicsemi.com/Products/Low-power-short-range-wireless/nRF52840. Дата доступа: 15.11.2019.
- 3. Литий-тионилхлоридные (Li-SOCl2) батареи [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: http://www.mt-system.ru/catalog/litij-tionilhloridnye-li-socl2-batarei. Дата доступа: 15.11.2019.
- 4. Гусс, С.В. Самоорганизующиеся mesh-сети для частного использования / С.В. Гусс // Математические структуры и моделирование. 2016. № 4(40). С. 102-115.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 15.11.2019

УДК 631.115.1

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ В УСЛОВИЯХ ДИВЕРСИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОЙ ЭКОНОМИКИ

А.Ю. Легкова,

аспирант каф. экономики и управления предприятиями АПК БГЭУ, магистр экон. наук

В статье проанализирована динамика фермерского хозяйствования в разрезе областей. Выявлены основные тенденции развития растениеводства и животноводства. Обоснована целесообразность диверсификации деятельности фермерских хозяйств. В качестве перспективных направлений определены: органический сектор, «зеленые школы» и агроэкотуризм.

Ключевые слова: агроэкотуризм, диверсификация, «зеленые школы», органический сектор, сельская экономика, фермерское хозяйство.

The article analyzes the dynamics of farming in the context of regions. The main trends of crop farming and livestock breeding have been identified. The desirability of farm activities diversification has been proved. The following promising trends are: the organic sector, "green schools" and agroecotourism.

Keywords: agroecotourism, diversification, «green schools», organic sector, rural economy, farming.

Ввеление

Фермерский сектор способствует формированию нового слоя сельских товаропроизводителей, решению проблемы обеспеченности населения качественным продовольствием. Успешная деятельность крестьянских (фермерских) хозяйств стимулирует конкуренцию на рынке продуктов и труда между этими хозяйствами и другими сельскохозяйственными производителями, способствует устойчивому развитию сельских территорий, обеспечивает высокое качество производимой продукции.

Проведенные исследования отечественного и зарубежного опыта показывают, что важным направлением развития субъектов хозяйствования в рыночной экономике является диверсификация их деятельности. Так, именно диверсификация основной деятельности фермерских хозяйств обеспечивает необходимую гибкость в динамично развивающейся внешней среде, характеризующейся как положительными, так и отрицательными изменениями. То есть, диверсификация улучшает способность фермеров быстро и эффективно реагировать на изменения внешней и внутренней среды.

Цель работы – охарактеризовать направления развития фермерских хозяйств в условиях диверсификации сельской экономики, а именно: органическое хозяйствование, «зеленые школы» и агроэкотуризм.

Основная часть

Республика Беларусь, в силу своего географического положения, климатических условий, исторических традиций и экономического потенциала, является одним из ведущих производителей продукции сельского хозяйства среди стран СНГ и ЕАЭС. Техническая оснащенность агропромышленного комплекса, современные технологии и высокое качество продукции позволяют республике иметь высокие экономические показатели. Например, по производ-



ству молока на душу населения Беларусь занимает первое место среди стран СНГ и четвертое место среди европейских стран. В республике сосредоточено более 15 % мировых посевов льна, и она входит в первую пятерку льнопроизводящих стран мира. Занимая первое место по производству картофеля на душу населения, Республика Беларусь входит в число семи ведущих мировых его производителей. Возделывая сахарную свеклу и имея четыре крупных сахарных комбината, Беларусь способна удовлетворить собственную потребность в сахаре на 100 %.

Развитый агропромышленный комплекс позволяет Республике Беларусь быть крупным экспортером сельскохозяйственной продукции (удельный вес продовольствия в общем экспорте составляет в последние годы 16-18 %) [1]. Значительная часть сельхозпродукции реализуется на биржевых торгах. Например, в 2018 году товарооборот по секции торгов продукцией сельского хозяйства составил 350,7 млн EUR в эквиваленте или 654 тыс. тонн в натуральном выражении. Следует отметить, что за девять месяцев 2019 года товарооборот по вышеуказанной секции составил 287,1 млн EUR в эквиваленте (в натуральном выражении – 581 тыс. тонн) [2].

За 2018 год хозяйствами всех категорий было произведено продукции сельского хозяйства на сумму 18 843 млн руб., что на 4 % больше, чем за аналогичный период 2017 года. В сельском хозяйстве занято около 8 % населения республики. Производительность труда за 2018 год возросла с 52 013 руб. до 56 146 руб. на одного работника.

Основными производителями сельскохозяйственной продукции являются сельскохозяйственные организации, фермерские хозяйства и хозяйства населения. Исследования показывают, что по состоянию на 1 января 2019 года в республике зарегистрировано

1389 сельскохозяйственных организаций, 3196 крестьянских (фермерских) хозяйств, из которых 2700 хозяйств – осуществляют сельскохозяйственную деятельность. Минская и Брестская области насчитывают наибольшее количество сельскохозяйственных организаций – 359 и 259 соответственно, что составляет более 40 % от общей численности. Лидируют данные области и по количеству крестьянских (фермерских) хозяйств – 663 хозяйства находятся в Минской области, 606 хозяйств насчитывает Брестская область, что составляет 24,6 % и 22,4 % соответственно от общей численности фермерских хозяйств республики.

По состоянию на 1.01.2019 г. в землепользовании крестьянских (фермерских) хозяйств Беларуси находится 223,8 тыс га земельных угодий, в том

числе сельскохозяйственных земель — 194,1 тыс га, что составляет более 2 % от общего количества сельскохозяйственных земель республики. В среднем на одно фермерское хозяйство приходится 82,9 гектаров земли, в том числе сельскохозяйственных угодий — 71,9 гектаров, пашни — 50,9 гектара.

Проанализируем динамику фермерского производства в разрезе отдельных видов продукции, производимой в фермерских хозяйствах. За 2018 год фермерские хозяйства произвели продукции сельского хозяйства на сумму 414 млн руб. или 113,1 % к 2017 году, в том числе продукции растениеводства — на 375 млн руб., животноводства — на 39 млн руб. На долю крестьянских (фермерских) хозяйств приходится 2,2 % производимой продукции от общего объема производства, что на 0,2 п.п. больше, чем в 2017 году. Основным направлением производственной деятельности фермерских хозяйств является растениеводство, на долю которого приходится 90,4 % от всей производимой ими продукции.

Объем производства зерновых и зернобобовых культур в фермерском секторе в 2018 году составил 150,1 тыс тонн (90,1 % к 2017 г.) или 2,4 % от объема производства в хозяйствах всех категорий, картофеля — 376,1 тыс тонн (97,3 %) или 6,4 %, овощей — 323,7 (88,5 %) или 18,5 %. Следует отметить, что удельный вес производства продукции в фермерских хозяйствах от общего объема производства в хозяйствах всех категорий увеличивается с каждым годом.

Производство основных видов продукции растениеводства в К (Φ) X за 2012-2018 гг. приведено на рис. 1.

В животноводстве фермерских хозяйств в 2018 году произошли существенные изменения в сторону увеличения объемов производства продукции скотоводства, свиноводства (рис. 2).

На 1 января 2019 года в фермерских хозяйствах

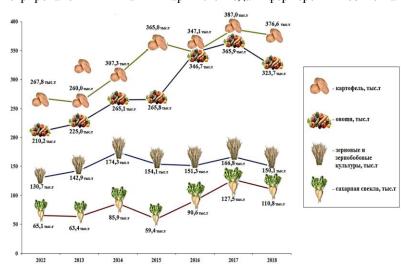


Рис. 1. Производство основных видов продукции растениеводства в K(Ф)X за 2012-2018 гг. Примечание: собственная разработка автора на основе статистических данных



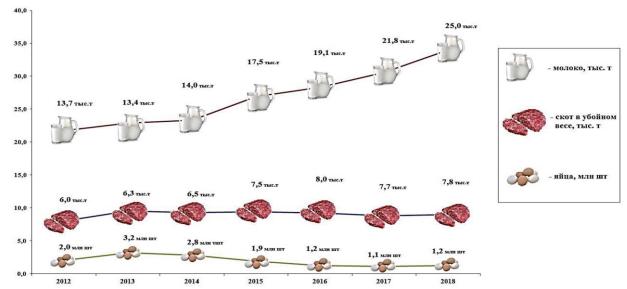


Рис. 2. Производство основных видов продукции животноводства в K(Ф)X за 2012-2018 гг. Примечание: собственная разработка автора на основе статистических данных

содержалось крупного рогатого скота -17,2 тыс. голов (106,3 % к 2017 г.), свиней -23,9 (103,5 %), овец -16,1 тыс. голов (94,0 %), птицы всех видов -131,9 тыс. голов (81,3 %).

В 2018 году производство молока в фермерских хозяйствах к предыдущему году возросло на 14,9 % и составило 25,0 тыс тонн, реализация скота и птицы в живом весе увеличилась на 4,6 % (11,1 тыс тонн), яиц – на 11,7 % (1,2 млн штук) [1].

Как упоминалось выше, для фермерских хозяйств проблемы диверсификации также актуальны, как и для остальных субъектов сельской экономики. В качестве направлений диверсификации могут выступать органическое сельское хозяйство, агроэкотуризм, переработка сельскохозяйственной продукции, организация «зеленых школ», информационно-консультационная деятельность, производство редких видов продукции растениеводства и животноводства и другие. По мнению автора, наибольший научный и практический интерес представляет исследование проблем развития органического сектора и агроэкотуризма, а также «зеленых школ» на базе фермерских хозяйств. Обосновывая вышеуказанные направления, охарактеризуем их по четырем аспектам: сущность; предпосылки; имеющийся опыт по развитию; эффекты.

1. Развитие органического сектора (производство продукции растениеводства и животноводства, переработка, сбыт).

Сущность. Органическое сельское хозяйство — это форма ведения сельского хозяйства, способствующая устойчивому территориальному развитию, в рамках которой происходит сознательная минимизация использования синтетических удобрений, пестицидов, регуляторов роста растений, кормовых добавок, генетически модифицированных организмов.

Органическое производство базируется на следующих основных принципах:

- охраны здоровья;
- сохранения окружающей среды;
- справедливости и заботы [3].

Предпосылки. Правовыми и политическими предпосылками развития органического сектора являются: Постановление Совета министров Республики Беларусь от 21 декабря 2016 г. №1061 «Национальный план действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь», Закон Республики Беларусь от 9 ноября 2018 г. №144-3 «О производстве и обращении органической продукции». Выступая с Посланием к белорусскому народу и Национальному собранию Республики Беларусь, А.Г. Лукашенко отметил: «Нынешний глобальный агротренд — это производство органических продуктов исключительного качества и по зеленым технологиям» [4].

Опыт. В нашей стране органическое земледелие появилось сравнительно недавно. По данным Центра экологических решений, в республике по состоянию на 1 января 2019 года функционировало 28 субъектов хозяйствования, производящих или перерабатывающих органическую сельскохозяйственную продукцию. Доля органических фермерских хозяйств составляет менее 1 % от общего их количества. Более половины субъектов органического хозяйствования находится на территории Минской области. Следует отметить, что в Гомельской и Могилевской областях производителей органической продукции не зарегистрировано.

В результате проведенного исследования установлено, что производством зерновых культур занимается 35 % органических фермерских хозяйств, овощных – 53 %, зеленных – 4 %, кормовых – 24 %, 29 % органических фермерских хозяйств – производят картофель, по 6 % производят молоко козье, го-



вядину, яйца, мед и продукцию его переработки. Производство и переработку ягод осуществляет 41 % органических фермерских хозяйств.

Если проанализировать, какие отрасли сочетают фермеры, то можно констатировать, что 24 % органических фермерских хозяйств совмещают производство картофеля и овощей, 6 % — производство картофеля и кормов, 12 % — производство картофеля и зелени, 6 % — производство овощей и кормов, 6 % — производство овощей и хормов, 6 % — производство овощей и зерна, 35 % органических фермерских хозяйств производят только один вид продукции, то есть являются узкоспециализированными.

Эффект. Социальная составляющая: получение качественной экологически чистой продукции, которая по органолептическим свойствам и биохимическому составу будет выгодно отличаться от продукции, производимой с применением минеральных удобрений и средств защиты растений. С экономической стороны - снижение затрат на покупку минеральных удобрения и средств защиты растений; увеличение прибыли за счет повышения цены реализации продукции в среднем на 30 %; выход на новые рынки сбыта продукции, как в Беларуси, так и, возможно, за рубежом. С экологической точки зрения – улучшение качества почв за счет применения органических удобрений; снижение риска развития водной и ветровой эрозии почв, миграции подвижных элементов питания в глубокие слои почвы за счет широкого использования промежуточных культур; предотвращение загрязнения открытых водоемов, озер и рек. Органическое сельсское хозяйство позволяет лучше сохранять в почве органическое вещество, снижать экологическую нагрузку на окружающую среду посредством агробиоразнообразия севооборотов [5].

2. Организация «зеленых школ» на базе фермерских хозяйств.

Сущность. «Зеленая школа» – это своего рода клуб натуралистов и дача одновременно. «Зеленые школы» направлены на формирование ценностного отношения к природе, повышение уровня экологической направленности развития фермерских хозяйств, информированность населения по вопросам охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, воспитание ответственного отношения человека к природе, формирование экологически грамотного поведения.

Предпосылки. В Беларуси имеются предпосылки для развития «зеленых» школ. Так, в 2018 году стартовал четырехлетний проект «Вовлечение общественности в экологический мониторинг и улучшение управления охраной окружающей среды на местном уровне» («Зеленые школы»). Данный проект направлен на эффективное и инклюзивное управление окружающей средой на местном уровне, мониторинг экологических

рисков, обмен экологической информацией, в частности, в области качества атмосферного воздуха, создание в стране сети «зеленых школ». Проект будет реализовываться ПРООН в 2018-2022 гг. [6].

Опыт. Как отмечалось ранее, по данным Центра экологических решений, в республике по состоянию на 1 января 2019 года функционировало 28 субъектов хозяйствования, производящих и (или) перерабатывающих органическую сельскохозяйственную продукцию, из них 11 – фермерских хозяйств. Для производства органической продукции хозяйствам необходимо иметь три обязательных сертификата соответствия: на землю (эксперт дает заключение о том, что земля пригодна для производства органической продукции); на производство (анализ процесса производства дает возможность эксперту дать заключение о том, что при выращивании и переработке продукции не использовались химические средства); на продукцию (экспертное заключение, свидетельствующее, что продукция соответствует всем нормам и может маркироваться как органическая). Таким образом, уже сегодня в различных районах республики существует отличная база для создания «зеленых школ» в фермерских хозяйствах. Здесь можно не только получить теоретические знания, но и поучаствовать в процессе производства, оценить результаты деятельности, стать частью целой системы.

Эффект. С социальной стороны – поддержка экологической инициативы на селе, улучшение имиджа территорий, участие фермеров в реализации молодежной политики, проведение экологических тренингов, активное вовлечение общества в решение экологических проблем, создание клубов, надежное партнерство в реализации экологической политики, сотрудничество с зарубежными учреждениями образования, возможность обмена опытом и знаниями. С экономической стороны - содействие сельскому территориально ориентированному развитию, диверсификации деятельности, повышению прибыльности фермерских хозяйств. С экологической точки зрения - мониторинг окружающей среды, улучшение экологической ситуации на местном уровне, улучшение знаний о биоразнообразии, рациональное использование воды, энергии, мониторинг качества воздуха, сокращение выбросов.

3. Агроэкотуризм на базе фермерских хозяйств.

Сущность. Сельский туризм в Беларуси развивается по трем основным направлениям: посещение многочисленных достопримечательностей, организация отдыха в курортных районах (Нарочь, Минское море, Браслав и др.), а также агроэкотуризм. Перед субъектами агроэкотуризма поставлена задача одновременно развивать въездной туризм.

Предпосылки. Сельский туризм – один из самых привлекательных вариантов отдыха в Беларуси. Живо-



писные пейзажи, благоприятная экология и неповторимый деревенский колорит привлекают гостей в агроусадьбы страны. Правовыми и политическими предпосылками являются: Указ Президента Республики Беларусь от 2 июня 2006 г. №372 «О мерах по развитию агроэкотуризма в Республике Беларусь»; Указ Президента Республики Беларусь от 27 марта 2008 г. №185 «О некоторых вопросах осуществления деятельности в сфере агроэкотуризма»; Указ Президента Республики Беларусь от 26 ноября 2010 г. №614 «О внесении изменений и дополнений в Указ Президента Республики Беларусь от 2 июня 2006 г. №372»; Указ Президента Республики Беларусь от 9 октября 2017 г. г. №365 «О развитии агроэкотуризма» и др.

Опыт. Беларусь дважды оказывалась на первой строчке рейтинга лучших стран для агротуризма по версии телеканала National Geographic. В настоящее время в Беларуси функционирует более 2 тыс агроусадеб. Они расположены в живописных местностях, оформлены с национальным белорусским колоритом или в современном экостиле. Много сельских домиков для туристов находится на территории или вблизи национальных парков «Беловежская пуща», «Нарочанский», «Припятский».

Эффект. Развитие агроэкотуризма на базе фермерских хозяйств позволит:

- расширить возможности диверсификации сельской экономики;
- развивать территориально ориентированный подход к развитию сельской местности;
 - улучшить имидж сельской территории;
 - развивать бизнес-инициативы на селе;
- способствовать повышению эффективности деятельности крестьянских (фермерских) хозяйств;
- приобретать неиспользуемое имущество, в том числе находящееся на балансе сельскохозяйственных организаций;
- рационально использовать и разрабатывать неиспользуемые или неэффективно используемые земли;
- увеличить приток туристов, как отечественных, так и зарубежных;
 - повысить имидж республики на мировой арене;
- популяризировать зеленые маршруты, экомаршруты, дорожную карту местности;
 - приобщить молодежь к здоровому образу жизни;
 - «приблизить» население к отдыху на селе.

Заключение

За 30 лет существования на территории Беларуси фермерские хозяйства внесли весомый вклад в развитие сельских территорий. Фермерские хозяйства участвуют в реализации государственных программ, проектов по развитию местных экономик. Идея территориально ориентированного подхода определяет

приоритеты в диверсификации фермерской деятельности. Органическое хозяйствование, агроэкотуризм, «зеленые школы» являются знаковыми и перспективными направлениями развития национальной сельской экономики, способствуют устойчивому развитию сельских территорий.

Особая значимость крестьянских (фермерских) хозяйств проявляется и в том, что их создание приводит к появлению дополнительных рабочих мест на селе, способствует вовлечению в производственный процесс различных категорий населения (молодежи, пенсионеров), рациональному использованию ресурсов сельской территории, реализации бизнесинициатив на селе. Диверсификация деятельности фермеров позволит улучшить имидж не только отдельно взятой территории, но и государства в целом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Сельское хозяйство в Республике Беларусь: стат. сб. / Национальный стат. комитет Респ. Беларусь. Минск, 2019. 235 с.
- 2. Биржевые торги сельхозпродукцией [Электронный ресурс] 2019. Режим доступа: http://www.butb.by/ Дата доступа: 05.12.2019.
- 3. Корбут, Л.В. Оценка тенденций развития фермерского сектора Беларуси / Л.В. Кобрут, А.Ю. Легкова // Научные труды Белорусского государственного экономического университета. Минск: БГЭУ, 2019. Вып. 12. С. 214-220.
- 4. Послание Президента Республики Беларусь А.Г. Лукашенко белорусскому народу и Национальному собранию Республики Беларусь, 19 апреля 2019 г. [Электронный ресурс] / Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. Минск, 2003-2019. Дата доступа: 11.11.2019.
- 5. Гануш, Г.И. Три грани успеха: экономическая социальная и экологическая эффективность органического сельского хозяйства / Г.И. Гануш, И.А. Грибоедова // Беларуская думка. $2013. N \cdot 1. C. 77-87.$
- 6. Проект «Вовлечение общественности в экологический мониторинг и улучшение управления охраной окружающей среды на местном уровне» [Электронный ресурс] 2019. Режим доступа: http://pgs.greenlogic.by/ Дата доступа: 11.11.2019.
- 7. Легкова, А.Ю. Об органическом производстве в фермерских хозяйствах / А.Ю. Легкова // Органическое сельское хозяйство дело молодых: матер. Межд. научн. конф., посвященной 90-летию со дня рождения докт. с.-х. наук Довбана Корнея Ивановича. Горки: БГСХА. 2019. С. 30-36.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 15.11.2019



ПЕРЕЧЕНЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «АГРОПАНОРАМА» В 2019 ГОДУ

№ 1/2019

.Н. ШИЛО, Н.Н. РОМАНЮК,	Обоснование требований к ходовым системам автомобилей при
.Н. ОРДА, В.А. ШКЛЯРЕВИЧ,	использовании в сельском хозяйстве
.С. ВОРОБЕЙ, ЯН РАДОСЛАВ	
АМИНЬСКИ	
.И. НАЗАРОВ	Проектирование катковых приставок с кольчато-прутковыми
	рабочими органами и обоснование параметров их установки на
	раме оборотных плугов
.В. КУДИНА, И.О. СОКОРОВ	Получение высокопрочных износостойких металлопокрытий на
	деталях машин методом электродуговой наплавки поверхностей
.Н. КАЗАРОВЕЦ	Репродуктивные качества чистопородных и двухпородных сви-
	номаток
Э.К. ГОРОДЕЦКИЙ, В.В. ЛИТВЯК	Технологические преимущества диэлектрической сепарации при
	получении семян пряно-ароматических культур
І.В. ЯНКО, Е.М. ЗАЯЦ	Аэроионная активация некоторых микробиологических процессов
.В. НОВИКОВ, Д.А. ЖДАНКО,	Определение мощности дизельного двигателя динамическим ме-
.А. НЕПАРКО	тодом в производственных условиях
.В. САФРОНЕНКО,	Этапы технологии бактериальных заквасок
.В. САФРОНЕНКО	
.В. КОРБУТ, С.Д. ЮДИЦКАЯ	Управление производством органической продукции в сельско-
	хозяйственной организации
.А. КОНТРОВСКАЯ,	Производственно-сбытовой потенциал организации и пути его
.В. ШИМАНИЦА	повышения
.И. ПОПОВ, В.М. СИНЕЛЬНИКОВ	Экономико-правовое воспитание в системе агроинженерного
	образования

№ 2/2019

В.Н. ЕДНАЧ, В.П. ЧЕБОТАРЕВ	Обоснование параметров калибрующей поверхности картофелесортировальной машины
А.С. МЕЗГА, Н.О. ПЕТРОЧЕНКО, С.Р. БЕЛЫЙ, Г.А. РАДИШЕВСКИЙ	Исследование закономерности изменения скорости резания и мощности, затрачиваемой на привод режущих аппаратов в зерноуборочных комбайнах
Н.К. ТОЛОЧКО, О.В. СОКОЛ	Аддитивные технологии: проблема ступенчатого рельефа поверхности
Н.Н. ВЕЧЕР	Агробиологические особенности возделывания амаранта метельчатого (AMARANTHUS PANICULATUS L) в условиях интродукции
А.В. КЛОЧКОВ, О.В. ГОРДЕЕНКО, С.С. ШКУРАТОВ, В.В. АЗАРЕНКО	Анализ способов и технических средств протравливания семян и перспективы их развития
А.В. ГОРНЫЙ, Н.Ф. БОНДАРЬ	Использование мелкой фракции клубней картофеля в диетиче- ском питании
А.М. МАЗУР	Основные факторы, влияющие на выбор технологии производства крахмала из картофеля
И.И. СТАНКЕВИЧ, А.С. ГЕРАСИМЕЦ	Методические аспекты оценки устойчивости развития молокоперерабатывающих предприятий (на примере УП «Оршанский молочный комбинат»)
А.А. БУРАЧЕВСКИЙ, Г.И. ГАНУШ	Варианты формирования расчетных цен на продукцию свиноводческих племенных организаций в условиях межхозяйственной кооперации



Н.Г. КОРОЛЕВИЧ,	Расчет ущерба от отклонения напряжения в осветительных
Г.И. ЯНУКОВИЧ, Е.А. ТЮНИНА	установках
В.М. КАПЦЕВИЧ, В.К. КОРНЕЕВА,	Очистка и гомогенизация рабочей жидкости при обкатке
И.В. ЗАКРЕВСКИЙ, А.Н. РЫХЛИК	гидромеханических коробок переключения передач
	№ 3/2019
С.Н. БОНДАРЕВ, А.В. КИТУН,	Определение затрат энергии на эвакуацию молока из доильного
В.И. ПЕРЕДНЯ	стакана с учетом диаметра молочной трубки
А.И. БОБРОВНИК,	Показатели трактора «БЕЛАРУС» со сдвоенными колесами при
Т.А. ВАРФОЛОМЕЕВА	повороте
А.В. НОВИКОВ, Д.А. ЖДАНКО,	Новые подходы к разработке методики определения нормативов
Т.А. НЕПАРКО, А.М. НОВИК	потребности в сельскохозяйственной технике
В.С. КОРКО, П.В. КАРДАШОВ	Исследование электротехнологии активации растворов в кормо-
	приготовлении и поении животных
В.А. ЛЮНДЫШЕВ,	Эффективность скармливания кормов из рапса, люпина и вики
В.Ф. РАДЧИКОВ, В.П. ЦАЙ	молодняку крупного рогатого скота
М.А. АСНОВИН	Современное состояние и перспективные направления развития
E.D. WARANERIHI E.C. EVIIC	рыбоводства в Республике Беларусь
Е.В. ТАРАЗЕВИЧ, Е.С. ГУК	Способы повышения эффективности использования прудовых
D A KODOTHIOKHI	площадей Беларуси
В.А. КОРОТИНСКИЙ,	Исследование электропотребления и качества электроэнергии в
В.М. ЗБРОДЫГА, А.И. ЗЕЛЕНЬКЕВИЧ	электрических сетях предприятия ПРУП «Экспериментальная
	база им. Г.И. Котовского»
А.В. МУЧИНСКИЙ, Н.Г. КОРОЛЕВИЧ,	Производительность агрегата – основа для нормирования механизированных работ в растениеводстве
Г.Ф. ДОБЫШ, Д.Ю. ИВАШКЕВИЧ	низированных расоот в растениеводстве
С.К. МАТАЛЫЦКАЯ,	Экономический эффект распределения накладных затрат при
Н.Н. КИРЕЕНКО	калькулировании себестоимости продукции (работ, услуг)
В.М. КАПЦЕВИЧ, В.К. КОРНЕЕВА,	Удаление частиц загрязнений различной природы при очистке
И.В. ЗАКРЕВСКИЙ,	моторного масла методом центрифугирования
И.Д. ДАНЦЕВИЧ	The second secon
	№ 4/2019
А.В. КЛОЧКОВ, О.В. ГОРДЕЕНКО,	Теоретические исследования процесса обработки семян сельско-
С.С. ШКУРАТОВ, В.В. АЗАРЕНКО	хозяйственных культур в пневмомеханическом протравливателе
Ф.И. НАЗАРОВ, И.С. КРУК	Обоснование конструктивных и технологических параметров
	кольчато-прутковых катков
Н.А. ВОРОБЬЕВ, С.А. ДРОЗД	Теоретическое обоснование межвальцового зазора и соотноше-
	ния скоростей вальцов при двухстадийном измельчении зерна
Г.А. РАДИШЕВСКИЙ, С.Р. БЕЛЫЙ,	Обоснование нагрузки на сепарирующий орган картофелеубо-
Н.П. ГУРНОВИЧ, Г.Н. ПОРТЯНКО,	рочной машины при использовании приемной части, состоящей
Е.Ю. ЖУРАВСКИЙ, А.С. МЕЗГА	из плоского лемеха и дисковых боковин
Н.О. ПЕТРОЧЕНКО	
Н.К. ТОЛОЧКО, О.В. СОКОЛ	Листовая штамповка металлов с помощью штампов, изготовлен-
CE MODITIE VE ELVE	ных с использованием аддитивной LOM-технологии
С.Г. ЯКОВЧИК, Н.Г. БАКАЧ,	Техническое обеспечение технологий поливного земледелия в
В.И. ВОЛОДКЕВИЧ, А.В. ШАХ	Республике Беларусь
ЛИ ЦИНЧЖЭНЬ, А.Н. ЛЕОНОВ	Определение номинальной мощности двигателя трактора и ско-
	рости МТА для выполнения конкретной операции с минималь-
р и шонш ингр	ным уровнем удельных затрат
В.А. ЛЮНДЫШЕВ, В.Ф. РАДЧИКОВ,	Продуктивное использование энергии рационов бычками при включении в состав комбикормов органического микроэлемент-
в.Ф. РАДЧИКОВ, В.П. ЦАЙ	ного комплекса
И.Н. КАЗАРОВЕЦ	Оценка племенных качеств животных различных пород и сочета-
п.н. казаговец	ний с использованием селекционных индексов
	ини с непользованием селекционных индексов



					_	_
ПА	Н	0	P	A	М	A

Д.И. КРИВОВЯЗЕНКО, Е.М. ЗАЯЦ	Электрохимическое изменение концентрации ионов в молочной		
	сыворотке		
Н.Ф. КОРСУН,	Анализ себестоимости производства говядины в сельскохозяй-		
М.М. КОНДРОВСКАЯ	ственных организациях Республики Беларусь на основе стати-		
	стико-экономического метода исследований		
30 8/0040			

№ 5/2019

JNº 5/2019				
В.В. ГУСЬКОВ, А.С. ПОВАРЕХО, А.А. СУШНЕВ, В.И. ШИМУКОВИЧ, П.А. ШИШКО, В.Н. ГАПАНОВИЧ,	Исследование тягово-сцепных свойств колесного трактора при работе на переувлажненных землях			
П.В. ЛЫСАНОВИЧ				
А.А. АНАНЧИКОВ	Стабилизация опорной реакции при контактном копировании поверхности поля навесным устройством кормоуборочного комплекса			
В.А. КАЗАКОВ	Разработка и исследования зерноочистительной машины для технологии плющения зерна			
В.П. ЧЕБОТАРЕВ, В.Н. ЕДНАЧ, Э.В. ЗАЯЦ, А.И. ФИЛИППОВ	К вопросу формирования узкопрофильных гряд			
В.А. ЛЮНДЫШЕВ,	Переваримость питательных веществ и продуктивность молодня-			
В.Ф. РАДЧИКОВ, В.П. ЦАЙ,	ка крупного рогатого скота при скармливании биологически ак-			
Т.Л. САПСАЛЕВА	тивной добавки			
И.М. ШВЕД	Определение производительности миксера при перемешивании жидкого навоза в навозохранилище			
И.А. КОНТРОВСКАЯ, О.Г. ГАНУШ	Бессубстратная технология выращивания овощей как фактор повышения эффективности овощеводства			
М.А. ПРИЩЕПОВ,	Экспериментальные исследования работы трансформатора со			
А.И. ЗЕЛЕНЬКЕВИЧ,	схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым			
В.М. ЗБРОДЫГА	проводом» при несимметричной нагрузке			
О.Ч. РОЛИЧ, В.Е. ТАРАСЕНКО	Многоканальная интегрированная система виброакустической и			
	тепловой диагностики дизельных двигателей			
А.В. МУЧИНСКИЙ,	Расчет погектарного расхода топлива на механизированных ра-			
Н.Г. КОРОЛЕВИЧ,	ботах			
Д.Ю. ИВАШКЕВИЧ				

№ 6/20<u>1</u>9

	312 0/2017
Ю.И. ТОМКУНАС, В.Н. КЕЦКО,	Повышение проходимости машинно-тракторных агрегатов при
Т.М. ЧУМАК, В.В. ЯРОШ	работе на переувлажненных пойменных лугах
Г.Н. ПОРТЯНКО, Н.П. ГУРНОВИЧ,	Активная ботвовыделяющая решетка к картофелекопателю
Г.А. РАДИШЕВСКИЙ	KCT-1,4M
А.Н. ЛЕОНОВ, ЛИ ЦИНЧЖЭНЬ	Определение номинальной мощности двигателя комбайна и ско-
	рости его движения при уборке зерновых, обеспечивающих ми-
	нимальный уровень удельных затрат при заданной производи-
	тельности труда
Л.М. АКУЛОВИЧ, А.В. МИРАНОВИЧ,	Влияние технологических режимов магнитно-электрического
В.Г. МИСЬКО	упрочнения на производительность процесса
Н.Г. КОРОЛЕВИЧ, Г.И. ЯНУКОВИЧ,	Расчет ущерба от отклонения напряжения в асинхронных элек-
Е.А. ТЮНИНА	тродвигателях
Е.М. ПРИЩЕПОВА	Оптимизация параметров настройки частотно-регулируемого
	асинхронного электропривода с бездатчиковым векторным
	управлением
О.Ч. РОЛИЧ, В.Е. ТАРАСЕНКО,	Интегрированная система виброакустической и тепловой диагно-
И.И. БАЛАШ	стики систем, узлов и механизмов дизельного двигателя на базе
	беспроводной mesh-сети
А.Ю. ЛЕГКОВА	О развитии фермерских хозяйств в условиях диверсификации
	сельской экономики

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 желательно 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:

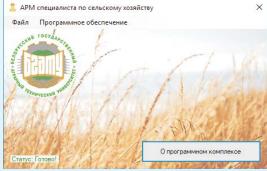
220023, г. Минск, пр-т Независимости, 99, корп. 5, к. 602; 608. БГАТУ

Программный комплекс автоматизированного рабочего места (APM) специалиста сельского хозяйства

Предназначен для поддержки принятия решения по планированию производства и эффективному использованию кормовых ресурсов для молочно-товарных комплексов и включает в себя следующие программные приложения:

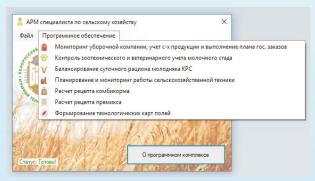
- по балансированию суточного рациона кормления молодняка КРС;
- по расчету рецепта комбикормов;
 по расчету рецепта премиксов;
- по контролю зоотехнического и ветеринарного учета молочных коров;
- по планированию и мониторингу работы техники (ПО разработано с элементами искусственного интеллекта);
- по мониторингу работ по уборке сельскохозяйственной продукции, выполнения плана государственных поставок, учета и хранения кормов и т.д.;
- по созданию технологических карт полей на основе данных агрохимического состава почвы, истории урожайности и истории полей хозяйства (для технологии точного земледелия).





Окно запуска программы активации лицензионных ключей APMa

Окно запуска программы АРМа



Окно главного меню АРМа



Окно запуска программы адресного расчета рецепта премиксов



Окно запуска программы планирования и мониторинга работы сельскохозяйственной техники



Окно запуска программы формирования технологических карт полей

