



ISSN 2078-7138

Агропанорама

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

№ 3
июнь
2022

В номере:

*Уточненная модель заднего ведущего моста
с кулачковым управлением наружного
колеса сдвоенного движителя*

*Влияние вибрации стойки на тяговое
сопротивление глубокорыхлителя*

*Методика расчета основных узлов
электроактиватора биологической
системы пивоваренного ячменя*

*К вопросу о диапазоне регулирования скорости
и потерях асинхронного двигателя при
вентиляторной нагрузке и
параметрическом
регулировании
скорости*



XXXII МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА «БЕЛАГРО – 2022»



С 7 по 11 июня на площадке выставочного центра Китайско-Белорусского индустриального парка «Великий Камень» проходила 32-я Международная специализированная выставка «БЕЛАГРО – 2022», на которой новейшие достижения в области сельского хозяйства и сельхозмашиностроения продемонстрировали белорусские и зарубежные аграрии, ученые и промышленники. В работе выставки приняли участие более 420 организаций, фирм и компаний.

Белорусский государственный аграрный технический университет постоянный участник выставки. С каждым годом увеличивается количество научных разработок, которые предлагают ученые БГАТУ для предприятий АПК. В этом году на стенде университета были представлены баннеры и мультимедийная презентация с информацией о научно-исследовательской работе БГАТУ, натурные образцы упрочненных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин, новые материалы и технологии, созданные в университете, моногра-

фии, учебники и учебные пособия, справочники, методические указания, авторами которых являются работники университета.

Наибольший интерес посетителей экспозиции БГАТУ был проявлен к разработкам – «Технология импульсного закалочного охлаждения жидкостью (ТИЗОЖ) сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин», «Программный комплекс автоматизированного рабочего места (АРМ) специалиста сельского хозяйства», «Рекомендации по проектированию катковых приставок для пахотных агрегатов», «Методика оценки технического состояния полевых штанговых опрыскивателей», «Комплексная кормовая добавка-концентрат кормовой комплексный «Протэн».

Традиционно, с целью совершенствования профессионального мастерства обучающихся и мастеров производственного обучения, а также с целью выявления и поддержки одаренной и талантливой сельской молодежи, на базе БГАТУ прошел республиканский конкурс профессионального мастерства «Лучший пахарь». Белорусский государственный аграрный технический университет занял первое место в командном зачете среди учреждений образования. В личном зачете среди учащихся аграрных вузов и колледжей победителем стал студент БГАТУ Чура Леонид.

В рамках «БЕЛАГРО – 2022» Институт повышения квалификации и переподготовки кадров АПК организовал проведение Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК» при участии и поддержке Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, Национальной академии наук Беларуси, Российской академии кадрового обеспечения агропромышленного комплекса. В конференции приняли участие представители аграрных образовательных и научных учреждений Беларуси, Российской Федерации, Казахстана, Узбекистана.

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

АГРОПАНОРАМА 3 (151) июнь 2022

Издается с апреля 1997 г.

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

Учредитель
Белорусский государственный
аграрный технический университет

Главный редактор
Николай Николаевич Романюк

Заместитель главного редактора
Михаил Александрович Прищепов

Редакционная коллегия:

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

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

Компьютерная верстка
В.Г. Леван

Адрес редакции:

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

Прием статей и работа с авторами:

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

БГАТУ, 2022.

Формат издания 60 x 84 1/8.

Подписано в печать с готового оригинала-макета 27.06.2022 г. Зак. № 462 от 27.06.2022 г.

Дата выхода в свет 30.06.2022 г.

Печать офсетная. Тираж 100 экз.

Статьи рецензируются.

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

ЛП № 023330/316 от 30.10.2020 г.

Выходит один раз в два месяца.

Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884.

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

для индивидуальных подписчиков - 39,84 руб.;

ведомственная - 41,94 руб.;

Цена журнала в киоске БГАТУ - 11,70 руб.

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

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственное машиностроение. Металлообработка

В.А. Левчук

Определение технологических параметров обмолачивающего устройства и экономическая эффективность его применения в линии первичной переработки льна.....2

А.П. Ляхов, Т.А. Непарко, Н.Н. Быков, О.В. Жаврид

Параметры оценки приспособленности энергосредств к агрегатированию в составе МТА.....6

Т.А. Варфоломеева, С.А. Рынкевич, И.М. Морозова

Уточненная модель заднего ведущего моста с кулачковым управлением наружного колеса сдвоенного движителя.....10

**В.П. Чеботарев, Д.А. Яновский, А.А. Зенов,
Д.Н. Бондаренко, А.Н. Новик**

Влияние вибрации стойки на тяговое сопротивление глубокорыхлителя.....17

Технологии производства продукции растениеводства и животноводства. Зоотехния

В.Л. Сельманович

Влияние различных приемов возделывания на продуктивность козлятника восточного.....21

Энергетика. Транспорт

О.В. Бондарчук

Методика расчета основных узлов электроактиватора биологической системы пивоваренного ячменя.....25

М.А. Прищепов

К вопросу о диапазоне регулирования скорости и потерях асинхронного двигателя при вентиляторной нагрузке и параметрическом регулировании скорости.....29

Технический сервис в АПК. Экономика

Л.В. Корбут, К.Н. Соболев

К вопросу управления рисками в региональных агропродовольственных системах.....39

Г.И. Гануш, В.Б. Григорьева

Актуальные направления адаптации учебных программ учреждений аграрного образования к современным процессам инновационной и рыночной трансформации экономики.....44

УДК 631.358: 633.521

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБМОЛАЧИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ЛИНИИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЬНА

В.А. Левчук,

ст. преподаватель каф. технического сервиса и общинженерных дисциплин БГСА

В статье представлена методика определения технологических параметров разработанного в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии обмолачивающего устройства линии первичной переработки льна с эластичным рабочим органом. Предложенная методика основывается на результатах теоретических и экспериментальных исследований. Применение разработанной номограммы позволяет в значительной мере облегчить задачу по выбору технологических режимов работы устройства. На основании результатов, полученных в ходе реализации сравнительных производственных испытаний, выполнено обоснование экономической эффективности применения разработанного обмолачивающего устройства в линии первичной переработки льна «Van Dommele».

Ключевые слова: лен, обмолачивающее устройство, производительность, лента стеблей льна, льнотреста, эластичный бич, методика расчета, экономический эффект.

The article presents a method for determining the technological parameters of the threshing device for the line of primary processing of flax with an elastic working body in the form of a nomogram developed at the Belarusian State Agricultural Academy. The proposed technique is based on the results of theoretical and experimental studies. The use of the developed nomogram makes it possible to greatly facilitate the task of choosing the technological modes of operation of the developed device. On the basis of the results obtained during the implementation of comparative production tests, a justification was made for the economic efficiency of using the developed threshing device in the Van Dommele flax primary processing line.

Key words: flax, threshing device, performance, flax stalks, flax straw, elastic scourge, calculation method, economic effect.

Введение

В последнее время наблюдается тенденция к локализации, регионализации и децентрализации глобальной производственной цепочки и цепочки поставок семян льна, поэтому необходимо реконструировать глобальную искусственную цепочку. Столкнувшись с серьезными промышленными изменениями в постэпидемиологический период, предприятия разных стран должны принимать профилактические меры. В такой ситуации возникает острая потребность в обеспечении льносеющих хозяйств Республики Беларусь семенами высоких посевных кондиций районированных сортов, наиболее полно отвечающих почвенно-климатическим условиям [1].

В обеспечении льносеющих хозяйств посевным материалом главная ставка делается на комбайновую технологию уборки. При этом доля применения комбайновой технологии от общего объема убираемых площадей в разных хозяйствах значительно различается [1]. Иногда некоторые льносеющие хозяйства вынуждены убирать посевы льна применяя раздельную технологию. Стремление снизить затраты топлива на сушку вороха также вынуждает сдвигать технологию комбайновой уборки льна на более поздние

сроки, что снижает временные рамки проведения уборочных работ. Вместе с тем, возникают риски потери части урожая, связанные с погодными условиями. И хотя в последние несколько лет погода способствовала проведению уборочных работ, опыт предыдущих лет показал, что применение одной технологии уборки грозит существенной потерей урожая [2]. В таком случае одним из резервов получения дополнительного семенного материала, пригодного для посева, может стать выделение его из льнотресты в процессе очеса (обмолота) в линии первичной переработки льна.

Под выделение семян в процессе первичной переработки льнотресты приспособлены линии первичной переработки льна иностранного производства, такие как «Van Dommele» или «Deroortere» [3]. Отделение семенного материала в данных линиях производится способом очеса устройствами колебательного типа с гребневым рабочим органом.

Особенность процесса отделения семян в линии заключается в том, что в очесывающий аппарат подается лента льнотресты высокой степени растянутости (1,3-1,4), с относительным перекосом стеблей в ленте, также наблюдаются скрутки стеблей.

Несмотря на то, что семенные коробочки льна вызревшие, сухие (влажностью 12-14 %), легко раз-

рушаются и отрываются от плодоножки, работа применяемых в данных линиях очесывающих аппаратов колебательного типа с одним гребневым рабочим органом сопровождается повреждением стеблей, отходом их в путанину (до 8 %), высокой повреждаемостью семян, намотками на рабочий орган [1; 3]. В отдельных случаях, при переработке льнотресты высокой степени растянутости и спутанности, предприятия вынуждены вовсе отключать очесывающее устройство от технологического процесса.

Для снижения негативного влияния серийного очесывающего аппарата была произведена его модернизация путем замены стального гребневого рабочего органа на полиуретановый бич, а в нижней части устройства установлена дека. Работа эластичного бича совместно с жестко установленной декой обеспечивает обмолот ленты льнотресты, находящейся в молотильном зазоре между бичом и декой. Подробное описание и принцип работы устройства приведены в источниках [3, 4].

Полученная в результате проведенных лабораторных исследований математическая модель позволила определить значения факторов, при которых достигается максимальная степень обмолота (скорость подачи ленты льна – 1,25 м/с; зазор между рабочим органом и сепарирующей решеткой (декой) – 0,01 м; частота вращения рабочего органа – 3,09 об/с).

Для подтверждения теоретических и экспериментальных исследований были проведены производственные испытания обмолачивающего устройства в линии первичной переработки льна «Van Dommele» [5].

Целью работы является разработка методики выбора технологических параметров обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом и экономическое обоснование целесообразности применения предлагаемого обмолачивающего устройства.

Основная часть

Процессы, выполняемые в линии первичной переработки льна, в производственных условиях строго регламентированы. Они нацелены на качественную работу мяльно-трепального механизма, а получение семян льна – процесс второго порядка. При этом изменяющимися параметрами для обмолачивающего устройства в линии переработки льна являются: скорость подаваемой ленты льнотресты, высота и плотность подаваемого слоя ленты, качество льнотресты. Исходя из экономической целесообразности, в линиях иностранного производства перерабатывают льнотресту номерностью не ниже 1,0.

Методика расчета технологических параметров обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом линии первичной переработки льна основывается на

результатах теоретических и экспериментальных исследований [6-9]. В зависимости от состояния льнотресты, поступающей на обмолот, целесообразно регулировать величину толщины подаваемого на обмолот слоя льнотресты. Для получения высокой степени обмолота, технологические параметры необходимо устанавливать на оптимальных значениях, поскольку первоочередной задачей линии первичной переработки льна является производство волокна высокого качества, а не семян, и ее рентабельность определяется производительностью по льнотресте. Поэтому в условиях производства следует ориентироваться на производительность всей линии первичной переработки льна по льнотресте.

В результате производственных испытаний была разработана номограмма (рис. 1), связывающая технологические параметры и производительность линии первичной переработки льна. Предложенная номограмма позволяет осуществлять настройки технологических параметров разработанного обмолачивающего устройства исходя из качества подаваемой на обмолот ленты льнотресты и заданной величины степени обмолота, не прибегая к сложным математическим зависимостям.

На рисунке 1 в первом квадрате номограммы представлены линии номерности льнотресты, поступающей в линию первичной переработки. Во втором – график изменения величины зазора между бичом и декой в зависимости от толщины слоя стеблей льна. В третьем квадрате представлены линии степени обмолота. В четвертом – график изменения скорости

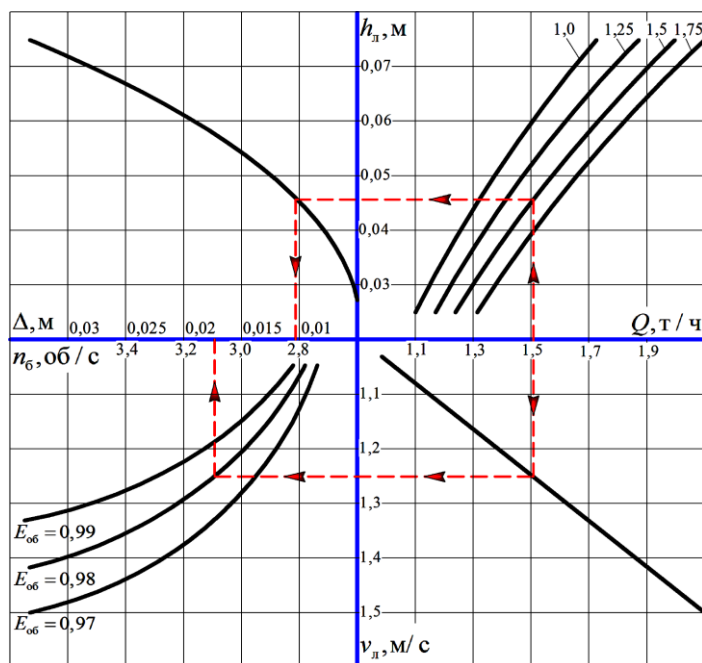


Рисунок 1. Номограмма для выбора технологических параметров разработанного обмолачивающего устройства: Q – производительность линии, т/ч; h_n – толщина слоя стеблей льна, м; Δ – зазор между бичом и декой, м; n_6 – частота вращения рабочего органа, об/с; $E_{об}$ – степень обмолота; v_n – скорость ленты льна, м/с

ленты льна в зависимости от производительности линии первичной переработки.

Приведем пример использования номограммы. Исходные данные: производительность линии первичной переработки $Q = 1,5$ т/ч; номерность льнотресты, поступающей в линию первичной переработки – 1,5; степень обмолота, соответствующая агро-техническим требованиям – 0,98.

В первом квадрате номограммы (рис. 1) проводим перпендикуляр вверх от точки, соответствующей $Q = 1,5$ т/ч, до пересечения с линией номерности льнотресты 1,5 и проводим горизонталь до оси $h_{\text{л}}$. Таким образом определяем величину толщины слоя стеблей льна $h_{\text{л}} = 0,046$ м. Продолжив горизонталь до пересечения с графиком второго квадрата и опустив его на ось Δ , получим значение зазора между бичом и декой $\Delta = 0,011$ м. В четвертом квадрате от точки, соответствующей $Q = 1,5$ т/ч, проводим перпендикуляр до пересечения с графиком зависимости скорости ленты льна от производительности линии и проводим горизонталь до оси $v_{\text{л}}$. Таким образом определяем скорость ленты льна $v_{\text{л}} = 1,25$ м/с. Продолжив горизонталь до линии степени обмолота $E_{\text{об}} = 0,98$ и проведя перпендикуляр до оси $n_{\text{б}}$, получим значение частоты вращения рабочего органа $n_{\text{б}} = 3,09$ об/с.

Данная номограмма позволяет произвести настройки технологических параметров предложенного обмолачивающего устройства исходя из заданной производительности линии и номерности льнотресты, поступающей на обработку, обеспечивающие необходимую степень обмолота.

В результате проведенных производственных испытаний параметров и режимов работы обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом в линии первичной переработки льна фирмы «Van Dommele» установлено, что в сравнении с серийным гребневым рабочим органом, увеличивается степень обмолота лент льна с 0,82 до 0,988, происходит снижение энергозатрат на дальнейшую переработку льновороха, а также снижение травмирования и микроповреждений семян с 1,5 % до 1,0 %, снижение общих потерь семян с 3,0 % до 0,9 %, повреждение стеблей, влияющее на выход длинного волокна, с 5,0 % до 1,9 % и отход стеблей в путанину с 4,0 % до 2,0 %.

Результаты проведенных сравнительных производственных испытаний легли в основу определения экономической эффективности разработанного обмолачивающего устройства.

Применение разработанного обмолачивающего устройства позволяет получать дополнительно (за счет снижения потерь) 3,85 тонн семян льна и 30,6 тонн льняной тресты при годовом объеме производства линии первичной переработки льна «Van Dommele» – 5100 тонн.

Для расчета экономической эффективности предлагаемого обмолачивающего устройства использовали стоимость льнопродукции по данным льнозаводов по состоянию на 1-й квартал 2022 года (табл. 1). Расчет проводили в соответствии с ТКП 151–2008 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей», где основным критерием является годовой приведенный экономический эффект [10].

Таблица 1. Стоимость льнопродукции

Показатели	Стоимость, руб.
Цена одной тонны семян	2500
Цена одной тонны льнотресты	120
Цена одной тонны льноволокна (длинного)	6132
Цена одной тонны льноволокна (короткого)	2550,2

При проведении расчетов были приняты: стоимость льнотресты номерностью 1,25, стоимость семян льна отечественного производства второй репродукции. Для длинного волокна была принята стоимость волокна 11-го номера, а короткого – стоимость 4-го номера.

Средняя производительность линии на льнотресте номерностью 1,25 – 1,5 т/ч, а нормативная годовая загрузка – 1020 часов. Мощность электродвигателя, используемого для привода механизмов обмолачивающего устройства, – 4,5 кВт. Для обслуживания обмолачивающего устройства требуется один работник.

Результаты расчета экономической эффективности обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом представлены в таблице 2.

Применение разработанного обмолачивающего

Таблица 2. Показатели экономической эффективности применения разработанного обмолачивающего устройства

Показатели	Устройство для отделения коробочек льна	
	серийное	предлагаемое
Сумма капиталовложений, руб.	22885,0	23364,30
Годовой объем льняной тресты, поступающей на обмолот, т	1530	
Эксплуатационные затраты, руб.	8199,30	8283,20
Приведенные затраты на обработку одной тонны льняной тресты, руб./т	6,36	6,44
Годовой экономический эффект, руб.	64161,0	
Экономический эффект в расчете на одну тонну переработанной льняной тресты, руб./т	41,94	
Срок окупаемости капитальных вложений, лет	0,36	

устройства с эластичным рабочим органом в линии первичной переработки льна «Van Dommele» при годовом объеме переработки льняной тресты, поступающей на обмолот в количестве 1530 тонн, стоимости устройства 604,3 руб. и его установки в линию, позволит обеспечить годовой экономический эффект на уровне 64161 руб., что соответствует 41,94 руб./т. Срок окупаемости капитальных вложений при этом составит 4,5 месяца в масштабе цен первого квартала 2022 года. При этом предприятие получит дополнительно 2,8 тонн семян в год и снизит потери льнотресты, связанные с отходом в пуганину, на 30,6 тонн в год.

Заключение

Предложена методика выбора технологических параметров обмолачивающего устройства колебательного типа с эластичным рабочим органом, основанная на результатах научных исследований процесса обмолота. При выборе технологических параметров разработанного устройства в качестве исходных данных принимаются: производительность линии первичной переработки льна, номерность льнотресты, подаваемой на обмолот, и требуемая степень обмолота. Разработанное устройство рекомендуется применять в линиях первичной переработки льна с производительностью 1,1...2,0 т/ч, при номерности перерабатываемой льнотресты 1,0...1,75.

Годовой экономический эффект от внедрения обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом составляет 64161,0 руб., а экономический эффект в расчете на одну тонну переработанной льнотресты – 41,94 руб., в масштабе цен первого квартала 2022 года.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основы расчета рабочих органов машин и оборудования для производства семян льна: монография / В.А. Шаршунов [и др.]. – Горки: БГСХА, 2016. – 156 с.

2. Почему лен поднимают руками – репортаж с завода, куда собирается Лукашенко [Электронный ресурс]: Sputnik. Режим доступа: <https://sputnik.by/20190823/Poka-zarplaty-slabenkie-kak-lnozavod-pod-Dyatlovo-pytaetsya-stat-uspeshnym-1042507591.html>. Дата доступа: 20.03.2022 г.

3. Шаршунов, В.А. Исследование обмолачивающего устройства в линии первичной переработки льна / В.А. Шаршунов [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2015. – № 3. – С. 112-117.

4. Шаршунов, В.А. Поисковые эксперименты процесса обмолота лент льна устройством с эластичным рабочим органом в линии первичной переработки / В.А. Шаршунов, В.А. Левчук, М.В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 1. – С. 148-153.

5. Левчук, В.А. Результаты производственных испытаний обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом в линии первичной переработки льна «Van Dommele» / В.А. Левчук, М.В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 1. – С. 172-177.

6. Курзенков, С.В. Обоснование скорости зажимного транспортера обмолачивающего устройства линии первичной переработки льна / С.В. Курзенков, В.А. Левчук, М.В. Цайц // Агропанорама. – 2022. – № 1 (149). – С. 14-19.

7. Курзенков, С.В. Моделирование деформации формы коробочки льна при ее сжатии между бичом и декой в процессе обмолота / С.В. Курзенков, В.А. Левчук, М.В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 1. – С. 142-147.

8. Шаршунов, В.А. Поисковые эксперименты процесса обмолота лент льна устройством с эластичным рабочим органом в линии первичной переработки / В.А. Шаршунов, В.А. Левчук, М.В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 1. – С. 148-153.

9. Курзенков, С.В. Методика расчета параметров слоя стеблей льна в зоне обмолота / С.В. Курзенков, В.А. Левчук, М.В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 1. – С. 154-159.

10. Расчет экономической эффективности разработанного обмолачивающего устройства в линии первичной переработки льна «Van Dommele» / А.С. Алексеенко [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 2. – С. 186-191.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 11.05.2022

ПАРАМЕТРЫ ОЦЕНКИ ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ ЭНЕРГОСРЕДСТВ К АГРЕГАТИРОВАНИЮ В СОСТАВЕ МТА

А.П. Ляхов,

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

Т.А. Непарко,

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

Н.Н. Быков,

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

О.В. Жаврид,

студент агроинженерного факультета БГАТУ

В статье приведена методика оценки совместимости энергетических и силовых параметров колесных тракторов и сельскохозяйственных машин при обосновании рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов, моделировании оптимальных режимов их работы в условиях эксплуатации.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, мощность, двигатель, нагрузочный режим, скоростной режим, энергетические параметры, силовые параметры, совместимость.

A methodology for assessing the compatibility of energy and power parameters of wheeled tractors and agricultural machines in substantiating the rational assembly of machine-tractor units, modeling their optimal modes of operation in the field is presented in the article.

Key words: machine-tractor unit, power, engine, load mode, speed mode, energy parameters, power parameters, compatibility.

Введение

Технологические операции в растениеводстве выполняются мобильными машинно-тракторными агрегатами (МТА), а источником энергии является двигатель трактора. Трактор проектируется как тяговая машина, способная создать необходимое тяговое усилие для преодоления сопротивления сельскохозяйственной машины, и для этого он должен обладать определенными тягово-сцепными свойствами.

В Белорусском государственном аграрном техническом университете, на кафедре эксплуатации машинно-тракторного парка, ведется исследовательская работа по разработке научно-практических рекомендаций пооперационного использования технических средств, в рамках которой производится оценка приспособленности энергетических средств к агрегатированию в составе машинно-тракторных агрегатов.

Основная часть

Одним из важнейших показателей тягово-сцепных свойств трактора является тяговый КПД, значение которого определяется по выражению

$$\eta_t = \eta_{\text{мг}} \eta_{\delta} \eta_f,$$

где $\eta_{\text{мг}}$ – КПД, учитывающий потери мощности в трансмиссии;

$$\eta_{\delta} = 1 - \frac{\delta}{100} - \text{КПД, учитывающий потери мощности, связанные с буксованием движителей};$$

δ – буксование ведущих колес трактора, определяющее потери поступательной скорости агрегата, %;

η_f – КПД, учитывающий потери мощности при качении колес трактора.

В целом η_t показывает совершенство конструкции трактора, его технический уровень и учитывает долю мощности двигателя, связанной с ее производственными затратами.

По литературным данным [1-5], наибольшие значения тяговых КПД колесных тракторов находятся в пределах 0,60-0,70 на плотных почвах и 0,45-0,55 – на рыхлых. Мощность двигателя трактора при движении МТА расходуется на преодоление сопротивления передвижению трактора и мощности, затрачиваемой сельскохозяйственной машиной на выполнение технологической операции.

В общем случае необходимая мощность двигателя при движении тягового МТА равна

$$N_e = \frac{\left[R_m + G_t \left(f_t + \frac{i}{100} \right) \right] v_p}{\eta_{\text{мг}} \eta_{\delta}}, \quad (1)$$

где R_m – тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, кН;

G_t – эксплуатационный вес трактора, кН;

f_t – коэффициент сопротивления качению трактора на данном агрофоне;

i – уклон местности, %;

v_p – действительная скорость движения машинно-тракторного агрегата, м/с.

При работе тягово-приводного агрегата с активными рабочими органами мощность двигателя затрачивается на их привод через вал отбора мощности (ВОМ)

$$N_e = \frac{\left[R_m + G_t \left(f_t + \frac{i}{100} \right) \right] v_p}{\eta_{мг} \eta_{\delta}} + \frac{N_{\text{ВОМ}}}{\eta_{\text{ВОМ}}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{ВОМ}}$ – мощность, потребляемая на привод активных рабочих органов сельскохозяйственных машин и подводимая через ВОМ трактора, кВт;

$\eta_{\text{ВОМ}}$ – КПД привода ВОМ.

При комплектовании МТА следует учитывать, что допустимое значение используемой мощности двигателя при эксплуатации должно удовлетворять условию

$$N_e \leq N_{e.n} \eta_{N_e},$$

где $N_{e.n}$ – номинальная мощность двигателя, кВт;

η_{N_e} – допустимый коэффициент загрузки двигателя по мощности ($\eta_{N_e} = 0,80-0,95$).

С точки зрения агрегатирования, рациональный МТА должен соответствовать определенным требованиям:

- обеспечение норм агротехники при высоком качестве работ;
- достижение наивысшей производительности и минимального расхода топлива;
- обеспечение почвосберегающих технологий и соблюдение экологических требований;
- обеспечение удобного и безопасного обслуживания рабочего процесса.

При работе агрегата в оптимальном режиме необходимо учитывать непрерывное изменение характера нагрузки в процессе выполнения операции, что отражается на нестабильности эксплуатационных показателей агрегата.

Чтобы учесть случайные факторы для обоснования оптимальных параметров и режимов работы МТА, необходимо установить их вероятностно-стохастические характеристики [6, 7].

Как следует из уравнений (1) и (2), на потребляемую мощность двигателя оказывает влияние сопротивление рабочей машины R_m , которое в реальных условиях эксплуатации имеет случайный характер в вероятностно-стохастическом смысле. Однако в большинстве практических расчетов используются средние детерминированные значения показателей, подставляемых в расчетную формулу. Так, для почвообрабатывающих машин, культиваторов для междурядной обработки, картофеле- и корнеуборочных машин и др., среднее расчетное сопротивление определяется по формуле

$$R_m = k_0 b \pm G_m \frac{i}{100}, \quad (3)$$

где k_0 – удельное тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, кН/м;

b – конструктивная ширина захвата сельскохозяйственной машины, м;

G_m – эксплуатационный вес машины, кН.

В формуле (3) удельное тяговое сопротивление сельхозмашины определено при скорости движения 5 км/ч. При этом известно [4, 5], что удельное тяговое сопротивление увеличивается с ростом скорости по следующей зависимости:

$$k_{0v} = k_0 \left[1 + (v_p - v_0) \frac{\Delta c}{100} \right],$$

где v_0 – скорость движения, которой соответствуют значения k_0 (обычно принимается равной 5 км/ч = 1,4 м/с), м/с;

Δc – темп нарастания удельного тягового сопротивления в зависимости от скорости движения агрегата, %.

Основными факторами, определяющими оптимизацию параметров МТА по критерию эффективности труда, являются ширина захвата и рабочая скорость. Оптимальная скорость движения агрегата при постоянной ширине захвата определяет максимальную производительность. Эффективность в этом случае повышается при оптимальной загрузке двигателя и при выполнении операции с рекомендуемой по агротехнике скоростью движения МТА.

Улучшение показателей работы агрегата может быть достигнуто в результате улучшения рабочего процесса машин (достигается за счет совершенствования отдельных компонентов или сборочных единиц МТА), оптимизации параметров и режимов работы агрегата в целом, совершенствования организации работы агрегата.

Следует также учитывать, что методики проведения технико-эксплуатационных испытаний двигателей на стендах и тяговых испытаний тракторов не учитывают влияние таких факторов, как нестабильность тяговой нагрузки в реальных условиях эксплуатации. Колебания тяговой нагрузки трактора в зависимости от выполняемой сельскохозяйственной операции и физико-механических показателей почвенного фона приводят к недоиспользованию мощности двигателя до 15 % по сравнению с данными испытаний на стенде. Применение на тракторе устройств, позволяющих улучшить их тягово-сцепные свойства (силовые, позиционные и смешанное регулирование), также приводит к повышению производительности и улучшению топливной экономичности. Однако улучшения этих динамических и экономических показателей трактора за счет прогрессивных элементов тяговых испытаний не учитываются методикой.

Прогрессивным направлением развития сельскохозяйственной техники является создание и использование комбинированных агрегатов. Учитывая, что мощность является потенциалом повышения производительности, то реальные резервы связаны с изысканием путей использования мощности в МТА. Современные колесные тракторы конструктивно могут передавать потоки мощности по следующим каналам:

- через ведущие колеса трактора и развиваемого ими тягового усилия;
- через валы отбора мощности;

– используя гидравлические системы (или другие) дистанционной передачи мощности;

– комбинируемо, используя несколько каналов.

Важным узлом трактора, определяющим его возможность агрегатирования с сельскохозяйственными машинами, требующими отбора мощности, является ВОМ. Для большинства универсально-пропашных тракторов «БЕЛАРУС» он выполнен независимым и синхронным.

Крутящий момент на ВОМ (кН·м) определяется величиной мощности на привод рабочих органов и рассчитывается по формуле

$$M_{\text{в}} = \frac{9,74 N_{\text{ВОМ}}}{n},$$

где n – частота вращения ВОМ, мин⁻¹.

Во избежание динамических перегрузок ВОМ необходимо, чтобы момент инерции вращающихся масс машины, приведенный к хвостовику, не превышал 18 Н·м·с² при 540 мин⁻¹ и 5 Н·м·с² при 1000 мин⁻¹. Машины с повышенным моментом инерции вращающихся масс должны снабжаться обгонной муфтой, исключающей поломки привода в момент выключения ВОМ.

В случае сложной навески машин на трактор и отсутствия экспериментальных данных выполняются проверочные расчеты нагрузок, действующих на остои и другие элементы трактора, по следующим формулам [1]:

– нагруженность для заднего навесного устройства равна

$$P_{\text{пз}} = m_3 g \frac{l_{\text{п}} + \Delta H}{l_{\text{в}} \cdot 10^3},$$

– для переднего навесного устройства

$$P_{\text{пп}} = m_{\text{п}} g \frac{l_{\text{п}} + \Delta h}{l_{\text{в}} \cdot 10^3},$$

где $P_{\text{пз}}$, $P_{\text{пп}}$ – приведенные нагрузки на вылете 610 мм от оси подвеса, соответственно, на задней и передней навесках, кН;

m_3 , $m_{\text{п}}$ – массы машины на задней и передней навесках, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$l_{\text{п}}$, $l_{\text{в}}$ – изменяющееся значение расстояний, соответственно, от проекций оси подвеса и центра массы навешенной машины на горизонталь до осей задних колес, мм.

ΔH , Δh – горизонтальное расстояние от центра массы навесной машины до оси подвеса, мм;

Для полунавесных машин, присоединяемых к заднему навесному устройству, при длине продольных тяг 885 мм, приведенная нагрузка на вылете 610 мм от оси подвеса равна

$$P_{\text{пз}} = \frac{P_{\text{о}}}{1,7},$$

где $P_{\text{о}}$ – нагрузка на оси подвеса от полунавесной машины, кН.

Давление рабочей жидкости, необходимое для подъема навесной машины, определяется из уравнения

$$P_{\text{ц}} = \frac{10^2 P_{\text{пз}} i_{\text{о}}}{S},$$

где $P_{\text{ц}}$ – давление в нагнетательной магистрали, МПа;

$i_{\text{о}}$ – передаточное число навесного устройства в верхнем положении на вылете 610 мм от оси подвеса;

S – площадь поршня цилиндра, см²;

Давление масла для перевода полунавесной машины в транспортное положение

$$P_{\text{ц}} = \frac{10^2 P_{\text{о}} i_1}{S},$$

где i_1 – передаточное число навесного устройства в верхнем положении оси подвеса.

Величина объема рабочей жидкости (дм³), отбираемой цилиндром агрегируемой машины от гидровыводов трактора

$$V_{\text{ц}} = 8 \cdot 10^{-7} D^2 l,$$

где D – диаметр поршня работающего цилиндра, мм;

l – ход поршня, мм.

В современном тракторостроении, при принятой классификации тракторов по тяговым классам, привело к тому, что при росте энергонасыщенности тракторов, тяговые возможности в каждом классе остаются практически неизменными. В результате, при выполнении определенных операций одномашиными агрегатами, появляется избыточная мощность, которая не может быть использована для увеличения скорости или ширины захвата машины, так как повышение скорости агрегатов в технологическом плане – процесс медленный. Поэтому необходимо изыскивать перспективные направления по использованию мощности энергонасыщенных тракторов и повышению производительности труда. Создание комбинированных агрегатов в составе одной машины связано с конструктивными и технологическими проблемами. В ряде случаев целесообразно выполнять некоторые работы агрегатами в составе однооперационных машин. Это не исключает использование наряду с ними и комбинированных агрегатов, что находит подтверждение в мировой практике.

Появление новых и совершенствование конструкций уже существующих машин позволяет применять различные технологические решения при использовании однооперационных машин, таких, как плуг, каток, выравнивающий брус, зубовая борона и другие. Существует опыт использования двух- и трехкорпусных плугов с фрезами для разделки пластов дернины и дробления комков почвы. Практиковались возможности использования культиваторов,

борон и катков. Трудности заключались в отработке конструкции дополнительных навесных систем для машин, в частности, передней, при фронтальном расположении машин в агрегате. Навеска машины в этом случае приводит к ее пространственному и силовому воздействию на трактор. При этом отличительной особенностью является то, что на машину действует толкающее усилие, в отличие от тянущего усилия на задней навеске. Это приводит к выходу машины из равновесия и ее смещению в результате сил, действующих на рабочие органы, или управляющих действий тракториста. Дополнительно фронтальное расположение машины под воздействием толкающего усилия приводит к постоянному стремлению к заглублению. Поэтому для корректировки положения машины и направления движения, конструкция передней навески должна иметь достаточную жесткость, а прочность всех деталей и тяг должна исключать их изгиб или поломку. Большое значение имеет нагрузка на передний мост трактора и тяговое усилие, которое он развивает. С целью исключения отмеченных негативных явлений изыскиваются возможные конструктивные решения, среди которых можно отметить следующие:

- разработка передней навески с вертикальным (лифтовым) перемещением машины относительно трактора;
- создание конструкции передней навески с тянущим усилием взамен толкающего;
- применение четырехточечной навески машин взамен трехточечной.

Использование передней навески создает проблемы в конструкции гидравлической системы управления с целью поддержания заданной глубины хода рабочих органов, обеспечения грузоподъемности шин и самой навесной системы, прочности корпусных деталей. Высокие требования предъявляются к тягово-сцепным свойствам трактора и оптимальному перераспределению веса на колеса трактора.

В ходе проведенных исследований [1-3] по использованию комбинированных агрегатов с однооперационными машинами получены положительные результаты, что не исключает проведения дальнейших поисковых и научных исследований в этом направлении.

Заключение

1. Современный трактор является частью динамической системы МТА с учетом его внешних связей: тягового сопротивления сельхозмашин, реакций почвы на колесах, сцепных свойств ведущих колес, силовых факторов, действующих в элементах соединения в агрегате. На этом уровне определяются и оптимизиру-

ются основные эксплуатационные факторы и параметры трактора и оцениваются его возможности агрегатирования с сельскохозяйственными машинами.

2. В основу обоснования положен системный метод, который позволяет выявить пути повышения производительности труда и определить требования к перспективным конструкциям тракторов и сельхозмашин.

3. В мировом тракторостроении сохраняется тенденция повышения единичной мощности тракторных двигателей. Повышение энергонасыщенности позволяет трактору двигаться с большими тяговыми нагрузками в зоне высоких рабочих скоростей, а также использовать значительную часть мощности (до 80 %) на привод активных рабочих органов машин через ВОМ трактора.

4. Для определения возможностей агрегатирования трактора и сельхозмашины необходимо соответствие параметров основных элементов и систем, таких как навесная система, гидросистема, ВОМ, тормозная система и др. с возможными диапазонами их регулировок и настроек.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Амельченко, П.А. Агрегатирование тракторов «БЕЛАРУС»: учеб. пос. / П.А. Амельченко, Б.Я. Шнейсер, Н.Г. Шабуня. – Минск: Ураджай, 1993. – С. 181-183.
2. Ксеневич, И.П. Проектирование универсально-пропашных тракторов / И.П. Ксеневич, А.С. Солонский, С.М. Войчинский. – Минск: Наука и техника, 1980. – 320 с.
3. Перспективные мобильные энергетические средства (МЭС) для сельскохозяйственного производства / В.В. Кацыгин [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1982. – 272 с.
4. Техническое обеспечение производства продукции растениеводства: учеб. / А.В. Новиков [и др.]; под общ. ред. А.В. Новикова. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2012. – 512 с.
5. Технологии и техническое обеспечение производства продукции растениеводства: практикум / Т.А. Непарко [и др.]; под общ. ред. Т.А. Непарко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 216 с.
6. Непарко, Т.А. Моделирование взаимодействия технических средств при производстве механизированных работ / Т.А. Непарко // Агропанорама. – 2004. – № 3. – С. 14-16.
7. Непарко, Т.А. Прогнозирование рационального состава машинно-тракторных агрегатов / Т.А. Непарко // Агропанорама. – 2004. – № 2. – С. 30-36.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 04.03.2022

УТОЧНЕННАЯ МОДЕЛЬ ЗАДНЕГО ВЕДУЩЕГО МОСТА С КУЛАЧКОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ НАРУЖНОГО КОЛЕСА СДВОЕННОГО ДВИЖИТЕЛЯ

Т.А. Варфоломеева,

ст. преподаватель каф. тракторов и автомобилей БГАТУ

С.А. Рынкевич,

зав. каф. автомобилей БНТУ, докт. техн. наук

И.М. Морозова,

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

В статье рассмотрена уточненная модель заднего ведущего моста колесного трактора «БЕЛАРУС» тягового класса 5 с разнесенной главной передачей и двухвенцовым сателлитом в планетарном редукторе с кулачковой муфтой на полуоси для привода наружного колеса в ведомый режим. Приведена расчетная схема кулачковой муфты в разомкнутом и замкнутом виде.

Ключевые слова: ведущий мост, сдвоенные колеса, муфта, работа, динамическая модель.

A refined model of the drive axle of wheeled tractor "BELARUS" traction class 5 with a spaced main gear and a double-crown pinion gear in a planetary gearbox with a cam clutch on the axle shaft to drive the outer wheel into the driven mode is considered in the article. The calculation scheme of the cam clutch in open and closed form is given.

Key words: drive axle, dual wheels, clutch, operation, dynamic model.

Введение

Ведущие мосты тракторов и автомобилей предназначены для трансформации, распределения и передачи вращательного движения от вторичного вала коробки передач или раздаточной коробки к ведущим колесам, а также для сообщения поступательного движения к несущей системе (остову). Они состоят из главной или центральной передачи, дифференциала, валов ведущих колес (полуосей) и конечных передач [1]. Ходовая система колесного трактора включает в себя ведущие колеса, подвеску, которая соединяет колеса с остовом [2]. В последние годы для повышения эксплуатационных качеств колесных тракторов, кроме основных задних колес, применяют дополнительные наружные колеса, т.е. сдвоенные колеса по бортам трактора. Однако при работе с тяговоприводными агрегатами в полевых условиях ухудшаются показатели поворачиваемости агрегата. По предложенному авторами опорно-цепному устройству задних колес выполнен силовой расчет заднего моста с механизмом управления режимами движения дополнительных колес в виде кулачковой муфты.

Целью работы является разработка уточненной модели заднего ведущего моста колесного трактора «БЕЛАРУС» тягового класса 5 с разнесенной главной передачей и двухвенцовым сателлитом в планетарном редукторе с кулачковой муфтой на полуоси для привода наружного колеса в ведомый режим, расчетной схемы кулачковой муфты в разомкнутом и замкнутом виде.

В данной работе сформирована модель, основанная на результатах, приведенных в работах Опейко

Ф.А., Кацыгина В.В., Беккера М.Г., Скотникова В.А., Гуськова В.В., Вонга Дж., Бойкова В.П., Шарипова В.М., Бобровника А.И., Шило И.Н., Скойбида А.Т., Харитончика С.В., Горина Г.С., Гедроитя Г.И. и других ученых [3-9].

Основная часть

Наиболее нагруженными узлами трансмиссии энергонасыщенных колесных тракторов «БЕЛАРУС» являются детали заднего моста, включающие дифференциал, планетарные редукторы, тормоза, полуоси, передающие максимальные крутящие моменты при малой частоте вращения на сдвоенные внутренние и наружные колеса, взаимодействующие с опорной поверхностью и передающие на корпус заднего моста изгибающие моменты в вертикальной и горизонтальной плоскостях от реакций несущей поверхности, при перекосах от оси торможения и реактивных сил, а также от снижающих и растягивающих усилий машинно-тракторного агрегата при выполнении технологических операций, особенно при поворотах во время заезда на следующий гон.

Для уменьшения нагруженности узлов заднего моста и снижения металлоемкости конструкции применяют соосные планетарные редукторы, перераспределяющие вертикальную нагрузку между передними и задними мостами трактора в зависимости от характеристики планетарного ряда и величины передаваемого крутящего момента, а также предлагается устанавливать для уменьшения поворотной полосы, а следовательно, и повышения производительности при петлевых и беспетлевых поворотах при маневрировании трактора для заезда в следующий гон, механизм крепления перево-

пробуксовке ведущих колес, передаточных чисел в силовой передаче моментов инерции вращающихся деталей, массы мобильной машины и агрегата, податливости валов силовой передачи [10].

Уравнения движения элементов уточненной динамической схемы ведущего моста с разнесенной главной передачей и двухвенцовым сателлитом в планетарном редукторе с кулачковой муфтой на полуоси для перевода наружного колеса в ведомый режим (рис. 1), без учета подавления колебаний в узлах трансмиссии, расположенных в корпусе ведущего моста, имеет вид

$$\begin{aligned} J_p &= J_{p1} + \sum m_i a_{pi}^2; \\ J_r &= J_{r1} + \sum m_i a_{ri}^2; \\ \begin{cases} J_1 \ddot{\phi}_1 = M_n - M_1; \\ J_2 \ddot{\phi}_2 = M_1 u_{Г.П.} \eta_{Г.П.} - M_2; \\ J_{3л} \ddot{\phi}_{3л} = \frac{1}{2} M_2 u_{кр} \eta_{кр} - F_{К.П.} r_\delta; \\ J_{3п} \ddot{\phi}_{3п} = \frac{1}{2} M_2 u_{кр} \eta_{кр} - F_{К.П.} r_\delta; \\ J_p \ddot{\phi}_p = -[M_1 u_{Г.П.} \eta_{Г.П.} - (1 - u_{кр} \eta_{кр}) M_2 + M_p]; \\ J_r \ddot{\phi}_r = M_1 - M_r \end{cases} \quad (1) \end{aligned}$$

где J_p, J_r – соответственно колебательный и реактивный моменты инерции, кг·м²;

J_{p1}, J_{r1} – соответственно начальные колебательный и реактивный моменты инерции, кг·м²;

m_i – масса элемента с моментом инерции J_i , кг;

a_{pi} и a_{ri} – расстояние от центра инерции i -й массы до оси качения, проходящей перпендикулярно соответственно в продольной и поперечной плоскости, м;

J_1 – момент инерции главной передачи, кг·м²;

J_2 – момент инерции межколесного дифференциала, кг·м²;

M_n – момент, подводимый к ведущему мосту, Н·м;

$\ddot{\phi}_1, \ddot{\phi}_2$ – соответственно угловое ускорение маховой массы с моментом инерции главной передачи и дифференциала J_1, J_2 , рад/сек²;

$J_{3л}, J_{3п}$ – соответственно моменты инерции левого и правого ведущих колес, кг·м²;

$\ddot{\phi}_{3л}, \ddot{\phi}_{3п}$ – соответственно угловое ускорение маховой массы с моментом инерции левого и правого ведущих колес, рад/сек²;

J_p – колебательный и J_r – реактивный моменты инерции, кг·м²;

$\ddot{\phi}_p, \ddot{\phi}_r$ – соответственно угловое ускорение маховой массы с колебательным и реактивным моментами инерции J_p, J_r , рад/сек²;

$u_{кр}, \eta_{кр}$ – соответственно передаточное число и КПД конечной (бортовой) передачи (редуктора):

$u_{Г.П.}, \eta_{Г.П.}$ – соответственно передаточное число и КПД главной передачи;

$$M_1 = (\varphi_1 - \varphi_2 u_{Г.П.} + \varphi_p u_{Г.П.} - \varphi_r) / e_1,$$

где φ_1 и φ_2 – соответственно угол поворота (обобщенная координаты), рад;

φ_p и φ_r – соответственно углы поворота маховых масс с колебательным J_p и реактивным J_r моментами инерции, рад;

e_1 – податливость деталей главной передачи, рад/Н·м;

$$M_2 = [(\varphi_2 - (\varphi_{3л} + \varphi_{3п}))^2] / [(e_{2л} + e_{2п}) / 4],$$

где $\varphi_{3л}$ и $\varphi_{3п}$ – соответственно углы поворота маховых масс (ведущих колес) с моментами инерции $J_{3л}$ и $J_{3п}$, рад;

$e_{2л}, e_{2п}$ – соответственно крутильный податливости левой и правой полуосей, рад/Н·м;

$F_{К.П.}$ и $F_{К.П.}$ – соответственно касательные силы тяги, развиваемые левым и правым ведущими колесами, Н;

r_δ – динамический радиус ведущих колес, м;

M_p, M_r – соответственно колебательный и реактивный моменты $M_p = \varphi_p / e_p$, Н·м; $M_r = \varphi_r / e_r$, Н·м;

e_p, e_r – соответственно крутильные податливости колебательных и реактивных элементов, рад/Н·м;

Упростив систему уравнений (1), получаем

$$\begin{cases} (J_1 + J_2 / u_{Г.П.}^2) \ddot{\phi}_1 + (J_2 / u_{Г.П.}^2) \ddot{\phi}_p + M'_1 = 0; \\ (J_2 / u_{Г.П.}^2) \ddot{\phi}_1 + (J_2 + J_p) \ddot{\phi}_p + M'_2 u_{Г.П.} u_{кр} \eta_{кр} + \\ + M_p = 0; \\ J_K \ddot{\phi}_1 - M'_2 u_{Г.П.} u_{кр} \eta_{кр} + F_{К.П.} r_\delta = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где

$$M'_2 = (\varphi_1 - u_{Г.П.} u_{кр} \varphi_K + u_{Г.П.} u_{кр} \varphi_p) / (u_{Г.П.}^2 e_2),$$

J_K – суммарный момент инерции ведущих колес моста, кг·м²;

$\varphi_K = \varphi_{3л} = \varphi_{3п}$ – углы поворота маховых масс (ведущих колес) с суммарным моментом инерции, рад;

e_2 – суммарная податливость, рад/Н·м.

Добавим в систему уравнений (2) реактивный

момент $M_{3.м} = F_{К.П.} \frac{K}{K+1} r_\delta$ (K – характеристика

планетарного ряда) на корпусе заднего моста от планетарного редуктора, имеющего две степени свободы и перераспределим вертикальную нагрузку между мостами трактора [11] получим

$$\begin{cases} J_1 \ddot{\phi}_1 = M_n - M'_2; \\ J_K \ddot{\phi}_K = M'_2 u_{Г.П.} u_{кр} \eta_{Г.П.} \eta_{кр} - F_{К.П.} r_\delta - \\ - F_{К.П.} r_\delta \frac{K}{1+K}; \\ J_p \ddot{\phi}_p = -(M'_2 u_{Г.П.} u_{кр} \eta_{Г.П.} \eta_{кр} + M_p). \end{cases} \quad (3)$$

Или

$$\begin{cases} J_1 \ddot{\varphi}_1 = M_{\Pi} - M'_2; \\ J_{\kappa} \ddot{\varphi}_{\kappa} = M'_2 u_{Г.П} u_{\kappa p} \eta_{Г.П.} \eta_{\kappa p} - F_{К.П.} r_{\delta} (1 + \frac{K}{1+K}); \\ J_p \ddot{\varphi}_p = -(M'_2 u_{Г.П} u_{\kappa p} \eta_{Г.П.} \eta_{\kappa p} + M_p). \end{cases}$$

Без учета отбора мощности реакций от присоединенных машин получим M_{Π} и крутильных колебаний масс M_p , система уравнений (3) имеет вид:

$$\begin{cases} (J_1 + J_2 / u_{Г.П}^2) \ddot{\varphi}_1 + M'_2 = 0; \\ (J_2 / u_{Г.П}^2) \ddot{\varphi}_1 + M'_2 u_{Г.П} u_{\kappa p} \eta_{\kappa p} = 0; \\ J_{\kappa} \ddot{\varphi}_1 - M'_2 u_{Г.П} u_{\kappa p} \eta_{\kappa p} + 2F_{К.П.} r_{\delta} = 0, \end{cases}$$

где $M'_2 = (\ddot{\varphi}_1 - u_{Г.П} u_{\kappa p} \varphi_{\kappa}) / u_{Г.П}^2 e_2$.

Примем $J_2=0$, тогда

$$\begin{cases} J_1 \ddot{\varphi}_1 = M_{\Pi} - M'_2; \\ J_{\kappa} \ddot{\varphi}_{\kappa} = M'_2 u_{Г.П} u_{\kappa p} \eta_{Г.П.} \eta_{\kappa p} - \\ - F_{К.П.} r_{\delta} - F_{К.П.} r_{\delta} \frac{K}{1+K}. \end{cases}$$

Определим касательную силу $F_{К.П.}$:

$$\begin{cases} F_{К.П.} = \frac{-J_{\kappa} \ddot{\varphi}_{\kappa} + M'_2 u_{Г.П} u_{\kappa p} \eta_{Г.П.} \eta_{\kappa p}}{r_{\delta} \frac{K}{1+K}}; \\ J_{\kappa} \ddot{\varphi}_{\kappa} = M_{\Pi} - M'_2, \end{cases}$$

Для данного случая

$$M'_2 = (\varphi_1 - u_{Г.П} u_{\kappa p} \varphi_{\kappa}) / u_{Г.П}^2 e_2.$$

К системам уравнений (1), (2), (3) добавим силы и моменты, действующие на кулачковую муфту, установленную между основными и дополнительными колесами с двух сторон заднего моста трактора.

Трансмиссия находится в рабочем состоянии. Расчетная модель представляется трехмассовой.

Схема работы замкнутой кулачковой муфты представлена на рис. 2.

На основании известных зависимостей [12, 13] получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} J_1^T \ddot{\varphi}_1 + c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) = M_n; \\ J_2^M \ddot{\varphi}_2 - c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) + c_{23} (\varphi_2 - \varphi_1) = 0; \\ J_3 \ddot{\varphi}_3 - c_{23} (\varphi_2 - \varphi_3) = M_3, \end{cases} \quad (4)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – обобщенные координаты углы поворота масс с моментами инерции J_1, J_2, J_3 , рад.;

J_1^T – приведенный момент инерции привода трансмиссии, кг·м²;

J_2^M – приведенный момент инерции муфты, кг·м²;
 J_3 – приведенный момент инерции дополнительного колеса, кг·м²;
 M_n – момент, подводимый к мосту, Н·м;
 c_{12}, c_{23} – приведенные жесткости валов привода, Н·м/рад.

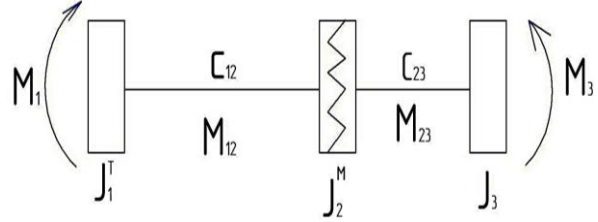


Рисунок 2. Схема работы замкнутой кулачковой муфты: M_1 – момент двигателя, Н·м; M_3 – момент на колесе, Н·м; M_{12}, M_{23} – обобщенный момент на валах в обобщенных координатах, Н·м; J_1^T – приведенный момент инерции привода трансмиссии, кг·м²; J_2^M – приведенный момент инерции муфты, кг·м²; J_3 – приведенный момент инерции дополнительного колеса, кг·м²; c_{12}, c_{23} – приведенные жесткости валов привода

Осуществив переход к обобщенным координатам $M_{23}=c_{23}(\varphi_2 - \varphi_3)$ упругим моментам на валах, система уравнений (4) примет вид:

$$\begin{cases} \ddot{M}_{12} + \beta_{12}^2 M_{12} + \frac{c_{12}}{J_2^M} M_{23} = \frac{c_{12} M_1}{J_2^M}; \\ \ddot{M}_{23} + \beta_{23}^2 M_{23} - \frac{c_{23}}{J_2^M} M_{12} = -\frac{c_{23} M_3}{J_3}. \end{cases} \quad (5)$$

$$\beta_{12}^2 = c_{12} \frac{J_1^T + J_2^M}{J_1^T \cdot J_2^M}, \quad \beta_{23}^2 = c_{23} \frac{J_2^M + J_3}{J_2^M \cdot J_3}.$$

Из системы уравнений (3) выражаем M_n :

$$M_n = J_1 \ddot{\varphi}_1 + M'_2. \quad (6)$$

$$M'_2 = \frac{J_{\kappa} \ddot{\varphi}_{\kappa} + F_{К.П.} r_{\delta}}{u_{Г.П.} u_{\kappa p} \eta_{Г.П.} \eta_{\kappa p}}$$

Учитывая K' – коэффициент учитывающий структуру планетарного механизма, получаем:

$$M'_2 = \frac{J_{\kappa} \ddot{\varphi}_{\kappa} + F_{К.П.} r_{\delta} K'}{u_{Г.П.} u_{\kappa p} \eta_{Г.П.} \eta_{\kappa p}}.$$

Подставляя систему уравнение (6) в систему уравнений (5), получаем [12, 13]

$$\begin{cases} \ddot{M}_{12} + \beta_{12}^2 M_{12} + \frac{c_{12}}{J_2^M} M_{23} = \frac{(J_1 \ddot{\varphi}_1 + M'_2)}{J_2^M} c_{12}; \\ \ddot{M}_{23} + \beta_{23}^2 M_{23} - \frac{c_{23}}{J_2^M} M_{12} = -\frac{c_{23} M_3}{J_3}. \end{cases} \quad (7)$$

Таким образом, система уравнений в общем случае имеет решение вида:

$$\begin{cases} M_{12} = A \cos \kappa_1 t + B \sin \kappa_2 t + C e^{-\kappa_3 t} + D e^{\kappa_4 t} \\ M_{23} = C_1 \cos \kappa_1 t + C_2 \sin \kappa_2 t + C_3 e^{-\kappa_3 t} + C_4 e^{\kappa_4 t} \end{cases}$$

$$\text{где } A = c_{23} \frac{J_2^M + J_3}{J_2^M \cdot J_3} C_1 - \kappa_1^2 C_1;$$

$$B = c_{23} \frac{J_2^M + J_3}{J_2^M \cdot J_3} C_2 - \kappa_1^2 C_2;$$

$$C = c_{23} \frac{J_2^M + J_3}{J_2^M \cdot J_3} C_3 - \kappa_1^2 C_3;$$

$$D = c_{23} \frac{J_2^M + J_3}{J_2^M \cdot J_3} C_4 - \kappa_1^2 C_4.$$

где A, B, C, D – const

$\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3, \kappa_4$, – постоянные величины, являющиеся корнями характеристических уравнений системы (7).

Статические моменты имеют зависимость от приведенной жесткости (c_{23}) вала и дальнейший расчет состояния всей системы требует учета осевого усилия кулачковой муфты (рис. 3) [11].

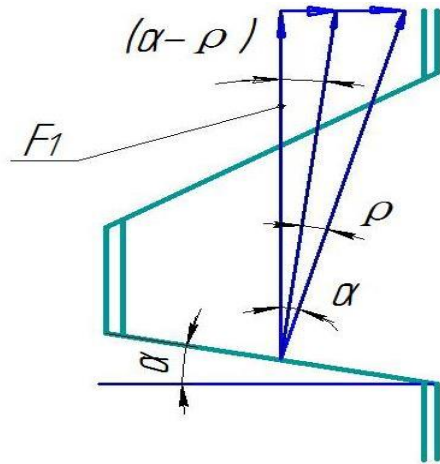


Рисунок 3. Схема осевого усилия кулачковой муфты

$$F = F_1 (\sin(\alpha - \rho) - \mu_k R \cos(\alpha - \rho) / r)$$

$$F_1 = M_{23} / R \cos(\alpha - \rho),$$

где F_1 – сила нормального давления на грани зубьев, Н·м;

α – угол наклона грани кулачка, рад.;

ρ – угол трения в кулачке, рад.;

μ – коэффициент трения муфты;

R – радиус муфты, м;

r – радиус вала, м.

Уравнение (6) выражает зависимость статических моментов и момента M_n , передаваемого мостом. Следовательно, имеем зависимость составляющих муфты с инерцией привода и их характеристиками.

$$\begin{aligned} F &= \frac{M_{23}}{R \cos(\alpha - \rho)} (\sin(\alpha - \rho) - \\ &- \mu_k \frac{R \cos(\alpha - \rho)}{r}) = \\ &= \frac{M_{23}}{R} (tg(\alpha - \rho) - \mu_k \frac{R}{r}). \end{aligned} \quad (8)$$

Тогда работа силы F определяется по формуле

$$\begin{aligned} A &= \int_r^R \frac{M_{23}}{R} (tg(\alpha - \rho) - \mu_k \frac{R}{r}) dR = \\ &= M_{23} tg(\alpha - \rho) (\ln |R| - \ln |r|) + \\ &+ M_{23} \mu_k (1 - \frac{R}{r}). \end{aligned} \quad (9)$$

Исходя из зависимости (9), найдем экстремум функции работы

$$R = \frac{rtg(\alpha - \rho)}{\mu_k}.$$

Тогда

$$\begin{aligned} A(\frac{rtg(\alpha - \rho)}{\mu_k}) &= \\ &= M_{23} tg(\alpha - \rho) (\ln \left| \frac{rtg(\alpha - \rho)}{\mu_k} \right| - \ln |r|) + \\ &+ M_{23} \mu_k (1 - \frac{tg(\alpha - \rho)}{\mu_k}). \end{aligned}$$

Для случая разомкнутой кулачковой муфты (рис. 4).

Расчетная модель для напряженного состояния представляется следующими системами уравнений [12, 13]:

$$\ddot{M}_{12'} + \beta_{12'}^2 M_{12'} = c_{12'} \frac{M_1}{J_1}; \text{ где } \beta_{12'}^2 = c_{12'} \frac{J_1 + J_2}{J_1 \cdot J_2}.$$

Данное уравнение описывает вынужденные колебания масс 1 и 2 под действием постоянного момента двигателя M_1 . Для одномассовой системы имеем:

$$\ddot{M}_{2'3} + \beta_{2'3}^2 M_{2'3} = 0; \quad \ddot{x}_{2'n} + \beta_{2'n}^2 x_{2'n} = 0,$$

$$\text{где } \beta_{2'3}^2 = \frac{c_{2'3}}{J_2}, \quad \beta_{2'n}^2 = \frac{c_{np}}{m_{2'n}^n},$$

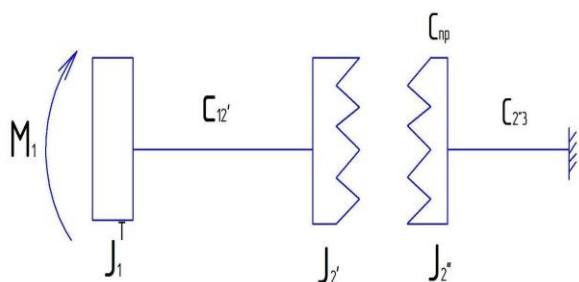


Рисунок 4. Схема разомкнутой кулачковой муфты:
 J_1^T – приведенный момент инерции привода транс-
миссии, кг·м²; M_1 – момент двигателя, Н·м;
 $c_{2'3}$ – крутильная жесткость вала; $c_{пр}$ – приведенная
жесткость кулачковой муфты; J_2' – момент инер-
ции ведущей части кулачковой муфты, кг·м²;
 J_2'' – момент инерции ведомой части кулачковой
муфты, кг·м²

$$\text{то } M_{12'} = c_1 \cos \sqrt{c_{12'} \frac{M_1}{J_1} - \beta_{12'}^2} t + \\ + c_2 \sin \sqrt{c_{12'} \frac{M_1}{J_1} - \beta_{12'}^2} t,$$

где c_1 и c_2 – постоянные.

$$M_{2'3} = c_3 \cos \sqrt{\beta_{2'3}^2} t + c_4 \sin \sqrt{\beta_{2'3}^2} t,$$

где c_3 и c_4 – постоянные.

$$x_{2''} = c_5 \cos \sqrt{\beta_{2''n}^2} t + c_6 \sin \sqrt{\beta_{2''n}^2} t,$$

где c_5 и c_6 – постоянные;

$c_{2'3}$ – крутильная жесткость вала;

$m_{2''}$ – масса подвижной полумуфты, кг;

$x_{2''}$ – угловое перемещение подвижной полу-
муфты;

$\ddot{x}_{2''}$ – линейное ускорение кулачковой муфты.

Вычислим работу силы F для данного случая:

$$F = \frac{M_{12'}}{R \cos(\alpha - \rho)} (\sin(\alpha - \rho) - \mu_k \frac{R \cos(\alpha - \rho)}{r}) =$$

$$= \frac{M_{12'}}{R} (tg(\alpha - \rho) - \mu_k \frac{R}{r});$$

$$A = M_{12'} tg(\alpha - \rho) \ln \left| \frac{R}{r} \right| + M_{12'} \mu_k (1 - \frac{R}{r}).$$

Экстремальное значение.

$$A(R) = A(\frac{rtg(\alpha - \rho)}{\mu_k}) =$$

$$= M_{12'} tg(\alpha - \rho) \ln \left| \frac{tg(\alpha - \rho)}{\mu_k} \right| + \\ + M_{12'} \mu_k (1 - \frac{tg(\alpha - \rho)}{\mu_k}).$$

Посчитаем показатели работы силы на примере трактора «БЕЛАРУС 3522» с включенной муфтой (передний ход). Некоторые данные технических параметров, необходимые для расчета, приведены в таблице 1. Результаты расчета сведены в таблицу 2.

По результатам расчета, приведенным в таблице 2, можно сделать вывод о том, что наибольшая работа буксования зависит от коэффициента трения на шлице.

Заключение

1. Разработана уточненная модель ведущего заднего моста трактора «БЕЛАРУС» тягового класса 5 с разнесенной главной передачей и двухвенцовыми сателлитами в планетарных редукторах для основного установившегося режима движения трактора с рабочей скоростью при выполнении различных сельскохозяйственных полевых технологических операций машинно-тракторными агрегатами в тяговом или тягово-приводном режимах с определением соотно-

Таблица 1. Технические параметры трактора «БЕЛАРУС 3522»

Мощность двигателя, кВт	N=261,0	Масса на переднем мосту, кг	$m_1=5440$
Частота вращения, мин ⁻¹	n=2200	Передаточное число привода ведущего моста	$u_1=21.537$
Вращающий момент, Н·м	T=1132,9	Радиус передних колес, м	$r_n=0.783$
Касательная сила тяги обоих мостов, Н	$P_k=72398$	Масса на задний мост, кг	$m_2=6860$
Касательная сила тяги заднего моста ($V=2,4-10,6$ км/ч), Н	$P_k=47618$	Передаточное число заднего моста	$u_2=27.618$
Масса трактора, кг	m=12300	Радиус задних колес, м	$r_3=0.984$
База трактора, мм	L=3000	Коэффициент сцепления с почвой	$\varphi=0.60$
Высота до крюка, мм	H=600	Коэффициент трения муфты	$\mu=0,06-0.09$
Радиус вала полуоси заднего моста, м	$r=0,060; 0,070; 0,080$	Угол грани кулачковой муфты	$\alpha=33^\circ$
Радиус муфты посадочный, м	$R=0,065; 0,075; 0,085$	Угол трения на кулачке муфты	$\rho=3^\circ$

**Таблица 2. Показатели работы силы (передний ход) трактора «БЕЛАРУС 3522»
с включенной муфтой**

r, м	R, м	μ	M, Нм	lnr	lnR	$M\mu(1-R/r)$	A, (Нм)
0,06	0,065	0,06	23428	-2,82202	-2,74173	-117,14	969,8509
0,07	0,075	0,06	23428	-2,6674	-2,5982	-100,406	836,5269
0,08	0,085	0,06	23428	-2,53346	-2,47265	-87,855	735,4356
0,06	0,065	0,07	23428	-2,82202	-2,74173	-136,663	950,3275
0,07	0,075	0,07	23428	-2,6674	-2,5982	-117,14	819,7926
0,08	0,085	0,07	23428	-2,53346	-2,47265	-102,498	720,7931
0,06	0,065	0,08	23428	-2,82202	-2,74173	-156,187	930,8042
0,07	0,075	0,08	23053	-2,6674	-2,5982	-131,731	790,2042
0,08	0,085	0,08	23428	-2,53346	-2,47265	-117,14	706,1506
0,06	0,065	0,09	23428	-2,82202	-2,74173	-175,71	911,2809
0,07	0,075	0,09	23428	-2,6674	-2,5982	-150,609	786,3234
0,08	0,085	0,09	23428	-2,53346	-2,47265	-131,783	691,5076

шений между моментами на левой и правой полуосях при поворотах с учетом сопротивления перекачиванию одного ведомого наружного колеса левого и правого борта заднего моста.

2. Для определения углового перемещения кулачковой полумуфты и ее экстремального значения при ее разомкнутом положении предложена модель привода задних сдвоенных колес, а также расчетная трехмассовая модуль кулачковой муфты в процессе ее размыкания во время маневрирования трактора с учетом упругости валов полуосей и структуры планетарного механизма в зависимости от углов наклона рабочих граней кулачков муфты и углов трения устройства, а также трения муфты на шлицах полуоси. Наибольшая работа буксования зависит от коэффициента трения муфты наклона рабочей грани кулачка – 33° и угле трения на кулачке – 3° , момента на заднем сдвоенном колесе – 23428 Н·м на рабочих скоростях от 2,4 км/ч до 10,6 км/ч и составляет при посадочном размере муфты – 0,085 м – 735,43 Н·м.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бобровник, А.И. Автомобили и тракторы: учеб. пос. / А.И. Бобровник, Т.А. Варфоломеева. – Минск: БНТУ, 2020. – 408 с.
2. Устройство тракторов: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобили и тракторостроение» / В.М. Шарипов [и др.]; под общ. ред. В.М. Шарипова. – М: МАМИ, 2007. – 320 с.
3. Кутьков, Г.М. Энергонасыщенность и классификация тракторов / Г.М. Кутьков // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – № 5. – С. 11-14.

4. Тракторы. Проектирование, конструирование и расчет: учеб. пос. / И.П. Ксенович [и др.]. – М.: Машиностроение, 1991. – 544 с.

5. Кутьков, Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г.М. Кутьков. – М.: Колос, 2004. – 504 с.

6. Кутьков, Г.М. Удельная конструкционная масса сельскохозяйственного трактора как показатель его технического уровня / Г.М. Кутьков, А.П. Парфенов // Тракторы и сельхозмашины. – 1987. – № 2 – С. 12.

7. Скотников, В.А. Основы расчета трактора и автомобиля / В.А. Скотников, А.А. Машенский, А.С. Солонский; под общ. ред. В.А. Скотникова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 383 с.

8. Бобровник, А.И. Повышение эксплуатационных качеств мобильных агрегатов для внесения удобрений / А.И. Бобровник. – Минск: МТЗ, 1997. – 159 с.

9. Развитие конструкции ходовой системы трактора «БЕЛАРУС» мощностью 300...450 л.с. / Г.И. Гедроить [и др.] // Агропанорама. – 2017. – № 4. – С. 5-9.

10. Шарипов, В.М. Конструирование и расчет тракторов / В.М. Шарипов. – М.: Машиностроение, 2004. – 590 с.

11. Варфоломеева, Т.А. Определение вертикальной нагрузки на ведущие колеса трактора / Т.А. Варфоломеева // Агропанорама. – 2021. – № 1. – С. 9-13.

12. Битуев, И.К. Динамический синтез пружинно-зубчатой муфты / И.К. Битуев, Б.И. Павлов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – № 1 (3). – Т. 13. – С. 15-16.

13. Кожевников, С.Н. Динамические нагрузки в упругих связях при срабатывании предохранительных пружинно-зубчатых муфт / С.Н. Кожевников, Н.П. Барабан // Машиноведение, 1973. – № 2. – С. 26-33.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 11.05.2022

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИИ СТОЙКИ НА ТЯГОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ

В.П. Чеботарев,

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

Д.А. Яновский,

ассистент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ

А.А. Зенов,

ст. преподаватель каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ

Д.Н. Бондаренко,

ст. преподаватель каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ

А.Н. Новик,

преподаватель каф. технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии БарГУ

В статье представлен теоретический и экспериментальный анализ рабочего органа глубокорыхлителя с вибрирующей стойкой, позволяющей снизить тяговое сопротивление посредством упругих колебаний, возникающих от попеременного тягового сопротивления почвы. Определено тяговое сопротивление стойки без вибрации и с вибрацией, проведены экспериментальные исследования рабочего органа глубокорыхлителя.

Ключевые слова: глубокорыхлитель, вибрация, тяговое сопротивление, глубина рыхления.

The article presents a theoretical and experimental analysis of the working body of a subsoiler with a vibrating rack, which makes it possible to reduce traction resistance through elastic vibrations arising from the alternating traction resistance of the soil. The traction resistance of the rack with and without vibration was determined, experimental studies of the working body of the subsoiler were carried out.

Key words: subsoiler, vibration, traction resistance, loosening depth.

Введение

Одним из факторов, сдерживающих рост урожайности сельскохозяйственных культур, является избыточное уплотнение почвы. Негативным следствием этого процесса является снижение влагоаккумулирующей способности почвы, увеличение ее водной и механической эрозии, дефляция.

Применяемые в настоящее время почвообрабатывающие машины, направленные на устранение избыточного уплотнения почвы, характеризуются большим тяговым сопротивлением и, соответственно, высоким расходом топлива. В этой связи особую актуальность приобретает вопрос создания и внедрения новых рабочих органов, обеспечивающих снижение тягового сопротивления при глубоком безотвальном рыхлении почвы. Снижения энергоемкости при требуемом качестве обработки возможно достичь путем применения глубокорыхлителей с упругими рабочими органами. Переменное сопротивление почвы создает вибрацию, обеспечивающую лучшее скалывание и разуплотнение почвенного пласта [1].

Теоретическими и экспериментальными исследованиями была доказана целесообразность использования вибрации для уменьшения тягового сопротивления и износа рабочих органов [2, 3]. Однако большинство исследователей рассматривают активную вибрацию, которая вследствие наличия привода повышает эксплуатационные расходы. Поэтому применение пассивной вибрации является актуальным

вопросом, который требует глубокого анализа и исследования.

Целью работы является определение тягового сопротивления рабочего органа для глубокого рыхления с упругой вибрирующей стойкой.

Основная часть

Сопротивление рабочего органа глубокорыхлителя представляет собой сумму проекций горизонтальных составляющих сил на горизонтальную плоскость:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4, \quad (1)$$

где R_1 – сопротивление стойки, кН;

R_2 – сопротивление долота, кН;

R_3 – сопротивление дополнительного оборудования на стойке, кН;

R_4 – динамическая составляющая, обусловленная скоростью v (по аналогии с составляющей силы сопротивления лемеха, выраженной В.П. Горячкиным через квадрат скорости v^2 , кН) [4].

Сопротивление долота, согласно рисунку 1, определяется по формуле

$$R_2 = fG + N_1 \sin(\alpha + \gamma) + N_2 \sin \alpha + fN_1 \cos(\alpha + \gamma) + fN_2 \cos \alpha, \quad (2)$$

где f – коэффициент трения;

G – сила тяжести, приходящаяся на долото, кН;

N_1, N_2 – нормальные силы, действующие на активные площади долота, кН;

$\alpha = 16^\circ$ – угол резания, $\gamma = 16^\circ$ – угол крошения (рис. 1).

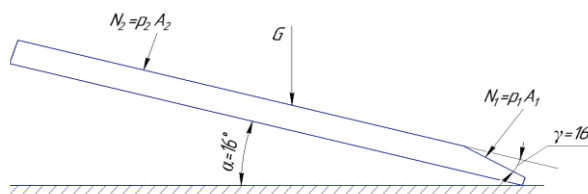


Рисунок 1. Схема сил, действующих на долото

Сила тяжести, приходящаяся на долото, определяется по формуле

$$G = (M + m)g,$$

где M – масса почвы, воздействующая на долото, кг;
 m – вес рабочего органа, кг ($m=30$ кг);
 g – ускорение свободного падения, м/с².

Масса почвы, воздействующая на долото, определяется по формуле

$$M = \rho V,$$

где ρ – плотность почвы, кг/м³, ($\rho = 1400$);
 V – объем почвы над долотом, м³.

В расчетах принимаются три глубины обработки ($h_1 = 0,2$ м, $h_2 = 0,3$ м, $h_3 = 0,4$ м). Учитывая ширину долота $b = 0,08$ м, объем почвы будет равен: $V_1 = 0,074$ м³, $V_2 = 0,0536$ м³, $V_3 = 0,0332$ м³ (рис. 2).

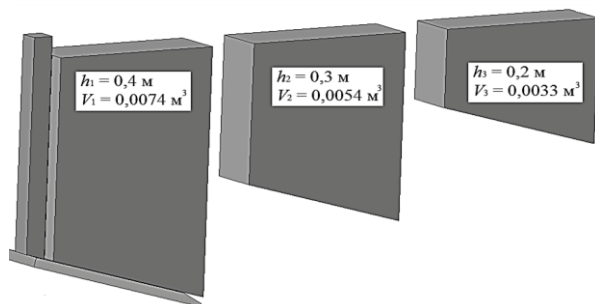


Рисунок 2. Площадь и объем почвы, воздействующий на долото в зависимости от глубины рыхления

В Воронежском государственном аграрном университете проводились исследования влияния вибрации на коэффициент трения почвы по рабочему органу. В ходе эксперимента под наклоном устанавливался металлический лист, представляющий собой поверхность трения. На лист помещался ящик с почвой без дна, при помощи винтового механизма происходило поднятие поверхности для исследования значения угла и коэффициента трения. Эксперимент проводился в два этапа с десятью повторностями. В первом этапе на ящик с почвой воздействовало только поднятие плоскости, во втором – по всей поверхности создавалась вибрация с частотой 22 ... 24 Гц и амплитудой 2 ... 4 мм. Среднее значение коэффициента трения почвы по стали оказалось $f = 0,61$ без вибрации и $f = 0,50$ с вибрацией поверхности трения [5].

Нормальные силы, действующие на активные плоскости долота, определяются по формуле

$$N = pA,$$

где p – давление со стороны почвы на активные площади долота, Па;

A_1, A_2 – активные площади долота, м² (рис. 3).

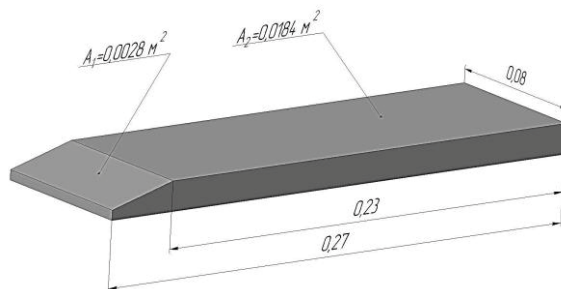


Рисунок 3. Активные площади долота

Давление со стороны почвы на активные площади долота определяется по формуле

$$p = mh^n,$$

где m – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства почвы и особенности рабочей поверхности (для минеральных почв $m = 0,01$) [6];

h – глубина рыхления, м;

n – показатель степени (для минеральных и торфяных почв $n = 1,22-1,26$) [6].

В обобщенном виде сопротивление рабочего органа (без учета динамической составляющей R_d) можно записать как

$$R_1 + R_3 = kR_2, \quad (3)$$

где k – коэффициент, учитывающий сопротивление стойки и дополнительного оборудования. При отсутствии дополнительного оборудования (учитывая только сопротивление стойки) – $k = 0,15$ [6].

Согласно исследованиям В.В. Труфанова [7], динамическая составляющая тягового сопротивления рыхлительного рабочего органа представляет собой:

$$R_4 = (K + \xi v^2) A, \quad (4)$$

где K – коэффициент, характеризующий способность почвенного горизонта сопротивляться деформации, $K = 22 \cdot 10^3$ Н/м² [8];

ξ – коэффициент, зависящий от формы рабочей поверхности долота, свойств почвы и размеров почвенного пласта (используется как дополнительный коэффициент при квадрате скорости v^2), $\xi = 158 \cdot 10^2$ Н·с²/м⁴ [8];

v – скорость движения МТА, м/с. В расчетах принимались три скорости движения глубоких рыхлителя: $v_1 = 2,3$ м/с, $v_2 = 1,7$ м/с, $v_3 = 1,1$ м/с;

A – сумма активных площадей долота и стойки, м².

Толщина стойки t и ширина долота b являются постоянными значениями ($t = 0,03$ м, $b = 0,08$ м), тогда сумма активных площадей будет изменяться в зависимости от глубины рыхления (рис. 4):

$$h_1 = 0,4 \text{ м} - A_1 = 0,0158 \text{ м}^2,$$

$$h_2 = 0,3 \text{ м} - A_2 = 0,0128 \text{ м}^2,$$

$$h_3 = 0,2 \text{ м} - A_3 = 0,0098 \text{ м}^2.$$

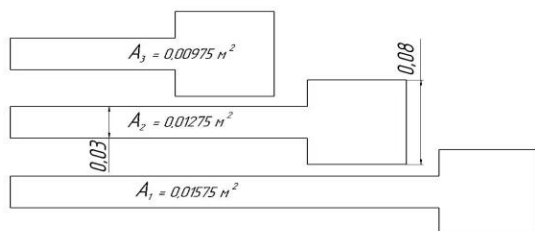


Рисунок 4. Активные площади рыхления в зависимости от глубины обработки

После подстановки в зависимость (1) выражений (2), (3) и (4) получено уравнение тягового сопротивления рыхлительного рабочего органа:

$$R = (1 + k)(fG + N_1 \sin(\alpha + \gamma) + N_2 \sin \alpha + fN_1 \cos(\alpha + \gamma) + fN_2 \cos \alpha)((K + \xi v^2)A).$$

На кафедре сельскохозяйственных машин БГАТУ был изготовлен экспериментальный вибрационный рабочий орган глубокорыхлителя (рис. 5).



Рисунок 5. Вибрационный рыхлительный рабочий орган: 1 – вибрационная стойка; 2 – долото; 3 – навеска; 4 – проставка; 5 – навеска с предохранительным устройством; 6 – крепление вибрационной стойки

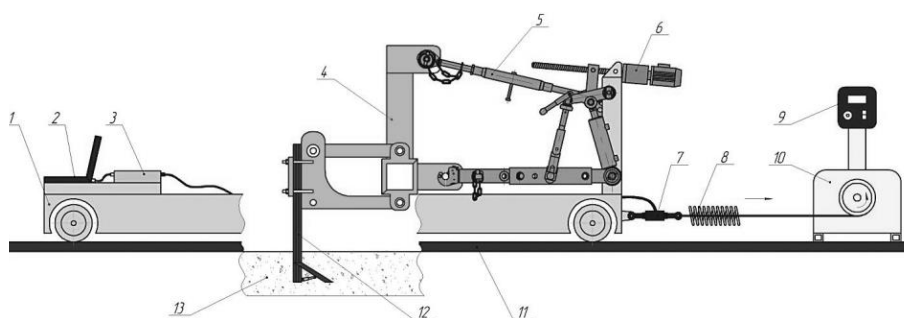


Рисунок 6. Схема лабораторной установки: 1 – транспортная тележка; 2 – компьютер; 3 – мобильный измерительный усилитель; 4 – навеска глубокорыхлителя; 5 – навеска; 6 – электродвигатель с винтовым механизмом; 7 – тензометрический датчик силы; 8 – демпферное устройство; 9 – частотный преобразователь; 10 – тельфер; 11 – рельсы; 12 – вибрационный рыхлительный рабочий орган; 13 – почва

Исследования проводились в почвенном канале, оборудованном мобильным измерительным усилите-

лем «Spider 8» для проведения испытаний по определению тягового сопротивления вибрационного глубокорыхлителя (рис. 6) [9].

Для сокращения количества опытов применялся ортогональный центральный композиционный план для двух факторов. Факторы и уровни их варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Уровни варьирования факторов при проведении испытаний глубокорыхлителя

Контролируемые переменные (факторы)	h (глубина рыхления)	v (скорость движения)
Единица измерения	м	м/с
Верхний уровень (1)	0,4	2,3
Основной уровень (0)	0,3	1,7
Нижний уровень (-1)	0,2	1,1
Интервал варьирования	0,1	0,6

Матрица ортогонального центрального композиционного плана для двух факторов, влияющих на тяговое сопротивление (глубина обработки h и скорость движения v) глубокорыхлителя с результатами испытаний (тяговое сопротивление без вибрации $R_{p(b,v)}$, расчетное тяговое сопротивление с вибрацией $R_{p(v)}$, тяговое сопротивление по результатам испытаний R_o), приведена в таблице 2.

На основании полученных данных были построены поверхности отклика (рис. 7).

Анализ полученных результатов показывает, что расчетное значение тягового сопротивления стойки с применением вибрации снижает тяговое сопротивление на 9 %, что обусловлено меньшим коэффициентом трения почвы о поверхность рабочего органа.

Заключение

Полученные двухфакторные уравнения для расчетных и экспериментальных значений позволили сделать следующие выводы:

Увеличение скорости движения на 0,6 м/с повышает тяговое сопротивление на 0,411 кН вне зависимости от наличия или отсутствия вибрации, а увеличение глубины рыхления на 0,1 м повышает тяговое сопротивление стойки без наличия вибрации на 0,41 кН и на 0,38 кН с наличием вибрации.

Анализ расчетных и экспериментальных данных подтверждает увеличение тягового сопротивления рабочего органа от увеличения глубины рыхления и скорости движения. В отличие от работы стойки без вибрации, применение экспериментальной упругой стойки глубокорыхлителя позволило снизить тяговое

Таблица 2. Матрица планирования и результаты испытаний для двух факторов

x_0	$x_1 (h)$	$x_2 (v)$	$y_1 (R_{p(б.в.)})$	$y_2 (R_{p(в.)})$	$y_3 (R_3)$
1	1	1	2,581	2,415	2,327
1	1	0	1,984	1,818	2,396
1	1	-1	1,566	1,400	2,637
1	0	1	2,068	1,938	1,712
1	0	0	1,584	1,454	1,520
1	0	-1	1,246	1,116	1,292
1	-1	1	1,555	1,460	0,782
1	-1	0	1,185	1,090	0,805
1	-1	-1	0,926	0,831	0,693
Среднее			1,633	1,503	1,574
$R_{p(б.в.)} = 1,584 + 0,411x_1 + 0,411x_2 + 0,097x_1x_2 + 0,073x_2^2$					
$R_{p(в.)} = 1,454 + 0,375x_1 + 0,411x_2 + 0,097x_1x_2 + 0,073x_2^2$					
$R_3 = 1,508 + 0,847x_1 + 0,033x_2 + 0,099x_1^2 - 0,099x_1x_2$					

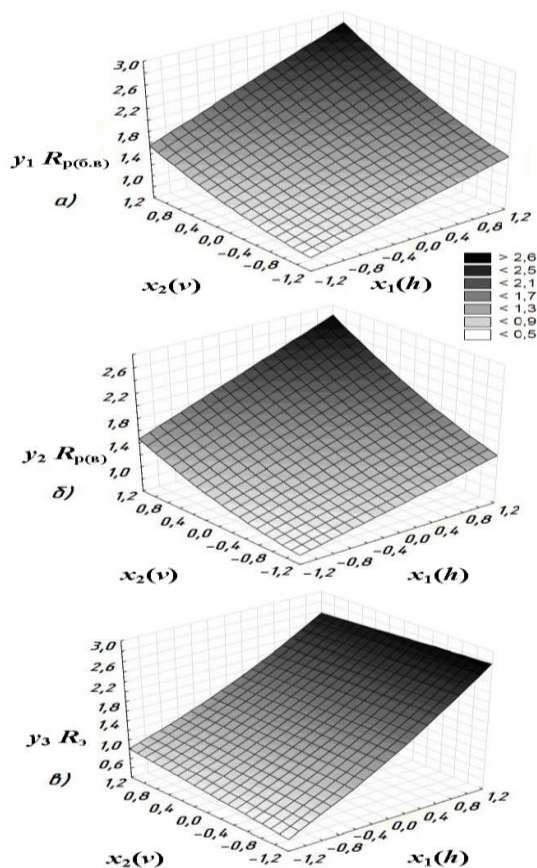


Рисунок 7. Поверхности отклика (тяговое сопротивление стойки глубокорыхлителя) $R = f(h, V)$: а – расчетное сопротивление стойки без вибрации; б – расчетное сопротивление стойки с вибрацией; в – экспериментальное сопротивление стойки с вибрацией

сопротивление за счет упругих колебаний, возникающих от попеременного тягового сопротивления почвы, на 9 % по расчетным данным и на 4 % по экспериментальным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Яновский, Д.А. Анализ исследований влияния вибрации на тяговое сопротивление плуга / Д.А. Яновский // Перспективная техника и технологии в АПК: материалы междунар. науч. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Минск, 25-26 марта 2021 г./ Белор. гос. аграрн. технич. ун-т – Минск: БГАТУ. – С. 208-211.
2. Нагайка, М.А. Обоснование конструктивно-режимных параметров вибрационного глубокорыхлителя: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / М.А. Нагайка. – Новосибирск, 2016. – 171 с.
3. Дроздов, С.Н. Обоснование конструктивно-режимных параметров вибровозбудителя комбинированного почвообрабатывающего орудия: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01/ С.Н. Дроздов. – Оренбург, 2013. – 179 с.
4. Горячкин, В.П. Рациональная формула силы тяги плугов конных и транспортных: собр. соч. в 3 т. / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1965. – Т. 3. – С. 68 -114.
5. Влияние вибрации на угол трения почвы по рабочему органу / В. В. Василенко, Д. Н. Афоничев, С. В. Василенко, Д. В. Стуров // Лесотехнический журнал. – 2013. – № 3 (11). – С. 123-126.
6. Борисенко, И.Б. Основная обработка почв модернизированными чизельными орудиями / И.Б. Борисенко, А.Е. Новиков, М.А. Садовников // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2017. – № 5. – С. 27-32.
7. Труфанов, В.В. Глубокое чизелевание почвы / В.В. Труфанов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 142 с.
8. Энергетическая оценка тягово-эксплуатационных показателей чизельных и лемешных орудий на тяжелосуглинистых орошаемых почвах / В.В. Бородых [и др.] // Плодородие. – 2017. – № 6 (99). – С. 31-34.
9. Измерение тягового сопротивления с помощью мобильного измерительного усилителя «Spider 8» / Д.А. Яновский [и др.] // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы междунар. науч.-практич. конф., Минск, 24-25 октября 2019 г.: в 2 ч./ Белор. гос. аграрн. технич. ун-т; редкол.: И.Н. Шило [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2019. – Ч. 1. – С. 253-255.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 06.06.2022

УДК 633.375

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПРИЕМОВ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КОЗЛЯТНИКА ВОСТОЧНОГО

В.Л. Сельманович,

заместитель директора по учебной работе ИПК и ПК АПК БГАТУ, канд. с.-х. наук, доцент

В статье приведены результаты многолетних исследований по выявлению продуктивности козлятника восточного в чистовидовом посеве и в смеси со злаковыми травами на разных фонах удобрений в природно-климатических условиях западной части Республики Беларусь.

Ключевые слова: козлятник восточный, урожайность, облиственность, приемы возделывания, динамика роста, продуктивность.

The results of many years of research on identifying the productivity of Eastern galega sown by itself and in mixes with cereal grasses using different fertilizers in the natural climatic conditions of the western part of the Republic of Belarus are presented in the article.

Key words: Eastern galega, , yield, foliage, growth dynamics.

Введение

В последние годы дефицит кормового белка в рационах сельскохозяйственных животных является актуальной проблемой. Ее решению большое внимание уделяют отечественные и зарубежные ученые и практики. Производство растительного белка значительно отстает от роста потребности в нем, а цена на мировом рынке возросла более чем в 3-4 раза.

Значительный вклад в решение сложившейся проблемы вносит возделывание бобовых культур, в которых содержание белка в 1,3-1,8 раза выше, чем в злаковых культурах.

Растительный корм должен покрывать до 90 % всей потребности животных в кормовом белке, а растительный белок наиболее дешевый. Белок бобовых культур более полноценен по аминокислотному составу и хорошо усваивается животными. При благоприятных условиях выращивания, эти культуры с помощью фиксации атмосферного азота формируют экологически чистый белок без внесения дорогостоящих азотных удобрений. При использовании симбиотической азотфиксации, бобовые травы снижают нормы внесения азотных удобрений, уменьшая опасность загрязнения почвы и растений избыточным количеством нитратов, защищают почву от эрозии и потерь азота с поверхностным и внутренним стоком.

В производстве используется небольшой ассортимент многолетних бобовых трав, введенных в культуру. К сожалению, традиционные для наших условий многолетние бобовые травы – клевер и люцерна весьма требовательны к условиям произрастания, и при малейших отклонениях от них не дают устойчивых урожаев более двух, трех лет. Так, клевер луговой при перезимовке склонен к изреживанию, а люцерна посевная требовательна к кислотности почв и уровню залегания грунтовых вод. Поэтому идет постоянный поиск новых многолетних бобовых культур из числа нетрадиционных. К таким культурам

относится козлятник восточный, или галега восточная (*Galega orientalis* Lam.) – многолетнее травянистое ветвистое корневищное растение с прямостоячими стеблями высотой до двух и более метров. Вид рода Козлятник, семейства Бобовые, относящееся к роду Галега. Данная культура имеет большие возможности – ее продуктивное долголетие составляет 10-15 лет и более, пластичная, с повышенной питательной ценностью [1; 4; 8].

Наиболее ценной биологической особенностью козлятника восточного является способность к активному вегетативному размножению, благодаря тому, что на главном корне (на глубине 5-7 см) формируются отпрыски. Они растут горизонтально на 25-30 см и более, а затем выходят на поверхность почвы и образуют стебли. На подземной части стеблей также формируются зимующие почки, которые обеспечивают возобновление растений [3; 6; 8]. Растение зимостойкое, холодостойкое, хорошо переносит бесснежные зимы и морозы до минус 20-25 °С, выдерживает весенние заморозки до минус 7-8 °С. Козлятник восточный отличается ранним отрастанием и быстрым ростом весной, обеспечивая уже к третьей декаде мая урожайность зеленой массы 200-250 ц/га, а за два укоса дает 500-700 ц/га (12-14 т/га сухого вещества) [1; 3]. Он предпочитает плодородные, рыхлые влажные почвы с нейтральной реакцией. Его семена перед посевом необходимо скарифицировать и инокулировать нитрагином (специальной расой клубеньковых бактерий).

За вегетационный период травостой козлятника восточного может формировать урожайность зеленой массы от 55,0 до 79,0 т/га, или сухого вещества от 23,4 до 25,8 т/га и более. Из нее можно заготовить любой вид кормов (сено, сенаж, силос, травяную муку), высокоэнергетических и сбалансированных по питательным веществам. Наиболее высокую урожайность с низкой себестоимостью кормовой единицы можно получить при уборке козлятника восточного на зеленый корм в

фазу бутонизации (начало цветения). В этот период в зеленой массе содержится: 19,5-21,7 % сырого протеина; 18,0-26,4 % сырой клетчатки; 2,8-2,9 % жира и 82,5-210,0 г/кг перевариваемого протеина; 123,0 ГДж обменной энергии [1; 2; 7].

Семеноводство козлятника восточного более надежно и стабильно, чем других многолетних бобовых культур.

Целью работы является изучение продуктивности козлятника восточного в зависимости от разных приемов его возделывания.

Основная часть

Поиск и интродукция новых видов растений, обладающих высоким потенциалом продуктивности, устойчивостью к абиотическим стрессам (низким температурам, заморозкам, дефициту влаги, элементов питания и др.), послужили предпосылкой для проведения исследования по выявлению продуктивности козлятника восточного и его смесей со злаковыми травами на разных фонах удобрений в условиях западной части Республики Беларусь.

Полевой опыт был заложен в 2016 году на опытном поле ОСП «Ляховичский государственный аграрный колледж» и на производственных площадях ОАО «Ляховичский райагросервис» Брестской области.

Закладка опытов, наблюдение и учет выполнялись в соответствии с методическими указаниями проведения полевых опытов [2; 5].

Козлятник восточный сорта Полесский был высеван в третьей декаде мая на дерново-подзолистой супесчаной почве (рН – 5,7; P_2O_5 – 23,5; K_2O – 25,0 мг на 100 г почвы) беспокровно, черзрядно (на 30 см), с нормой высева 30 кг на гектар. Семена перед посевом обрабатывались ризоторфином.

Массовые всходы отмечались на восьмой день, через две недели была произведена обработка посевов гербицидом.

Во второй декаде августа в междурядье козлятника восточного проведен подсев злаковых трав: тимфеевки луговой, ежи сборной, овсяницы тростниковой, костреца безостого и двукисточника тростникового (60 % от полной нормы высева их в чистом виде). Массовые всходы данных злаковых трав отмечались в конце августа.

В первый год жизни проведен подкос козлятника восточного и сорняков. Козлятник восточный практически не подкашивался, а пригибался.

Травостой изучался на трех фонах удобренности: $P_{60}K_{90}$ (осенью) и на этом фоне вносился азот по 46 кг действующего вещества весной и после первого укоса.

Уборку первого укоса козлятника восточного проводили в фазу начала цветения. Тимофеевки луговой и костреца безостого – в фазу колошения, ежи сборной, овсяницы тростниковой, двукисточника тростникового – в фазу начала цветения.

К началу периода уборки высота растений козлятника восточного составляла 135-157 см, тимфеевки луговой – 120-128 см, ежи сборной – 145-160 см, овся-

ницы тростниковой – 135-160 см, костреца безостого – 136-175 см, двукисточника тростникового – 153-160 см.

Среднесуточный прирост козлятника восточного составил 2,5-2,7 см, в смеси со злаками – 2,14-2,76 см. Наибольший прирост отмечен с ежой сборной и кострецом безостым. Самый активный прирост у всех растений отмечался с 17 мая по 5 июня и доходил у козлятника восточного до 4,5 см в сутки, у злаковых трав – от 2,7 см (тимфеевка) до 5,7-6,0 см (овсяница тростниковая и костреца безостый).

Существенной разницы в высоте растений от внесения удобрений не выявлено. В отдельные годы отмечалось некоторое увеличение длины растений при внесении азота после первого укоса.

Ко второму укосу козлятник восточный достигал высоты 119-122 см, злаковые травы – 80-110 см. При внесении азота после первого укоса, высота увеличивалась.

Таким образом, в первом укосе в отдельные годы наибольший прирост козлятника восточного наблюдался в смеси с ежой сборной и кострецом безостым, во втором укосе – с тимфеевкой луговой.

В среднем, за последние четыре года урожайность абсолютно сухого вещества козлятника восточного составила: на фоне фосфорно-калийного удобрения с внесением азота в дозе 46 кг до весны – 9,45 т/га; с внесением с весны – 8,55 т/га; после первого укоса – 8,89 т/га; зеленой массы – 36,1-41,9 т/га.

Наиболее высокая урожайность отмечена на третьем году пользования – 11,29-12,33 т/га абсолютно сухой массы (табл. 1).

В смешанных посевах козлятника восточного со злаковыми травами урожайность абсолютно сухого вещества была в пределах 8,33-11,67 т/га, зеленой массы – 36,1-41,44 т/га. Урожайность смесей козлятника восточного с ежой сборной, овсяницей тростниковой, кострецом безостым была довольно выравненной, несколько выделялись посевы с тимфеевкой луговой и двукисточником тростниковым.

Как и в чистом посеве козлятника восточного, так и в смеси его со злаковыми травами, наивысшая урожайность была получена на третий год пользования и составила 10,73-13,77 т/га абсолютно сухой массы. В этот год также выделились посевы козлятника восточного с тимфеевкой луговой и кострецом безостым.

В смешанных посевах прослеживалось увеличение урожайности при внесении азотных удобрений, как с весны, так и после первого укоса, в посевах козлятника восточного с тимфеевкой луговой и двукисточником тростниковым. В остальных смесях колебания довольно незначительные.

Внесение азотных удобрений после первого укоса существенно повлияло на распределение урожая по укосам. Так, у козлятника восточного при внесении азота после первого укоса, в первом укосе было получено – 60 %, во втором – 40 % урожая, тогда как на фосфорно-калийном фоне получено 65 % и 35 %. Более выравненным был выход урожая в смешанных посевах козлятника со злаковыми травами. Так, при внесении азота после первого укоса у смеси козлят-

Таблица 1. Урожайность козлятника восточного и его смесей со злаками в 2017-2020 гг. (абсолютно сухая масса, т/га)

Виды трав	Удобрения	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	В среднем
Козлятник восточный	Р ₆₀₉₀ – фон	7,70	6,87	11,29	11,92	9,45
	Фон +N46 весной	5,77	6,46	11,65	10,31	8,55
	Фон +N46	6,13	7,27	12,33	9,85	8,89
Козлятник + тимофеевка	1	5,37	7,48	13,57	11,74	9,54
	2	6,09	7,27	12,33	10,17	8,96
	3	7,62	9,02	13,77	9,72	10,03
Козлятник + ежа сборная	1	4,68	7,35	12,07	11,01	8,78
	2	5,25	7,19	10,73	10,38	8,39
	3	4,95	7,05	12,60	8,76	8,54
Козлятник + овсяница тростниковая	1	5,74	7,10	11,48	11,81	8,84
	2	5,74	7,33	11,25	11,14	8,87
	3	5,50	7,60	11,73	10,17	8,75
Козлятник + кострец безостый	1	5,27	7,02	11,13	99,0	8,33
	2	5,85	7,06	11,25	10,09	8,56
	3	4,83	7,57	10,94	10,69	8,51
Козлятник + двукисточник тростниковый	1	5,25	5,24	7,99	12,13	11,29
	2	5,89	5,88	8,50	12,02	11,67
	3	4,67	4,65	7,98	13,74	11,05
	НСР ₀₀₅					1,55

ника восточного с тимофеевкой с первого укоса получено 54 % урожая, со второго укоса – 46 %. С двукисточником тростниковым получено 51 % и 49 % соответственно. У смесей козлятника восточного с ежой сборной, овсяницей тростниковой, кострцом безостым получено 57-59 % урожая с первого укоса и 41-43 % – со второго.

Внесение фосфорно-калийных удобрений и азота с весны способствовало получению 66-72 % урожая в первом укосе и 28-33 % во втором.

Произошли изменения и в ботаническом составе травостоев козлятника восточного и его смесей. В чистом посеве в первом укосе, в среднем за четыре года, козлятник восточный составил 90,5 % травостоя, с внесением азота с весны уже 77,3 %, после первого укоса – 79,2 %, т.е. прослеживалось некоторое повышение. Эта тенденция сохранилась и по годам. Наибольшее участие козлятника восточного в травостое отмечалось в 2018 г. и составляло 84,8-98,8 %.

В смешанных посевах козлятника восточного со злаками его участие в травостое было различным. Наибольшее количество отмечалось на фосфорно-калийном фоне и составляло 32,5-52,3 %. Внесение азота с весны уменьшило содержание козлятника восточного до 21,1-26,2 %, с внесением же азота после первого укоса отмечалось некоторое его увеличение по сравнению с весенним внесением.

Из злаковых трав при внесении азота отмечалось угнетение козлятника восточного овсяницей тростниковой и ежой сборной. В среднем, за четыре года его участие в травосмеси составило всего 29,2-30,7 %.

Начиная со второго года пользования, в травостой козлятника восточного с овсяницей тростниковой внедрилась ежа сборная, и к четвертому году при внесении азота с весны она составила 47 %, овсяницы было всего 9,8 %.

В среднем, за четыре года в смешанных посевах

в первом укосе больше всего было тимофеевки луговой – 40,9-58,9 %. Далее идет ежа сборная, содержание которой составило 33,3-9,7 %. Овсяница тростниковая в травостое составила 18,5-24,2 %. Содержание костреца безостого и двукисточника тростникового было в пределах 19,4-33,9 % (при внесении азота с весны их содержание увеличилось), а на фоне фосфорно-калийных удобрений составило 7,8-19,1 % от урожая.

Во втором укосе на фосфорно-калийном фоне количество козлятника восточного в чистом посеве, в среднем за четыре года, несколько уменьшилось и составило 77 %, примерно такое же количество его было и в смеси со злаками. Однако при внесении азотных удобрений, как весной, так и после первого укоса, количество козлятника восточного уменьшилось на 8-15 %, но увеличилось количество злаков. Из них несколько больше было тимофеевки луговой (61,6-56,3%) и овсяницы тростниковой (56-47,5%).

Содержание разнотравья во всех травостоях и фонах было незначительным и составляло всего 0,3-2,1 %.

Кормовая ценность козлятника восточного достаточно высокая в течение всего периода вегетации и обусловлена его хорошей облиственностью. Листья и стебли остаются зелеными и после созревания семян, сохраняя питательную ценность. В данных опытах облиственность козлятника восточного в фазу бутонизации составила 43,5-46,5 %.

За годы исследований содержание сырого протеина у козлятника восточного в первых укосах было в пределах 14,2-18,6 %, а во вторых укосах – 15,1-19,7 %. В смешанных посевах со злаковыми травами содержание сырого протеина находилось в пределах 10,9-17,2 %. Наиболее низкое содержание протеина отмечалось в травостое козлятника восточного с овсяницей тростниковой – 12,7-15,8 %. Увеличение содержания протеина четко прослеживалось после внесения азотных удобрений.

Травостой из козлятника восточного имели низкое содержание клетчатки – 21,3-23,2 %, а в смешанных посевах – 22,8-26,2 %. Несколько большим содержанием клетчатки выделялись смеси с овсяницей тростниковой.

Содержание минеральных веществ у козлятника восточного было высокое и вполне отвечало зоотехническим требованиям.

На одну кормовую единицу приходилось 128-132 г переваримого протеина. Питательность одного кг сухого вещества корма составила 1,02-1,03 энергетической кормовой единицы.

Заключение

Проведенные исследования показали, что урожайность козлятника восточного в чистовидовых посевах (8,55-9,45 т/га абсолютно сухого вещества) и в смеси со злаковыми травами (8,33-10,03 т/га абсолютно сухого вещества) существенно не различается. Однако травосмесь с двухкосточником тростниковым выгодно отличается повышением урожайности.

Внесение азотных удобрений на фосфорно-калийном фоне, как в чистовидовых посевах, так и в травосмесях козлятника восточного с многолетними злаковыми травами, существенно не влияет на величину урожая. Однако внесение минерального азота на посевах снижает долевое участие козлятника восточного в травосмесях и увеличивает процент участия злакового компонента в них.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бушуева, В.И. Галега восточная / В.И. Бушуева, Г.И. Тарануха. – Минск, 2009. – 204 с.

2. Равков, Е.В. Планирование полевого опыта: учеб.-методич. пособие для студентов учреждений высшего образования / Е.В. Равков, Г.И. Витко. – Горки: БГСХА, 2013. – 67 с.

3. Сельманович, В.Л. Кормопроизводство: учеб. пособие / В.Л. Сельманович. – Минск: Новое знание, 2008. – 256 с.

4. Сельманович, В.Л. Кормопроизводство: учеб. пособие / В.Л. Сельманович. – Минск: РИПО, 2021. – 262 с.

5. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1989. – 335 с.

6. Сельманович, В.Л. Разные приемы возделывания козлятника восточного и его продуктивность / В.Л. Сельманович, А.Э. Шибеко, Н.Н. Быков // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий: материалы V междунар. науч.-практич. конф., Рязань, 31 марта – 1 апреля 2021 г. / ФГБОУ ВО РГТУ. – Рязань, 2021. – 466 с.

7. Сельманович, В.Л. Ресурсосберегающая технология возделывания клевера лугового в условиях Полесья Республики Беларусь / В.Л. Сельманович, Н.Н. Быков, А.Э. Шибеко // Наука, технологии, кадры – основы достижений прорывных результатов в АПК: сб. материалов междунар. науч.-практич. конф., Казань, 26-27 мая 2021 г. / ФГБОУ ДПО «Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса»; редкол.: Н.Л. Титова [и др.]. – Казань, 2021. – Вып. XV. – Ч. 2. – 640 с.

8. Кшиникаткина, А.Н. Козлятник восточный / А.Н. Кшиникаткина. – Пенза: РИО ПГСХА, 2001. – 287 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 16.05.2022

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

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

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

Стоимость подписки на 2-е полугодие 2022 года: для индивидуальных подписчиков - 39,84 руб., ведомственная подписка - 41,94 руб.

УДК 633.43

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОАКТИВАТОРА БИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПИВОВАРЕННОГО ЯЧМЕНЯ

О.В. Бондарчук,

ст. преподаватель каф. электротехнологии БГАТУ

В статье изложена методика расчета электроактиватора биологической системы ячменя, которая позволяет определить конструктивные и технологические параметры основных узлов и потребляемую мощность электропривода.

Ключевые слова: напряженность, напряжение, электрическое поле, электроактиватор, пондеромоторная сила, конструкция, пивоваренный ячмень, солод.

A calculation methodology for a barley biological system electric activator which allows the geometrical parameters of the main assemblies and the power consumption of the electric drive to be determined is presented in the article.

Key words: tension, voltage, electric field, electric activator, ponderomotive force, design, malting barley, malt.

Введение

Электроактиватор предназначен для обработки пивоваренного ячменя перед получением солода с целью улучшения его качества.

Качество солода характеризуется совокупностью физико-химических и органолептических показателей [1]. Наиболее значимыми являются – энергия прорастания пивоваренного ячменя, амилолитическая активность солода, массовая доля экстракта в сухом веществе солода, продолжительность осахаривания, кислотность и другие показатели, которые зависят от класса ячменя и способа его обработки [1].

Перечисленные характеристики указывают на отсутствие единого показателя качества солода. Диапазон изменения этих параметров небольшой, а их влияние на конечный продукт значительно. Например, повышение экстрактивности солода на один процент увеличивает выпуск пива на 50-60 литров с одной тонны солода [2].

Известны установки для обработки зерна в электромагнитном поле частотой 2450 МГц, в поле коронного разряда, лазерным излучением, микроэлектротокком [4-7]. В источнике [3] предложен экологически чистый способ повышения качества солода, для реализации которого необходимо специальное устройство.

Целью настоящей работы является разработка методики расчета основных узлов электроактиватора ячменя и определение потребляемой мощности электропривода с учетом электрических сил, действующих на зерно.

Основная часть

Электроактиватор состоит из секций электродов и горизонтального транспортера [8].

Задача расчета основных узлов заключается в определении конструктивных размеров устройства и

потребляемой мощности электропривода. Расчетными параметрами установки являются: производительность, скорость движения ячменя в зоне обработки, геометрические размеры секции электродов, расстояние между секциями, характеристики редуктора, преобразователя частоты, электропривода. Расчету подлежит определение величины пондеромоторной силы, прижимающей зерно к электродам, время нахождения зерна в поточной линии и потребляемая мощность электродвигателя.

Руководствуясь параметрами электрообработки ячменя, представленными в патенте [3], предложена конструкция устройства, работающего в поточной линии, что обеспечивает минимальное время пребывания зерна в процессе обработки.

Основные конструктивные элементы электроактиватора представлены на рисунке 1.

После вторичной очистки и сортировки ячмень поступает в загрузочный бункер 1, где механизмом дозированной подачи 2 распределяется в один слой на ленту транспортера. Для устранения провисания ленты 3 под собственной тяжестью и зерном, под ней располагают армирующую текстолитовую пластину 7. В пластине на некотором расстоянии друг от друга устанавливают три секции электродов 4. Зерно, перемещаясь на ленте над секцией электродов, попадает в зону электрообработки $L_{сз}$, затем в зону релаксации $L_{зр}$. Этот процесс повторяется дважды. По окончании электрообработки зерно ссыпается в выгрузной бункер 9 для хранения и отлежки. Лента очищается щеткой 8, отходы сбрасываются в контейнер 10. Все элементы устройства смонтированы на раме 11.

Электроактиватор должен обеспечивать потребность в электрообработке пивоваренного ячменя на предприятии согласно годовому объему производства солода (пива).

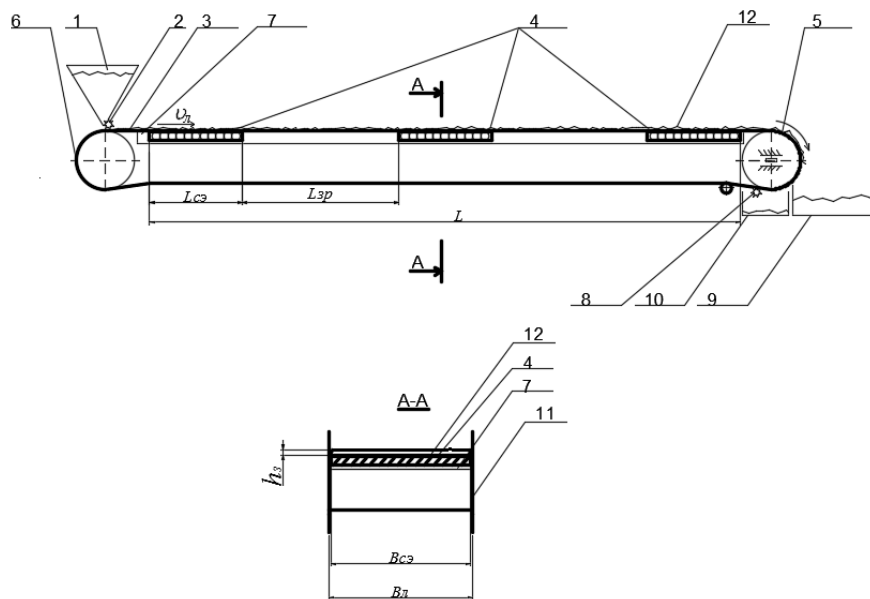


Рисунок 1. Конструктивные элементы электроактиватора:
1 — загрузочный бункер; 2 — валик-дозатор; 3 — лента транспортера;
4 — электродные секции; 5 — натяжной барабан; 6 — приводной барабан;
7 — армирующая пластина; 8 — щетка; 9 — выгрузной бункер;
10 — контейнер для отходов; 11 — рама; 12 — обрабатываемое зерно

Производительность установки определяют по суточному расходу зернопродуктов. Норма расхода очищенного ячменя на одну тонну солода [9]:

$$C_0 = \frac{1 \cdot (100 - w_2) \cdot 100}{B_n \cdot (100 - w_p)}, \quad (1)$$

где w_2 — влажность готового солода, %;
 B_n — плановый выход солода в пересчете на сухое вещество, т;

w_p — влажность расходуемого ячменя, %.

Количество зернопродуктов, перерабатываемых за год, т

$$V_{год} = C_0 \cdot \frac{V_{год.мн}}{V_{мн}}, \quad (2)$$

где $V_{год.мн}$ — годовой объем производства товарного пива, дал;

$V_{мн}$ — объем товарного пива, полученного с одной тонны солода, дал.

Суточный расход зернопродуктов, т [10]:

$$V_{сут} = \frac{V_{год} \cdot a}{n_{мес}}, \quad (3)$$

где a — доля максимального месячного выпуска пива от годового ($a=0,1$);

$n_{мес}$ — число дней работы в месяц ($n_{мес} = 28,5$).

Для обеспечения заданных параметров электроактивации определим производительность установки, т/ч

$$П_M = \frac{V_{сут}}{t_{сут}}, \quad (4)$$

где $t_{сут}$ — время работы электроактиватора в сутки, ч.

От производительности электроактиватора $П_M$ и размеров секции электродов будет зависеть скорость движения зерна в рабочей зоне, м/с

$$v_n = \frac{П_M}{3600 \cdot A \cdot \rho}, \quad (5)$$

где A — площадь поперечного сечения зерна на ленте, м²;

ρ — насыпная плотность ячменя, т/м³.

$$A = B_{сэ} h_3, \quad (6)$$

где $B_{сэ}$ — ширина слоя зерна (соответствует длине секции электродов и зависит от ширины транспортирующей ленты B_n), м;

h_3 — высота одного слоя зерна, м.

Методика расчета геометрических размеров секции электродов представлена в источнике [8], поэтому производим расчет остальных узлов электроактиватора.

Время нахождения ячменя на поточной линии, с

$$\tau = 3 \cdot \tau_{об} + 2 \cdot \tau_n, \quad (7)$$

где $\tau_{об}$ — время обработки партии ячменя в поле одной электродной секции, с [11];

τ_n — время паузы или время релаксации, с [11].

Ширина зоны релаксации при заданной скорости движения ленты, м

$$L_{зр} = v_n \cdot \tau_n. \quad (8)$$

Следовательно, длина рабочей зоны в установке (горизонтальная составляющая пути перемещения зерна), м

$$L = 3 \cdot L_{сэ} + 2 \cdot L_{зр}, \quad (9)$$

где $L_{сэ}$ — ширина секции электродов, м.

Длина всей установки зависит от размеров рабочей зоны и диаметров барабанов.

Методика расчета предложенного транспортирующего устройства аналогична методике инженерного расчета горизонтального транспортера [13], отличающаяся учетом влияния электрической силы на тяговое усилие.

При движении ленты возникают силы сопротивления, на преодоление которых расходуется энергия электродвигателя. Сила сопротивления движению ленты, согласно источнику [12], равна сумме сил сопротивлений на прямолинейном участке пути $F_{л}$, на барабанах $F_{б}$, загрузки F_3 , разгрузки F_r . При расчете также необходимо учесть силу сопротивления $F_{сэ}$, обусловленную пондеромоторной силой $F_э$, которая возникает вследствие поляризации ячменя, и является определяющей из всех других сил электрической природы [14].

Пондеромоторная сила (рис. 2) притягивает зерно к электродам, так как возникает вследствие элек-

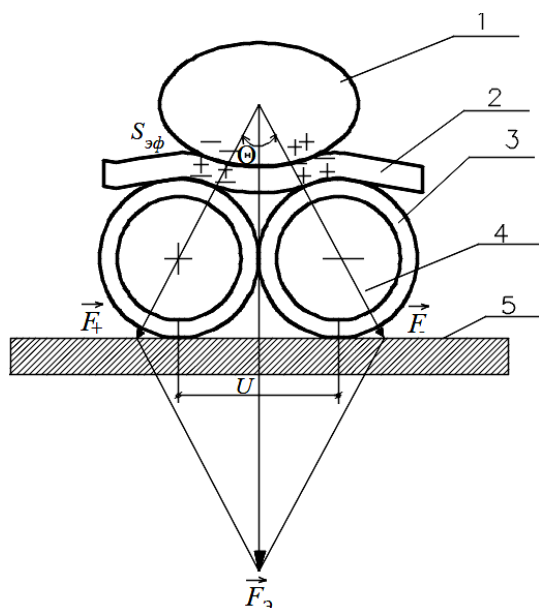


Рисунок 2. Расчетная схема: 1 – зерновка; 2 – лента; 3 – изоляция электродов; 4 – токопроводящие электроды; 5 – диэлектрическое основание

трического взаимодействия свободных зарядов на электродах и поляризационных зарядов на поверхности зерна, ближайшей к соответствующему заряду электрода. С увеличением толщины изоляционных слоев, либо расстояния от зерна до электродов, пондеромоторная сила уменьшается. Также известно, что, чем больше диэлектрическая проницаемость, тем больше пондеромоторная сила. Если принять во внимание, что диэлектрическая проницаемость зерна пропорциональна его влажности, то с увеличением последней возрастает и пондеромоторная сила [14].

Следовательно, расчетная формула примет следующий вид [12]:

$$F = F_{II} + F_B + F_3 + F_P + F_{C3} . \quad (10)$$

Сила сопротивлений на прямолинейном участке пути [12]:

$$F_{II} = (m + m_{\lambda})g \cdot l(f_p \cos \alpha + \sin \alpha) , \quad (11)$$

где m – масса ячменя, приходящегося на один метр длины l ленты установки, кг/м;

m_{λ} – масса одного метра ленты, кг/м;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

l – длина ленты, м;

f_p – коэффициент сопротивления движению ленты по текстолиту, $f_p = 0,2$;

α – угол наклона транспортера, рад.

Сопротивление движению на огибаемых лентой барабанах [12]:

$$F_B = F_{\lambda} \cdot f_{\delta} \cdot n_{\delta} , \quad (12)$$

где F_{λ} – натяжение набегающей ветви ленты, Н [15];

f_{δ} – коэффициент местного сопротивления, равный 0,06...0,09;

n_{δ} – количество барабанов.

$$F_{\lambda} = e^{\mu \alpha} / (e^{\mu \alpha} - 1) F_{OT} , \quad (13)$$

где μ – коэффициент, принимаем на основании источника [15];

α – угол охвата лентой барабана, рад;

$e^{\mu \alpha} / (e^{\mu \alpha} - 1)$ – коэффициент, принимаем на основании [15].

F_{OT} – окружное тяговое усилие на приводном барабане, Н.

Сила сопротивления от загрузки материала на ленту [13]:

$$F_3 = 0,1 \cdot C \cdot q_{cp} \cdot (v_a^2 - v_0^2) , \quad (14)$$

где C – коэффициент, учитывающий трение ячменя о направляющие борта загрузочного устройства [12];

q_{cp} – погонная нагрузка от рассыпного сырья, кг/м [13];

v_0 – начальная скорость зерна, м/с.

$$q_{cp} = \frac{P_M}{0,36 \cdot v_{\lambda}} . \quad (15)$$

Сила сопротивления от сбрасывания [12]:

$$F_P = 2,7 \cdot m \cdot g \cdot B_{\lambda} , \quad (16)$$

где B_{λ} – ширина ленты, м.

Электрическая сила пропорциональна квадрату напряжения, то есть даже при незначительных колебаниях напряжения на электродах, эта сила будет изменяться существенно [14]:

$$F_3 = 2 \cdot \frac{U^2 \cdot C_n^2 \cdot (\epsilon_3 - 1)}{\epsilon_3 \cdot \epsilon_0 \cdot S_{эф}} \cos \frac{\Theta}{2} , \quad (17)$$

где U – напряжение, подаваемое на электроды, В;

C_n – емкость системы в рабочем режиме, Ф;

ϵ_3 – диэлектрическая проницаемость зерна;

ϵ_0 – электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

$S_{эф}$ – эффективная площадь электродов, м²; [14]

$\cos \frac{\Theta}{2}$ – функция диаметра электродов и размеров зерновки.

$$S_{эф} = r^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \left(1 - \cos \frac{\Theta}{2} \right) , \quad (18)$$

где r – радиус электродов, м [8].

Пондеромоторную силу и силы сопротивления невозможно скалярно складывать. Поэтому необходимо определить силу сопротивления, обусловленную пондеромоторной силой

$$F_{C3} = F_3 \cdot (f_p \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot N , \quad (19)$$

где N – количество секций электродов,

или ввести ее в формулу (12), тогда

$$F_{II3} = ((m + m_{\lambda})g \cdot l + F_3 \cdot N)(f_p \cos \alpha + \sin \alpha) . \quad (20)$$

Формула (10) примет вид

$$F = F_{II3} + F_B + F_3 + F_P . \quad (21)$$

Мощность электродвигателя, кВт

$$P = \frac{F \cdot v_{\lambda}}{1000 \cdot \eta_n} , \quad (22)$$

где η_n – КПД передачи.

Определяем общее передаточное число:

$$i = \frac{n_d}{n_b}, \quad (23)$$

где n_d – номинальная частота вращения вала электродвигателя, мин⁻¹;

n_b – номинальная частота вращения барабана машины, мин⁻¹.

Уточняем скорость ленты, м/с

$$v_l = \frac{\pi \cdot D_{nb} \cdot n_d}{60 \cdot i}, \quad (24)$$

где D_{nb} – диаметр приводного барабана, м.

Изменяя частоту тока питающей сети, регулируют скорость вращения магнитного поля электродвигателя. Для этих целей применяют частотный преобразователь. Кроме повышения КПД и энергосбережения, такой электропривод позволяет получить новые качества управления. Также снижаются токовые и механические нагрузки за счет плавного пуска.

Заключение

Разработанная методика расчета конструктивных и технологических параметров основных узлов электроактиватора биологической системы пивоваренного ячменя основана на методике инженерного расчета горизонтального транспортера с учетом силы сопротивления, обусловленной пондеромоторной силой, влияющей на тяговое усилие при движении ленты. Последнее зависит от физико-химических характеристик обрабатываемого ячменя и напряжения, подаваемого на электроды. Получены зависимости для определения мощности электродвигателя, передаточного числа редуктора, скорости движения ленты [3]. Методика может быть применена для расчета аналогичных устройств предпосевной обработки семян в непрерывно-поточном производстве.

По изложенной методике определены технологические параметры электроактиватора пивоваренного ячменя: производительность – 1,1...3,3 т/ч; мощность двигателя транспортера – 0,1...0,5 кВт; потребляемая мощность – 1,5...1,8 кВт; скорость ленты – 0,1...0,2 м/с; напряжение питания – 230/400 В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Солод пивоваренный. Технические условия: ГОСТ 29259–2014. – Введ. 01.01.2016. – М.: Стандартинформ, 2016 – 28 с.
2. Pivo.by [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pivo.by/articles/reviews/heineken-belarusian-malt>. – Дата доступа: 14.12.2021.
3. Способ обработки пивоваренного ячменя в сухом виде: пат. 22032 Респ. Беларусь, МПК C12C 1/02 / О.В. Бондарчук, В.А. Пашинский, Н.Ф. Бондарь; заявитель Белор. гос. аграрн. технич. ун-т. – № а 20160040; заявл. 10.02.2016; опубл.

30.10.2017 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 5. – С. 21.

4. Установка для предпосевной обработки СВЧ-энергией: пат. 165527U1 РФ, МПК 7H05B6/78, H05B6/64. / А.В. Бастрон, А.В. Мещеряков, А.В. Исаев; заявитель «Красноярский государственный аграрный университет» – № 2015153603/13U; заявл. 14.12.2015. опубл. 20.10.2016. // Бюл. № 32. – С. 5.

5. Способ предпосевной обработки семян и устройство для его осуществления: пат. RU2299542C2 РФ, МПК A01C1/00; заявитель Государственное научное учреждение Сибирский научно-исследовательский институт переработки сельскохозяйственной продукции Сибирского отделения Россельхозакадемии. – № 2004109188/12; заявл. 16.03.2004; опубл. 27.09.2005. // Бюл. № 15. – С. 8.

6. Долговых, О.Г. Экологически безопасная предпосевная обработка семян яровой пшеницы [Текст] / О.Г. Долговых, В.Н. Огнев // Инженерный вестник Дона. – 2014. – Т. 31. – № 4. – С. 7.

7. Зарубина, Е.П. Интенсификация солодоращения пивоваренного ячменя микроэлектротокком: дисс... канд. техн. наук: 05.18.07 / Е.П. Зарубина; Московский гос. ун-т пищевых производств. – Москва, 2003. – 109 с.

8. Бондарчук, О.В. Методика расчета электродной секции электроактиватора биологической системы ячменя / О.В. Бондарчук, И.В. Протосовицкий // Агропанорама. – 2022. – № 2. – С. 31-35.

9. Бухгалтерский учет на производственных предприятиях. / В.Э. Карминов – М.: Дашков и Ко, 2004. – 580 с.

10. Дипломное проектирование заводов по производству пива и безалкогольных напитков. К.А. Калунянц и др. – М.: Агропромиздат, 1987. – 272 с.

11. Пашинский, В.А. Моделирование и оптимизация процесса электрофизической стимуляции пивоваренного ячменя для повышения его экстрактивности / В.А. Пашинский, О.В. Бондарчук // Вестник МГУП. – 2019. – № 2 (27). – С. 38-49.

12. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок / И.Ф. Кудрявцев [и др.]; под общ. ред. И.Ф. Кудрявцева. – М.: Агропромиздат, 1988. – 480 с.

13. Подъемно-транспортные машины и механизмы. Курсовое проектирование: учеб.-методич. комплекс / Н.Н. Романюк [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2018. – 302 с.

14. Тарушкин, В.А. Исследование электрического поля диэлектрического сепаратора с цилиндрическими электродами / В.А. Тарушкин // Сб. науч. тр. МИИМП. – 1979. – Т. 16. – Вып. 5. – С. 26-31.

15. Пособие по проектированию конвейерного транспорта (пособие к СНиП 2.05.07-85). Ленточные конвейеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/text/PosobieSNIP2050785Posob> i4.html. – Дата доступа: 10.12.2021.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 17.05.2022

К ВОПРОСУ О ДИАПАЗОНЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ И ПОТЕРЯХ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ НАГРУЗКЕ И ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ

М.А. Прищепов,

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

В статье предложена методика расчета диапазона параметрического регулирования скорости изменением напряжения питания и потерь асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при вентиляторной нагрузке. При этом расчет механических и электромеханических характеристик асинхронного двигателя проводится при переменных параметрах его схемы замещения.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, схема замещения, жесткость механических характеристик, диапазон регулирования скорости, статическая устойчивость

A method for calculating the range of parametric speed control by changing the supply voltage and the losses of an asynchronous motor with a short circuit rotor under ventilation is proposed in the article. In this case the calculation of the mechanical and electromechanical characteristics of an asynchronous motor is carried out with variable parameters of its equivalent circuit.

Key words: asynchronous motor, equivalent circuit, rigidity of mechanical characteristics, speed control range, static stability.

Введение

Вентиляционные установки находят широкое применение для поддержания параметров микроклимата внутри животноводческих, птицеводческих и производственных помещений. Как правило, для привода рабочих органов вентиляторов используются асинхронные двигатели (АД) с короткозамкнутым ротором. При этом изменение подачи воздуха вентилятором наиболее эффективно осуществляется регулированием скорости вращения его рабочего органа параметрическим (изменением напряжения питания обмоток статора АД) или частотным методом, т.е. регулированием частоты и амплитуды питающего напряжения обмоток статора АД. Считается, что параметрическое регулирование скорости вентилятора является менее энергоэффективным и обладает меньшим диапазоном регулирования.

Цель данной работы – провести теоретическую оценку диапазона регулирования скорости и потерь АД при ее параметрическом методе регулирования для вентиляторной нагрузки.

Основная часть

Для определения диапазона регулирования скорости вентилятора необходимо провести расчет и построение естественных и искусственных характеристик АД с учетом эффекта вытеснения тока ротора и насыщения магнитных цепей рассеяния при изменении напряжения питания обмоток статора, а затем наложить на механические характеристики АД механическую характеристику вентилятора.

В широко используемых источниках литературы [1-4] расчет и построение характеристик АД ведется при постоянных параметрах его схемы замещения

(СЗ) адекватных для рабочего участка характеристик при скольжении ротора от 0 до номинального скольжения s_n . Поэтому участки характеристик при скольжении ротора от 1 до s_n рассчитываются со значительной погрешностью, так как в этом диапазоне изменения скольжения ротора s сказывается эффект вытеснения тока ротора и насыщения магнитных цепей рассеяния, что не дает возможности адекватно оценивать реальный диапазон регулирования скорости АД при вентиляторной нагрузке.

Эффект вытеснения тока по высоте стержней обмотки (поверхностный эффект) приводит к уменьшению эффективного сечения стержней, т.е. увеличению эквивалентного активного сопротивления r_2 , последующему уменьшению индуктивности рассеяния обмотки ротора x_2 , которые в итоге будут зависеть от частоты тока ротора и насыщения магнитной системы АД. При этом приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление ротора x'_2 обратно пропорционально скольжению s .

Изменяется также и индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора x_1 вследствие насыщения зубцов магнитопровода от полей рассеяния [5-7]. Для повышения точности расчета характеристик АД с короткозамкнутым ротором в указанном диапазоне изменения скольжения s математическая модель (ММ) АД должна учитывать вышеуказанные процессы, что обусловлено сложностью зависимостей параметров ММ от скольжения ротора АД.

В работе [8] для определения приведенных к обмотке статора активного $r'_2 s$ и индуктивного $x'_2 s$ сопротивлений ротора при указанных сложностях для двигательного режима АД при скольжении ротора $s = 0 \dots 1$ предложено использовать следующие зависимости:

$$r'_{2s} = \begin{cases} r'_2 & \text{при } s \leq s_n; \\ \frac{r'_2 - k_{rs} r'_{2л}}{1 - k_{rs}} + \frac{r'_{2л} - r'_2}{1 - k_{rs}} k_{rs} & \text{при } s > s_n; \end{cases} \quad (1)$$

$$x'_{2s} = \begin{cases} x'_2 & \text{при } s \leq s_n; \\ \frac{x'_2 - k_{ls} x'_{2л}}{1 - k_{ls}} + \frac{x'_{2л} - x'_2}{1 - k_{ls}} k_{ls} & \text{при } s > s_n; \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{где } k_{rs} = \frac{0,0185s - 0,375s^2 + s^2\sqrt{s}}{0,035 + 0,612s^2\sqrt{s}}; \quad (3)$$

$$k_{ls} = \frac{0,0358s - 0,556s^2 + s^2\sqrt{s}}{0,0187 - 0,0151s^2 + 0,446s^2\sqrt{s}}; \quad (4)$$

k_{rs}, k_{ls} – коэффициенты, учитывающие изменения, соответственно, активного и индуктивного сопротивлений обмотки ротора при текущем скольжении s ;

r'_2, x'_2 – приведенное к обмотке статора активное и индуктивное сопротивление обмотки ротора АД, Ом;

$r'_{2л}, x'_{2л}$ – приведенное к обмотке статора активное и индуктивное сопротивление обмотки ротора АД в режиме пуска, Ом;

k_{rs}, k_{ls} – коэффициенты, учитывающие изменения, соответственно, активного и индуктивного сопротивлений обмотки ротора при номинальном скольжении ротора s_n .

Индуктивные сопротивления рассеяния обмотки статора x_1 и ротора x'_2 зависят от токов, проходящих по обмоткам, так как при изменении тока изменяется поле потоков рассеяния и главного магнитного потока из-за насыщения магнитной системы. С увеличением тока индуктивные сопротивления рассеяния уменьшаются. Влияние насыщения цепей рассеяния на изменение индуктивного сопротивления рассеяния статора может быть учтено по методикам, изложенным в работах [9, 10]. При этом для вычисления индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора x_{1s} при различных токах и скольжениях ротора АД удобно использовать зависимость

$$x_{1s} = \begin{cases} x_1 & \text{при } s \leq s_n; \\ x_1 + \frac{x_{1л} - x_1}{I_{1л} - I_{1н}} (I_{1s} - I_{1н}) & \text{при } s > s_n; \end{cases} \quad (5)$$

где $I_{1н}, I_{1с}$ – номинальное и текущее значение тока обмотки статора АД, А;

$x_1, x_{1н}$ – номинальное и пусковое значение индуктивного сопротивления обмотки статора АД, Ом;

$I_{1н}$ – пусковой ток обмотки статора АД (А), рассчитанный при параметрах СЗ в режиме пуска по выражениям:

$$I_{1н} = \sqrt{I_{0н}^2 + I_{2н}'^2 + 2I_{0н}I_{2н}' \sin \varphi_{2н}}; \quad (6)$$

$$I_{2н}' = \frac{U_{1н}}{\sqrt{\left(r_1 + r_{2н}'\right)^2 + x_{кн}^2 + \left(\frac{r_1 r_{2н}'}{x_{\mu}}\right)^2}}; \quad (7)$$

$$I_{0н} = \frac{U_{1н}}{\sqrt{r_1^2 + (x_{1н} + x_{\mu})^2}}; \quad (8)$$

$$\sin \varphi_{2н} = \frac{x_{кн}}{\sqrt{\left(r_1 + r_{2н}'\right)^2 + x_{кн}^2}}; \quad (9)$$

где $I_{0н}$ – ток холостого хода АД в пусковом режиме, А;

$I_{2н}'$ – приведенный к обмотке статора ток обмотки ротора АД в режиме пуска, А;

$r_{2н}'$ – приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора АД в режиме пуска, Ом;

$x_{кн}$ – индуктивное сопротивление обмоток статора и ротора АД для режима короткого замыкания при неподвижном роторе АД, Ом;

x_{μ} – индуктивное сопротивление ветви намагничивания АД, Ом;

$\sin \varphi_{2н}$ – синус угла между вектором фазного напряжения питания обмоток статора и сопряженным вектором тока обмотки ротора в режиме пуска АД.

Далее, с учетом эффекта вытеснения тока ротора и насыщения магнитных цепей потоков рассеяния, то есть с учетом изменения сопротивлений $x_{1с}, x'_{2с}$ и $r'_{2с}$ в СЗ АД, по известным классическим выражениям, приведенным в работах [3; 11-14], рассчитываем естественные механические $\omega_s = f(M_s)$ и электрохимические $\omega_s = f(I_s)$ характеристики АД:

$$M_s = \frac{3U_{1н}^2 r_{2с}'}{\omega_0 s \left(\left(x_{1с} + x'_{2с}\right)^2 + \left(r_1 + \frac{r_{2с}}{s}\right)^2 + \left(\frac{r_1 r'_{2с}}{sx_{\mu}}\right)^2 \right)}; \quad (10)$$

$$I_{1с} = \sqrt{I_{0с}^2 + I_{2с}'^2 + 2I_{0с}I_{2с}' \sin \varphi_{2с}}; \quad (11)$$

$$\omega_s = \omega_0 (1 - s), \quad (12)$$

где ω_0 – синхронная угловая скорость магнитного поля статора АД, рад/с;

ω_s – угловая скорость ротора АД при текущем его скольжении s , рад/с;

$$I'_{2s} = \frac{U_{1н}}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r'_{2s}}{s}\right)^2 + (x_{1s} + x'_{2s})^2 + \left(\frac{r_1 r'_{2s}}{sx_\mu}\right)^2}}; \quad (13)$$

$$I_{0s} = \frac{U_{1н}}{\sqrt{r_1^2 + (x_{1s} + x_\mu)^2}}; \quad (14)$$

$$\sin \varphi_{2s} = \frac{x_{1s} + x'_{2s}}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r'_{2s}}{s}\right)^2 + (x_{1s} + x'_{2s})^2}}. \quad (15)$$

В приведенных выражениях (11)...(15) индекс «s» означает, что их значение вычисляется при конкретном текущем скольжении.

Все приведенные выше выражения для расчета характеристик АД справедливы для номинального напряжения питания обмоток статора АД $U_{1н}$.

При снижении напряжения питания обмоток статора $U_1 < U_{1н}$ определяется относительное значение магнитного потока Φ , т.е. отношение магнитного потока при сниженном напряжении U_1 в магнитной системе статора к номинальному потоку при номинальном напряжении $U_{1н}$, равное

$$\Phi = \frac{U_1}{U_{1н}}. \quad (16)$$

Зная Φ , по относительной характеристике намагничивания находят относительный намагничивающий ток i , т.е. отношение намагничивающего тока I_0 к номинальному намагничивающему току $I_{\mu н}$ [15].

Тогда относительный намагничивающий ток i определим по относительной характеристике намагничивания, приведенной в источниках [16,17], которая описывается выражением (степенным многочленом второй степени)

$$\Phi = \alpha i^2 + \beta i + \gamma, \quad (17)$$

где $\alpha=0,229$; $\beta=0,988$; $\gamma=0,242$.

Из выражения (17) получим следующую формулу для относительного значения намагничивающего тока:

$$i = \frac{-\beta + \sqrt{\beta^2 - 4\alpha(\gamma - \Phi)}}{2\alpha}. \quad (18)$$

$$\text{Намагничивающий ток } I_0 = i \cdot I_{\mu н} \sin \varphi_x \approx i \cdot I_{\mu н}, \quad (19)$$

где $\sin \varphi_x$ – синус угла между векторами напряжения U_1 и током $I_{0s}=I_{\mu н}$ равен 0,966...0,996, так как угол φ_x обычно равен 75°...85°.

Полное сопротивление ветви намагничивания СЗ АД равно

$$Z_0 = \frac{U_1}{C_1 \cdot I_0}, \quad (20)$$

где C_1 – коэффициент приведения параметров Т-образной СЗ АД к Г-образной, о.е.

Тогда индуктивное сопротивление ветви намагничивания АД

$$X_\mu = Z_0 \sin \varphi_x. \quad (21)$$

С учетом приведенных формул на рисунке 1 представлена блок-схема детального алгоритма расчета механических и электромеханических характеристик АД с короткозамкнутым ротором. При этом расчет АД с учетом эффекта вытеснения тока ротора и насыщения магнитных цепей потоков рассеяния начинается с расчета параметров СЗ АД в режиме пуска, а затем пошагово проводится расчет естественных характеристик при изменении скольжения. Далее, при изменении напряжения питания обмоток статора АД U_1 проводится определение относительного магнитного потока Φ , относительного намагничивающего тока i , намагничивающего тока I_0 , полного Z_0 и индуктивного X_μ сопротивлений ветви намагничивания АД, приведенного к обмотке статора тока обмотки ротора АД $I'_{2п}$ в режиме пуска при измененном напряжении питания обмоток статора U_1 . Затем процесс расчета повторяется, как и при номинальном напряжении $U_{1н}$, начиная с сопротивлений СЗ при пуске.

Для определения статически устойчивого диапазона регулирования скорости АД при вентиляторной нагрузке изменением напряжения питания обмоток статора АД запишем выражение механической характеристики для вентиляторной нагрузки:

$$M_c = M_0 + a_c \omega^x, \quad (22)$$

где M_0 – момент от сил трения, Н·м;

a_c – коэффициент, Н·м·с/рад;

$x=2$ – для вентиляторов;

$x=3$ – для центробежных насосов.

Из характеристики (22) очевидно, что со снижением скорости от ω_n до $\omega_0(1-s)$ момент сопротивления M_c уменьшается в квадратичной или кубической зависимости от относительного снижения скорости.

Скорости, соответствующие установившимся режимам работы электропривода (ЭП), можно определить графически по точкам пересечения механических характеристик АД $M=f(\omega)$ и вентиляторной нагрузки $M_c=f(\omega)$. Точки пересечения могут соответствовать устойчивому или неустойчивому равновесию. Критерием статической устойчивости работы ЭП является выполнение неравенства

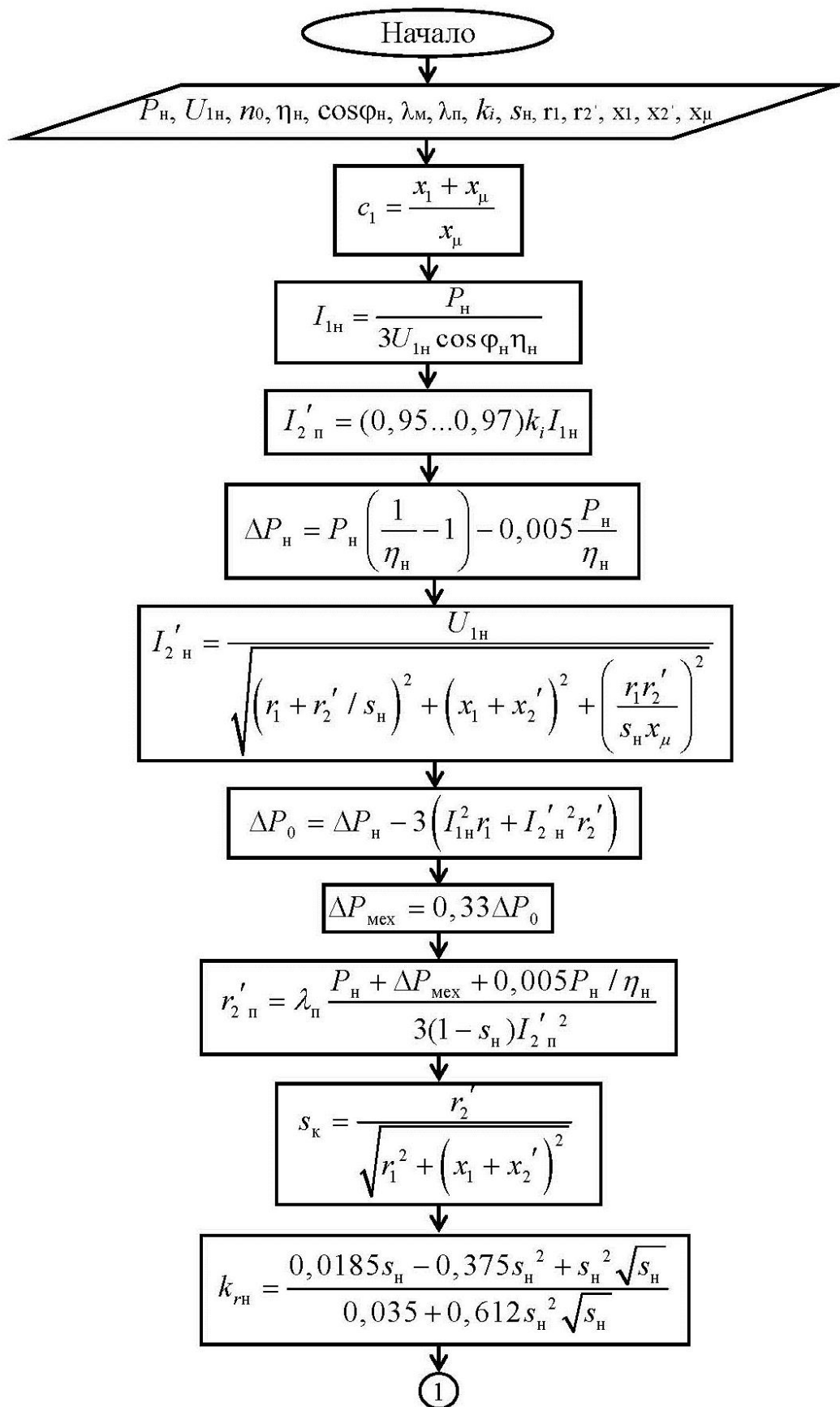
$$k_{\beta\delta} - k_{\beta c} < 0, \quad (23)$$

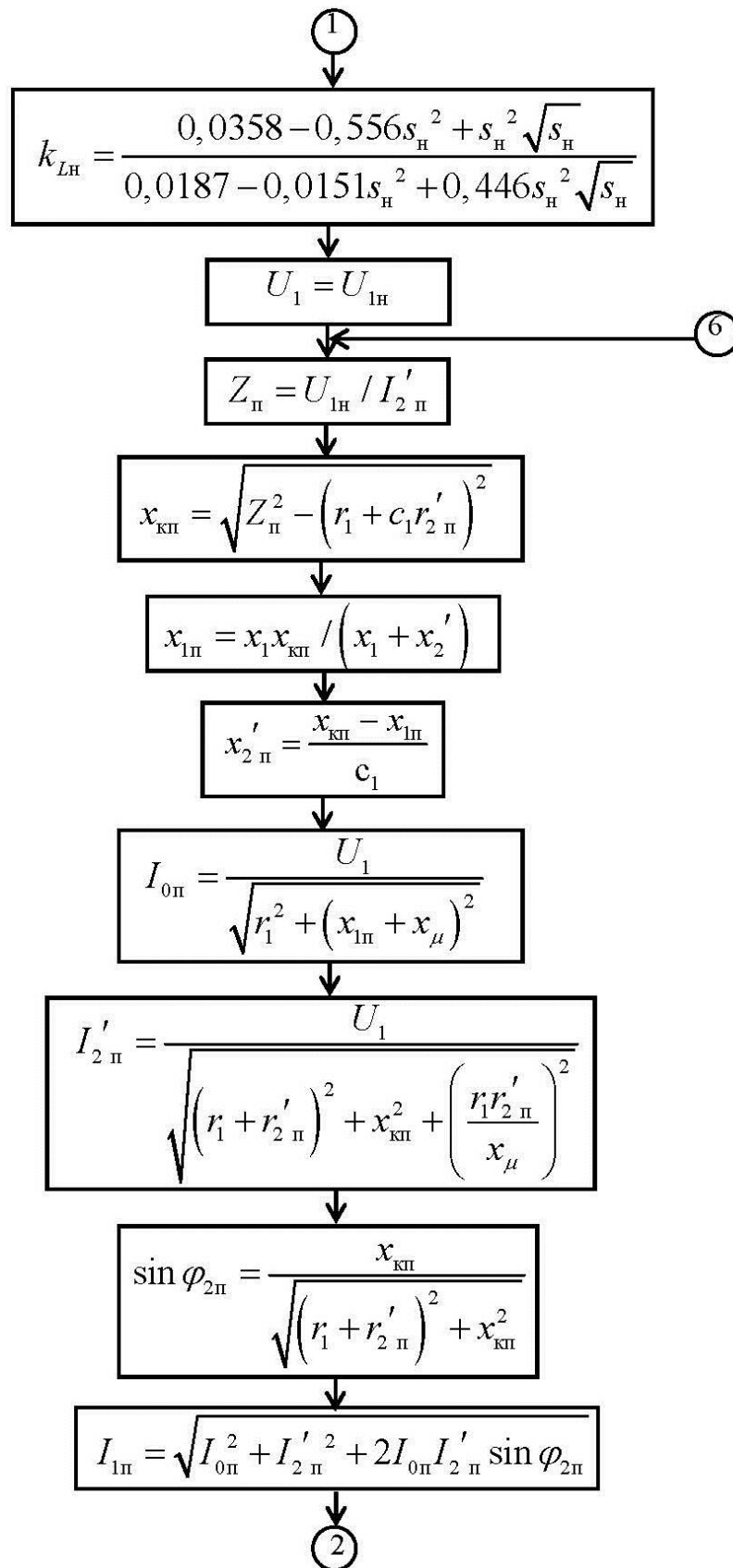
$$\text{где } k_{\beta\delta} = \frac{dM}{d\omega} \approx \frac{\Delta M}{\Delta \omega} - \text{ жесткость механической}$$

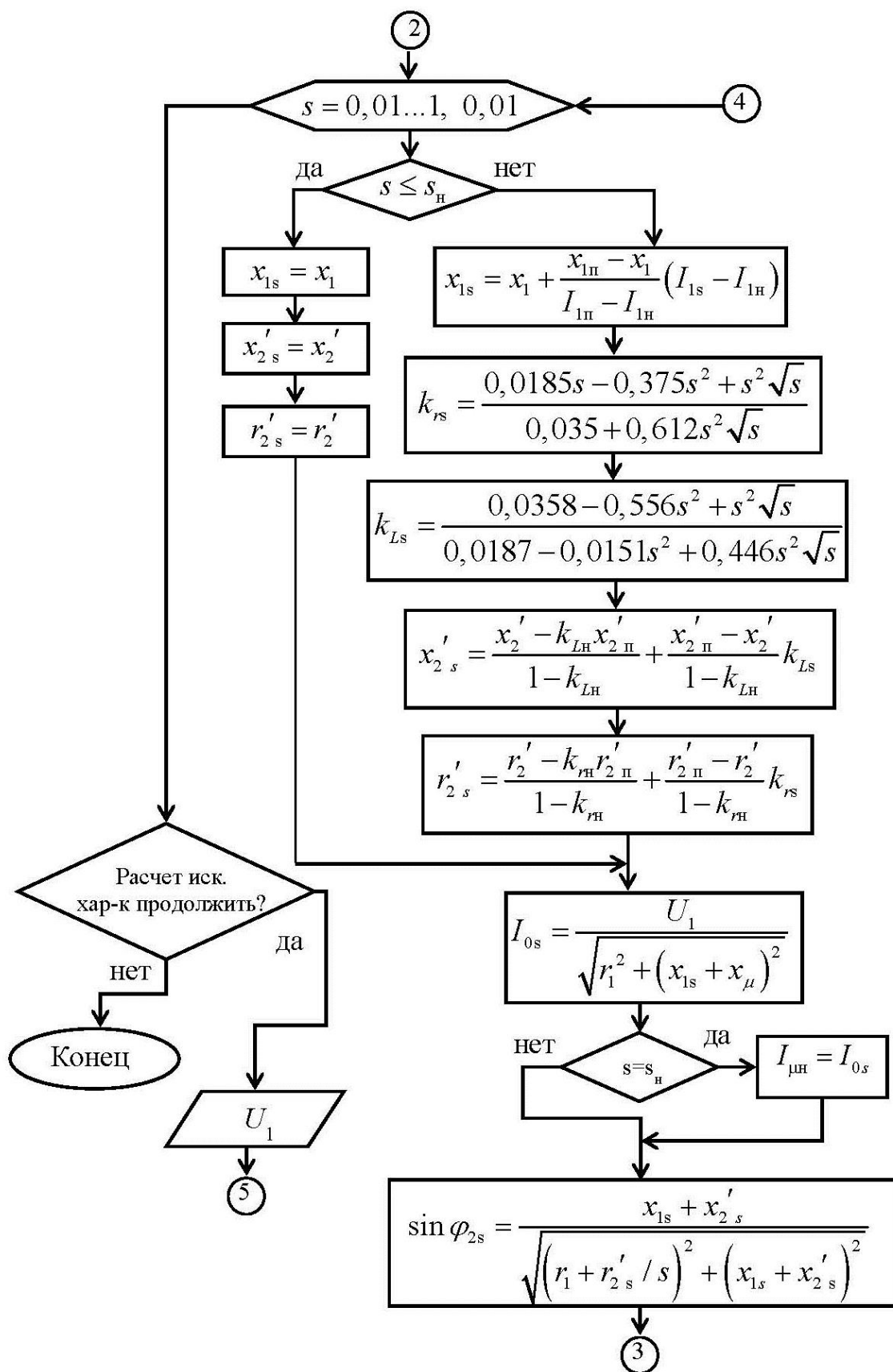
характеристики двигателя в точке установившегося режима;

$$k_{\beta c} = \frac{dM_c}{d\omega} - \text{ жесткость механической характе-}$$

ристики механизма в точке установившегося режима.







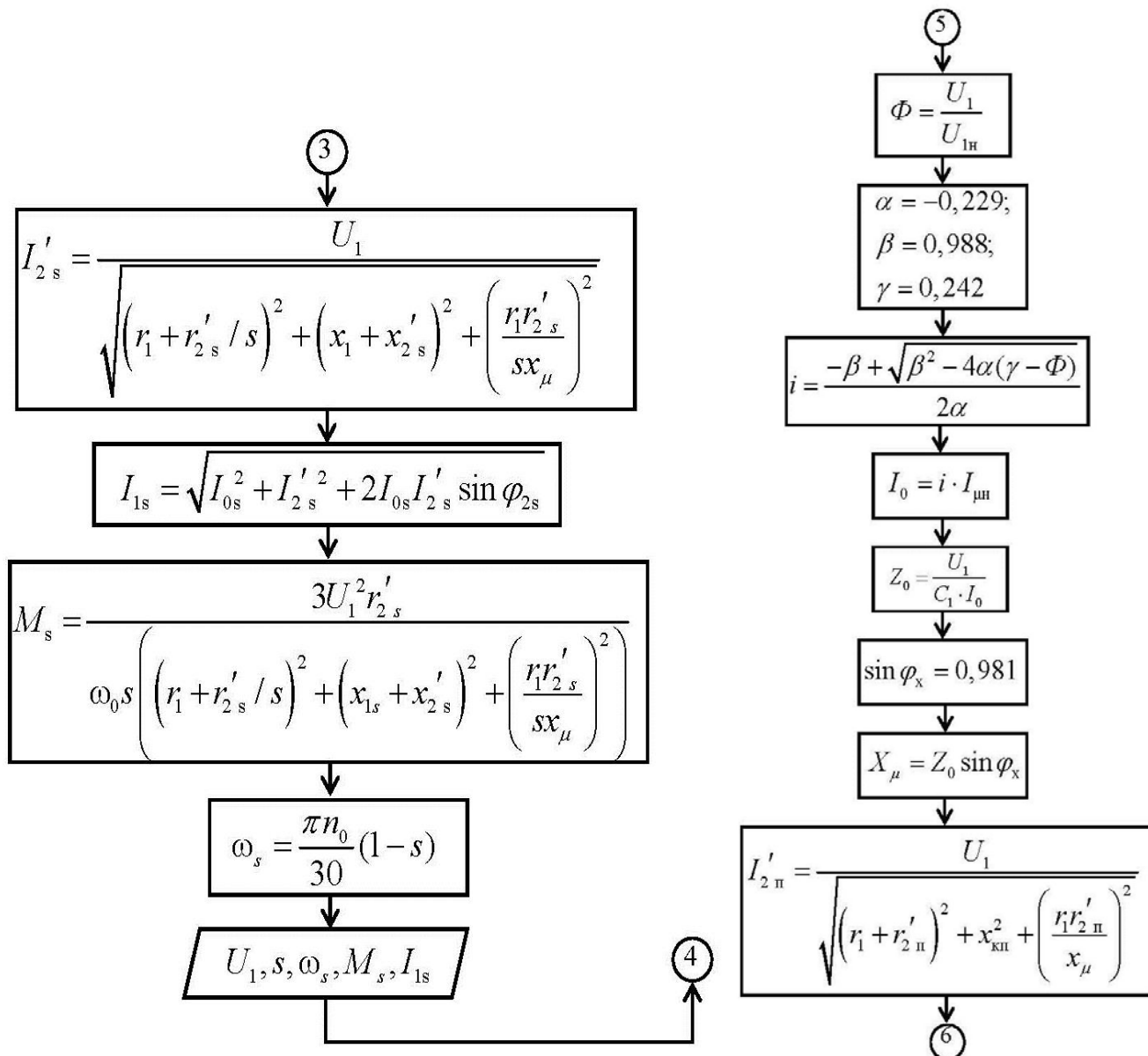


Рисунок 1. Блок-схема алгоритма расчета механических и электромеханических характеристик АД с короткозамкнутым ротором: P_n – номинальная мощность АД, Вт; n_0 – синхронная частота вращения магнитного поля статора АД, об/мин; η_n – номинальный КПД АД, о.е.; $\cos \varphi_n$ – номинальный косинус угла активной мощности АД, о.е.; λ_m – кратность максимального момента относительно номинального, о.е.; λ_n – кратность пускового момента относительно номинального, о.е.; k_i – кратность пускового тока АД, о.е.; s_k – критическое скольжение АД, о.е.; Z_n – полное сопротивление ротора АД в режиме пуска, Ом.

Жесткость механической характеристики вентиляторного механизма можно найти аналитически

$$k_{\beta c} = \frac{dM_c}{d\omega} = \frac{d(M_0 + a_c \omega^x)}{d\omega} = x \cdot a_c \omega^{x-1}. \quad (24)$$

Как следует из выражения (24), жесткость характеристики вентиляторного механизма линейно увеличивается с ростом его скорости.

Для определения жесткости механической характеристики АД $k_{\beta \delta}$ необходимо аппроксимировать естественную и искусственные механические харак-

теристики АД прямой и параболой, как показано на рисунке 2.

Прямая $M(\omega) = k_{\beta \delta}(\omega - \omega_0)$ соответствует работе двигателя на рабочем устойчивом участке естественной механической характеристики и проходит через точки идеального холостого хода ω_0 и номинальной скорости ω_n . В этом случае приращение момента для естественной механической характеристики АД ΔM равно номинальному моменту с отрицательным знаком $-M_n$ ($\Delta M = -M_n$), а скорости $\Delta \omega = \omega_0 - \omega_n$. Тогда

$$k_{\beta\delta} = \frac{\Delta M}{\omega_0 - \omega_n}, \quad (25)$$

а прямая $M(\omega) = k_{\beta\delta}(\omega_0 - \omega_n)$ (рис. 2) соответствует рабочему устойчивому участку механической характеристики АД.

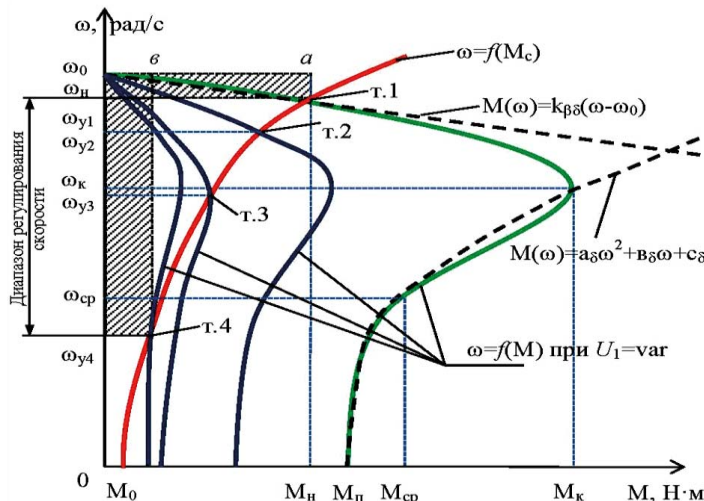


Рисунок 2. Естественные и искусственные механические характеристики АД $\omega=f(M)$ при различных напряжениях обмоток статора U_1 и механическая характеристика вентиляторной нагрузки $\omega=f(M_c)$

Для искусственной механической характеристики АД при напряжении питания обмоток статора $U_1 < U_{1н}$ значение ΔM будет равно значению момента $-M$ ($\Delta M = -M$) при угловой скорости $\omega = \omega_n$ на соответствующей искусственной характеристике.

Парабола $M(\omega) = a_\delta \omega^2 + \epsilon_\delta \omega + c_\delta$ соответствует неустойчивому участку механической характеристики АД и проходит через три точки: пускового момента M_n при $\omega_n = 0$, критического момента M_k при $\omega_k = \omega_0(1-s_k)$ и точку момента M_{cp} при средней скорости между критической скоростью ω_k и скоростью пуска ω_n АД $\omega_{cp} = \omega_0 \left(\frac{1-s_k}{2} \right)$. Определение мо-

ментов M_n , M_k , M_{cp} и соответствующих угловых скоростей ω_n , ω_k , ω_{cp} для различных напряжений обмоток статора АД U_1 проводят по каталожным данным или расчетным путем по алгоритму, приведенному на рисунке 1.

Далее, решая систему уравнений, записанную для трех указанных точек, определяют коэффициенты уравнения параболы a_δ , ϵ_δ , c_δ при различных напряжениях питания обмоток статора АД U_1 :

$$\begin{aligned} M_n &= a_\delta \omega_n^2 + \epsilon_\delta \omega_n + c_\delta; \\ M_{cp} &= a_\delta \omega_{cp}^2 + \epsilon_\delta \omega_{cp} + c_\delta; \\ M_k &= a_\delta \omega_k^2 + \epsilon_\delta \omega_k + c_\delta. \end{aligned} \quad (26)$$

Тогда коэффициент жесткости механической характеристики АД для неустойчивого участка

$$\begin{aligned} k_{\beta\delta} &= \frac{dM}{d\omega} = \frac{d(a_\delta \omega^2 + \epsilon_\delta \omega + c_\delta)}{d\omega} = \\ &= \epsilon_\delta + 2a_\delta \omega. \end{aligned} \quad (27)$$

После определения коэффициентов a_δ , ϵ_δ , c_δ механических характеристик и коэффициентов жесткости вентиляторной нагрузки $k_{\beta c}$ устойчивого и неустойчивого участков естественных и искусственных механических характеристик АД $k_{\beta\delta}$ определяют точки пересечения механической характеристики вентиляторной нагрузки $M_c=f(\omega)$ с механическими характеристиками АД $M=f(\omega)$ (т.1, т.2, т.3, т.4), представленные на рисунке 2. При этом параметры механических характеристик $M_c=f(\omega)$ и их коэффициентов жесткости $k_{\beta c}$ для вентиляторной нагрузки не изменяются, а аналогичные параметры характеристик $M=f(\omega)$ АД и их коэффициентов жесткости $k_{\beta\delta}$ будут изменяться с изменением напряжения обмоток его статора U_1 .

Определение точки пересечения механических характеристик укажет, при какой установившейся скорости $\omega_{y.i}$ будет работать АД для условия равенства моментов $M(\omega_{y.i}) = M_c(\omega_{y.i})$. Тогда, для устойчивого участка естественных и искусственных механических характеристик АД, установившаяся скорость $\omega_{y.i}$ определится из равенства

$$M_0 + a_c \omega_{y.i}^2 = k_{\beta\delta}(\omega_{y.i} - \omega_0). \quad (28)$$

Откуда

$$\omega_{y.i} = \frac{k_{\beta\delta} \pm \sqrt{k_{\beta\delta}^2 - 4a_c(M_0 + k_{\beta\delta}\omega_0)}}{2a_c}. \quad (29)$$

При этом в полученном выражении (29) знак выбирается таким образом, чтобы установившаяся скорость $\omega_{y.i}$ находилась на отрезке скоростей $\omega_0 \dots \omega_k$.

На устойчивом участке механических характеристик АД $M=f(\omega)$ ЭП будет всегда устойчив, так как будет выполняться условие (23).

В случае, когда полученная по выражению (29) установившаяся скорость ЭП $\omega_{y.i}$ будет меньше критической скорости АД ω_k , аналогично определяют точку пересечения механической характеристики вентиляторной нагрузки $M_c=f(\omega)$ с неустойчивыми участками искусственных механических характеристик АД $M=f(\omega)$ при пониженном напряжении питания обмоток статора U_1 из равенства

$$M_0 + a_c \omega_{y.i}^2 = a_\delta \omega_{y.i}^2 + \epsilon_\delta \omega_{y.i} + c_\delta. \quad (30)$$

Тогда

$$\omega_{y.i} = \frac{-\epsilon_\delta \pm \sqrt{\epsilon_\delta^2 - 4(a_\delta - a_c)(c_\delta - M_0)}}{2(a_\delta - a_c)}. \quad (31)$$

При этом знак в выражении (31) выбирается таким, чтобы установившаяся скорость $\omega_{y,i}$ находилась на отрезке скоростей $0 \dots \omega_k$.

После определения установившейся скорости $\omega_{y,i}$ по выражению (31) определяют коэффициент жесткости $k_{\beta\delta}$ и далее по критерию (23) определяют устойчивость ЭП. Если ЭП будет статически устойчив при полученной установившейся скорости $\omega_{y,i}$, то далее повторяют расчет при более низком напряжении питания обмоток статора АД U_1 до тех пор, пока будет существовать установившаяся скорость $\omega_{y,i}$ и выполняться критерий устойчивости (23). Последняя, определенная таким образом скорость $\omega_{y,i}$, при которой будет выполняться критерий устойчивости (23), и будет являться минимальной скоростью диапазона ее регулирования ЭП для вентиляторной нагрузки (рис. 2).

Анализ рассчитанных графических зависимостей (рис. 3) по предложенной выше методике показывает, что условие (23) выполняется во всем диапазоне регулирования скорости, соответственно, вращение вентилятора во всем диапазоне скоростей будет устойчивым.

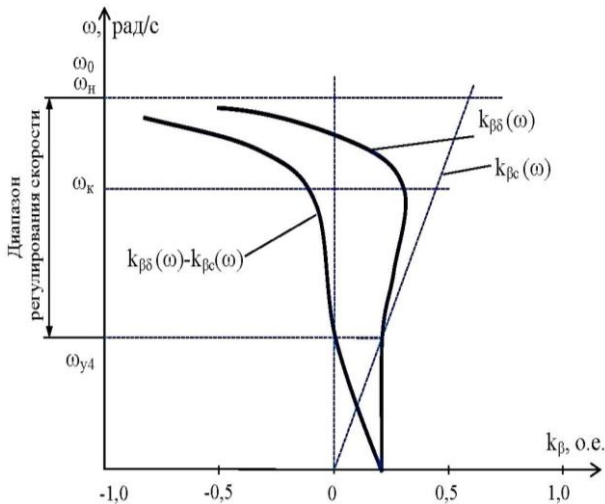


Рисунок 3. Зависимости коэффициентов жесткости асинхронного двигателя $k_{\beta\delta}$ и вентиляторной нагрузки $k_{\beta\epsilon}$ при регулировании скорости ω изменением напряжения обмоток статора

Однако работа ЭП в широком диапазоне скоростей, т.е. с большим скольжением вызывает значительные потери в роторе АД (рис. 2). Потери в обмотке ротора при номинальной скорости ω_n , соответствующей номинальному напряжению питания обмоток статора U_{1n} , будет выражаться площадью прямоугольника $\omega_0 - \omega_n$ -т.1-а, а потери в обмотке ротора при скорости $\omega_{y,4}$, соответствующей пониженному напряжению U_1 , - площадью прямоугольника $\omega_0 - \omega_{y,4}$ -т.4-в.

Полные же электромагнитные потери в АД

$$\Delta P_{эм} = \Delta P_{м1} + \Delta P_{м2} + \Delta P_{с1}, \quad (32)$$

где $\Delta P_{м1}$ - потери в меди статора, Вт;

$\Delta P_{м2}$ - потери в меди ротора, Вт;

$\Delta P_{с1}$ - потери в стали статора, Вт.

При работе АД на естественной характеристике, согласно [3;17], эти потери определяются выражениями:

$$\Delta P_{м1} = \left(\frac{I_{\mu n}}{I_{1n}} + \left(1 - \frac{I_{\mu n}}{I_{1n}} \right) \mu_c^2 \right) \Delta P_{м1n}; \quad (33)$$

$$\Delta P_{м2} = \mu_c^2 \Delta P_{м2n}; \quad (34)$$

$$\Delta P_{с1} = [B + (1 - B) \mu_c^2] \Delta P_{с1n}, \quad (35)$$

где $\Delta P_{м1n} = 3 I_{1n}^2 r_1'$ - номинальные потери в меди статора, Вт;

$\Delta P_{м2n} = 3 (I_{2n}')^2 r_2'$ - номинальные потери в обмотке ротора, Вт;

$$\Delta P_{с1n} = \Delta P_n -$$

$-\left(\Delta P_{м1n} + 1,5 \cdot 10^{-2} P_n + 10^{-2} \frac{P_n s_n}{1 - s_n} \right)$ - номинальные потери в стали статора, Вт;

$$\Delta P_n = \frac{P_n (1 - \eta_n)}{\eta_n} - \text{суммарные потери в АД, Вт};$$

$$\mu_c = \frac{M_c}{M_n} - \text{относительное значение момента}$$

статической нагрузки, о.е.;

B - конструктивный коэффициент, зависящий от серии АД, о.е. ($B=0,96-0,98$ - для серии АД 4А).

При работе АД на искусственных механических характеристиках $\omega=f(M)$, полученных путем снижения напряжения питания обмотки статора U_1 , составляющие полных электромагнитных потерь в АД согласно [3; 17], определяются по выражениям:

$$\Delta P_{м1} = 1,1 \mu_c^2 \left(\frac{I_0 s_n}{I_{1n} s} + \left(1 - \frac{I_0}{I_{1n}} \right) \frac{s_n}{s} \right) \Delta P_{м1n}; \quad (36)$$

$$\Delta P_{м2} = 1,1 \mu_c^2 \left(\frac{s}{s_n} \right) \Delta P_{м2n}; \quad (37)$$

$$\Delta P_{с1} = \mu_c^2 \left[B \frac{s_n}{s} + (1 - B) \frac{s}{s_n} \right] \Delta P_{с1n}. \quad (38)$$

Анализ выражений (36)...(38) показывает, что при работе АД на искусственных механических характеристиках при пониженном напряжении питания обмоток статора U_1 увеличиваются потери в обмотке ротора $\Delta P_{м2}$ за счет увеличения отношения скольжений s/s_n , но уменьшаются потери в меди статора $\Delta P_{м1}$ и в стали статора $\Delta P_{с1}$ за счет уменьшения отношения скольжений s_n/s . При этом их суммарное соотноше-

ние таково, что общие электромагнитные потери $\Delta P_{\text{эм}}$ при работе на искусственных характеристиках оказываются меньшими, чем при работе на естественной характеристике.

Заключение

1. Особенность механической характеристики вентиляторной нагрузки позволяет работать ЭП на участке искусственных механических характеристик при пониженном напряжении питания обмоток статора АД U_1 со скольжениями s , большими критического s_k , что невозможно для других видов нагрузки. Однако работа с большими скольжениями вызывает и большие потери в роторе АД.

2. Расчет механических характеристик АД при переменных параметрах СЗ позволяет наиболее достоверно определить допустимый диапазон регулирования скорости ЭП при вентиляторной нагрузке.

3. Анализ литературных источников и проведенных расчетов при параметрическом регулировании скорости АД изменением напряжения питания обмоток статора U_1 для вентиляторной нагрузки показывает, что электромагнитные потери снижаются в 1,5-2 раза. При этом они будут уменьшаться с уменьшением статического момента вентиляторной нагрузки по сравнению с номинальным моментом АД, т.е. чем с большей недогрузкой работает АД.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фираго, Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Минск: Техноперспектива, 2006. – 363 с.
2. Гридин, В.М. Расчет характеристик асинхронных двигателей по каталожным данным / В.М. Гридин // *Электричество*, 2018. – № 3. – С. 44-48.
3. Дементьев, Ю.Н. Автоматизированный электропривод: учеб. пособие / Ю.Н. Дементьев, А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев. – Томск: ТПУ, 2009. – 224 с.
4. Прищепов, М.А. Расчет параметров схемы замещения асинхронных двигателей по каталожным данным и построение их естественных механических и электромеханических характеристик / М.А. Прищепов, Е.М. Прищепова, Д.М. Иванов // *Агропанорама*. – 2016. – № 5. – С. 20-32.
5. Фираго, Б.И. Расчеты по электроприводу производственных машин и механизмов: учеб. пособие / Б.И. Фираго. – Минск: Техноперспектива, 2012. – 639 с.
6. Иванов-Смоленский, А.В. Электрические машины: учеб. для вузов / А.В. Иванов-Смоленский. – М.: Энергия, 1980. – 928 с.
7. Вольдек, А.И. Электрические машины: учеб. для вузов / А.И. Вольдек. – 2-е изд.; перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с.
8. Мощинский, Ю.А. Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным / Ю.А. Мощинский, В.Я. Беспалов, А.А. Кирякин // *Электричество*, 1998. – № 4. – С. 38-42.
9. Баклин, В.С. Математическая модель частотно-регулируемого асинхронного двигателя / В.С. Баклин, А.С. Гимпельс // *Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]*. – 2005. – Т. 308. – № 7. – С. 148-153.
10. Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин: учеб. для вузов / И. П. Копылов. – М.: Высшая школа, 2001. – 327 с.
11. Чиликин, М.Г. Основы автоматизированного электропривода: учеб. пособие для вузов / М.Г. Чиликин, М.М. Соколов, В.М. Терехов, А.В. Шинянский. – М.: Энергия, 1974. – 568 с.
12. Чернышев, А.Ю. Электропривод переменного тока: учеб. пособие / А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213 с.
13. Прищепов, М.А. Расчет статических характеристик АД с короткозамкнутым ротором в двигательном и генераторном режимах при частотном управлении скоростью и стабилизации потока возбуждения / М. А. Прищепов, Е.М. Прищепова, Д.М. Иванов // *Агропанорама*. – 2017. – № 2 (120). – С. 26-36.
14. Прищепов, М.А. Расчет предельных механических и электромеханических характеристик при частотном регулировании скорости в разомкнутой системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель / М.А. Прищепов, Е.М. Прищепова // *Агропанорама*. – 2021. – № 5 (147). – С.15-27.
15. Гридин, В.М. Расчет характеристик асинхронных двигателей по каталожным данным / В.М. Гридин // *Электричество*, 2018. – № 9. – С. 44-48.
16. Гридин, В.М. Расчет характеристик двигателей постоянного тока по каталожным данным / В.М. Гридин // *Электричество*, 2018. – № 3. – С. 38-43.
17. Сыромятников, И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / И.А. Сыромятников; под ред. Л.Г. Мамиконяна. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 31.05.2022

УДК 338.439.053

К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В РЕГИОНАЛЬНЫХ АГРОПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

Л.В. Корбут,

зав. каф. экономики и управления предприятиями АПК БГЭУ, канд. экон. наук, доцент

К.Н. Соболев,

доцент каф. экономики и управления предприятиями АПК БГЭУ, канд. экон. наук, доцент

В статье рассмотрены ключевые риски обеспечения региональной продовольственной безопасности, представлен методологический подход к их оценке. Особое внимание уделено разработке механизма управления рисками в региональных агропродовольственных системах.

Ключевые слова: агропродовольственная система, региональная продовольственная безопасность, оценка рисков, управление.

The article deals with the key risks of ensuring regional food security, presents a methodological approach to risk assessment. Particular attention is paid to the development of a risk management mechanism in regional agri-food systems.

Key words: agri-food system, regional food security, risk assessment, management.

Введение

Особую значимость в современных рыночных условиях приобретают вопросы адаптации регионов к рискам, возникающим на уровне агропродовольственных систем, устойчивое и эффективное развитие которых на основе концепции риск-менеджмента зачастую выступает основной целью государственной аграрной и региональной политики. При этом обеспечение стабильности их функционирования требует научно обоснованного подхода к принятию эффективных управленческих решений, основанных на анализе рискообразующих факторов.

Современные теоретико-методологические подходы к исследованию национальной и региональной продовольственной безопасности, устойчивого развития продовольственных рынков представлены в работах отечественных ученых-экономистов: В.Г. Гусакова [1], Г.И. Гануша [2], В.И. Бельского [3], Н.В. Киреенко [4], А.В. Пилипука [1; 5], Н.В. Карпович [2; 5, 6], Г.В. Гусакова [2; 5, 6], С.А. Кондратенко [2; 6, 7], Л.В. Лагодич [8] и других. Актуальной остается разработка методологических подходов к оценке рисков в агропродовольственных системах и соответствующих механизмов управления, учитывающих региональную специфику.

Основная часть

Агропромышленный комплекс (АПК) имеет огромное значение в национальной экономике, поскольку именно он обеспечивает продовольственную безопасность. Следует отметить, что эффективное развитие сельского хозяйства в регионах Беларуси и стране в целом ограничивает ряд неблагоприятных условий, что является отражением возросшей риск-нагрузки на агропродовольственные системы различных уровней. При этом их функционирование не со-

ответствует критериям устойчивого развития [7].

Стратегической целью формирования устойчивой продовольственной системы является обеспечение продовольственной безопасности на заданном уровне [8]. Она является важнейшей составляющей национальной безопасности и необходимым условием реализации стратегического приоритета – обеспечение высоких жизненных стандартов населения и условий для гармоничного развития личности, что актуализирует необходимость эффективного управления профильными рисками.

Оценку рисков обеспечения региональной продовольственной безопасности, как одного из основных рисков устойчивого регионального развития, возможно провести с помощью метода суммарного ранжирования. Сущность данного метода заключается в формировании матрицы исходных сопоставимых индикаторов (показателей) риска, последующем составлении матрицы рангов по каждому показателю путем определения их значений с учетом интервала ранжирования и определении суммарного ранга для каждой области путем суммирования произведений полученных рангов по каждой группе индикаторов и соответствующего весового коэффициента.

Определение интервала ранжирования показателей (I_T) осуществляется по следующей формуле:

$$I_T = \frac{A_{j\max} - A_{j\min}}{n - 1}, \quad (1)$$

где $A_{j\max}$ – максимальное значение варьирующего признака $T, j = 1 \dots 6$;

$A_{j\min}$ – минимальное значение варьирующего признака T ;

n – число областей.

Для определения ранга показателей, более высокое значение которых соответствует позитивному

сценарию, используется формула 2, в противном случае (обратная зависимость) – формула 3

$$R_{ij} = \frac{A_{ij} - A_{j\min}}{I_T} + 1; \quad (2)$$

$$R_{ij} = \frac{A_{j\max} - A_{ij}}{I_T} + 1, \quad (3)$$

где i – количество исследуемых регионов, $i = 1 \dots 6$.

Для целей оценки рисков авторами предлагается акцентировать внимание на следующих группах индикаторов, которым соответствует определенный набор показателей:

1. *Физическая доступность сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия* (весовой коэффициент – 0,3): производство зерна на душу населения в год, кг; посевные площади под зерновые культуры, тыс. га; удельный вес убыточных сельскохозяйственных организаций в общем их количестве, %; уровень рентабельности реализованной продукции, товаров, работ, услуг в сельскохозяйственных организациях, %;

2. *Экономическая доступность сельскохозяйственной продукции и продовольствия* (весовой коэффициент – 0,3): доля расходов на продукты питания в структуре потребительских расходов домашних хо-

зяйств, %; темпы роста реальных располагаемых денежных доходов населения (в % к предыдущему году);

3. *Уровень и качество питания* (весовой коэффициент – 0,3): потребление основных продуктов питания (хлеб и хлебобулочные изделия, молоко и молокопродукты, мясо и мясопродукты, рыба и рыбопродукты, масло растительное, яйцо, картофель, овощи и бахчевые, фрукты и ягоды, сахар и кондитерские изделия) в домашних хозяйствах в расчете на одного члена домашнего хозяйства в год, к рациональной норме потребления, %; энергетическая ценность рациона питания в домашних хозяйствах в расчете на одного члена в сутки, ккал;

4. *Устойчивость сельскохозяйственного производства* (весовой коэффициент – 0,1): удельный вес инвестиций в основной капитал, направленных на развитие сельского хозяйства, в общем объеме инвестиций, %; удельный вес неиспользуемых земель сельскохозяйственных организаций, %; сумма активных температур выше 10 °C за год; площадь орошаемых сельскохозяйственных земель, тыс. га.

На основе данных показателей осуществлено ранжирование областей Беларуси (г. Минск исключен из выборки) по уровню рисков обеспечения региональной продовольственной безопасности (таблица).

Рейтинговая оценка по данным за 2019 год пока-

Таблица. Оценка рисков обеспечения региональной продовольственной безопасности методом суммарного ранжирования за 2010 г., 2015 г. и 2019 г.

Группы индикаторов	Брестская область	Витебская область	Гомельская область	Гродненская область	Минская область	Могилевская область
<i>Матрица рангов за 2010 г.</i>						
Физическая доступность сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия	14,54	12,27	10,45	15,35	9,00	16,32
Экономическая доступность сельскохозяйственной продукции и продовольствия	9,71	6,41	6,40	6,88	6,79	8,34
Уровень и качество питания	3,94	5,64	5,46	11,58	7,38	3,32
Устойчивость сельскохозяйственного производства	15,73	12,44	10,26	7,47	10,51	20,77
Общая рейтинговая оценка (суммарный ранг)	10,03	8,54	7,72	10,89	8,00	10,47
Место	3	4	6	1	5	2
<i>Матрица рангов за 2015 г.</i>						
Физическая доступность сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия	16,08	7,93	13,74	17,36	12,31	15,11
Экономическая доступность сельскохозяйственной продукции и продовольствия	6,58	4,71	7,16	4,50	7,00	3,35
Уровень и качество питания	3,07	6,43	7,13	10,81	8,34	6,42
Устойчивость сельскохозяйственного производства	17,40	11,12	9,97	8,52	14,49	17,93
Общая рейтинговая оценка (суммарный ранг)	9,46	6,83	9,40	10,65	9,74	9,26
Место	3	6	4	1	2	5
<i>Матрица рангов за 2019 г.</i>						
Физическая доступность сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия	17,45	9,31	10,48	13,08	14,27	10,61
Экономическая доступность сельскохозяйственной продукции и продовольствия	10,33	5,00	10,61	6,34	7,00	4,30
Уровень и качество питания	8,75	5,40	7,30	7,14	10,61	4,87
Устойчивость сельскохозяйственного производства	18,31	11,44	10,40	8,93	11,80	15,85
Общая рейтинговая оценка (суммарный ранг)	12,79	7,06	9,56	8,86	10,75	7,52
Место	1	6	3	4	2	5
<i>Источник: собственная разработка авторов на основе данных Национального статистического комитета.</i>						

зала, что высокий уровень риска обеспечения продовольственной безопасности характерен для Могилевской и Витебской областей. В сравнении с 2015 годом, места в рейтинге по отдельным областям (кроме Витебской, Могилевской и Минской, позиции которых сохранились) изменились: по Брестской – с 3 на 1, Гомельской – с 4 на 3, Гродненской – с 1 на 4.

При этом следует отметить, что, несмотря на то, что продовольственная безопасность Беларуси обеспечивается по количественным критериям, имеют место негативные тенденции и потенциальные угрозы в сфере устойчивого функционирования АПК, обеспечения физической и экономической доступности продовольствия:

- недостаточно высокая эффективность сельскохозяйственного производства, что подтверждается низкими значениями показателя рентабельности реализованной продукции, работ, услуг в сельскохозяйственных организациях (от минус 0,9 % в Гомельской области до 10,1 % в Брестской области при среднереспубликанском значении 5,5 % в 2020 г.), которые, несмотря на положительные значения, не позволяют обеспечить расширенное воспроизводство (допустимое значение показателя не менее 30 %) [9];

- наличие убыточных сельскохозяйственных организаций, количество которых с 2010 г. по 2019 г. по областям увеличилось: в Брестской – с 2,1 % до 9,1 %; Витебской – с 2,3 % до 17,3 %; Гомельской – с 2,8 % до 9,7 %; Гродненской – с 2,5 % до 26,8 %; Минской – с 7,9 % до 20,1 %; Могилевской – с 3,2 % до 14,4 %. Отметим, что проводимые в последние годы мероприятия по финансовому оздоровлению аграрного сектора позволили сократить удельный вес убыточных организаций по всем областям, за исключением Гомельской области;

- в отдельных областях не достигнуты параметры производства определенных видов сельскохозяйственной продукции в соответствии с критическим уровнем потребности (в Витебской области – производство зерна, картофеля, Гомельской – производство зерна, рапса, плодов и ягод, Могилевской – производство рапса);

- недостаточный уровень самообеспечения зерном – 98,1 % (2019 г.), фруктами и ягодами – 48 % (66,8 % в 2020 г.), рыбой – 13,8 % (12,0 % в 2020 г.);

- несмотря на превышение достигнутых объемов производства продовольствия в расчете на душу населения над ее внутренней потребностью, имеет место несоответствие уровня потребления основных продуктов питания во всех областях рациональной норме, за исключением Минской области, по потреблению мяса и мясопродуктов (101 % к норме), что связано с экономической доступностью продовольствия и культурой питания населения;

- доля продаж продовольственных товаров отечественного производства организациями торговли на внутреннем рынке в общем объеме продаж в 2020 г. в сравнении с 2010 г. сократилась на 5,9 п. п. (с 83,0 % до 77,1 %) при допустимом значении не менее 85,0 %;

- доля расходов на питание в структуре потреби-

тельских расходов домашних хозяйств на протяжении ряда лет превышает допустимое значение (35,0 %). К 2019 г. только Брестская и Гомельская области смогли достигнуть допустимого значения в 34,8 % при среднереспубликанском значении в 35,7 %. По итогам 2020 г. отклонение от допустимого значения показателя составило 4,1 п.п.

Управление рисками представляет собой постоянный, планомерный и целенаправленный комплекс мероприятий по выявлению, анализу и оценке внешних и внутренних факторов, принятию на основании выявленных угроз управленческих решений по минимизации негативных воздействий на производственно-хозяйственную деятельность предприятия.

В Доктрине национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года определены направления, меры и механизмы по повышению обеспеченности населения качественным продовольствием для полноценного питания и здорового образа жизни на основе устойчивого развития конкурентоспособного аграрного производства и создания благоприятных социально-экономических условий, а также внешние и внутренние факторы и угрозы обеспечения национальной продовольственной безопасности [9].

Для эффективного управления рисками в региональных агропродовольственных системах целесообразно использовать механизм, позволяющий системно и комплексно оценить на локальном и региональном уровнях возможные внутренние и внешние угрозы, вероятность возникновения потерь или дополнительной выгоды, обосновать применение экономических, организационных и социально-психологических методов управления рисками с целью повышения качества принимаемых управленческих решений. К основным его этапам можно отнести следующие: идентификация рисков, оценка и анализ возможных потерь, оценка и анализ риска, оценка социального (личностно-психологического) риска, анализ полученных результатов, мониторинг и контроль рисков. Реализация указанных этапов с позиций риск-подхода позволяет повысить организационную адаптивность к постоянно изменяющимся условиям хозяйствования.

Изучение факторов обеспечения продовольственной безопасности страны и регионов позволило определить возможные риски ее снижения:

1. *Макроэкономические риски* – обусловленные мировым финансово-экономическим кризисом, неблагоприятной эпидемиологической обстановкой в силу распространения пандемии COVID-19, ростом цен на импортное сельскохозяйственное сырье и продовольствие, снижением инвестиционной привлекательности и конкурентоспособности отечественного АПК, в т.ч. финансовой устойчивости, что усиливает зависимость развития агропродовольственных систем от государственной поддержки, вызывает снижение реальных доходов сельского населения, приводящее к ухудшению качества питания.

2. *Технологические риски* – вызванные отставанием отечественной производственной базы от разви-

тых стран в уровне технологического развития. Они взаимосвязаны со снижением инвестиционной и инновационной активности субъектов аграрного бизнеса, сокращением научно-технического потенциала АПК, наличием кадрового дефицита высококвалифицированных специалистов в сельской местности в условиях сужения демографической базы сельской местности и перехода к экономике знаний. В настоящее время мировые продовольственные системы выходят на принципиально новый этап технологического развития, который получил название «Сельское хозяйство 4.0» (Agriculture 4.0) и основан на развитии робототехники, технологий «точного» земледелия, Интернета вещей, биотехнологий, альтернативных технологий и др. Более активно осуществляется переход на энергоэффективные, ресурсосберегающие и безотходные технологии производства V и VI технологических укладов.

3. *Социальные риски* – обусловленные социальной непривлекательностью сельских территорий, по сравнению с городскими, по причине увеличения разрыва в уровне жизни населения, снижением уровня безопасности пищевых продуктов и возникновением рисков для здоровья граждан в условиях развития генной инженерии, ограничением доступности продовольствия для отдельных территорий или групп населения, смещением спроса от традиционного продовольственного сырья к продуктам, соответствующим ценностным ориентирам новых поколений (этичности производства, экологичности, безопасности и т.д.).

4. *Внешнеторговые риски* – связанные с ужесточением конкуренции в результате глобализации мировой экономики и применением в экономически развитых зарубежных странах активных мер государственной поддержки аграрного сектора, монополизацией производства и экспорта сельскохозяйственного сырья и продовольствия крупными игроками с целью их доминирования на рынке, введением торговых ограничений (эмбарго).

5. *Агроэкологические риски* – обусловленные неблагоприятными климатическими изменениями, а также последствиями природных и техногенных чрезвычайных ситуаций (катастрофа на Чернобыльской АЭС), сокращением площадей пахотных земель и увеличением неиспользуемых сельскохозяйственных угодий.

6. *Политические риски* – вызванные возможными изменениями в курсе правительства, введением и действием санкционного режима, влиянием сложившейся международной политической обстановки (ограничение потоков на финансовых, торговых рынках и т.п.).

7. *Инфраструктурные риски* – связанные с недостаточным развитием внутренней (особенно в сельской местности) и внешней производственно-сбытовой и торговой инфраструктуры агропродовольственного рынка, а также механизмов ее стимулирования.

8. *Институциональные риски* – изменения в проводимой государственной аграрной политике в части определения приоритетов, механизмов и инструментов ее реализации, ужесточение требований к условиям

осуществления деятельности и проведения отдельных бизнес-процессов, в т.ч. в рамках членства в ЕАЭС.

На региональном и республиканском уровнях среди актуальных мер по управлению рисками можно отметить следующие:

- стимулирование диверсификации рисков между профильными субъектами за счет развития интеграционных и кооперационных процессов на межрегиональном и межотраслевом уровнях, где особое место принадлежит вертикальной интеграции и кластеризации;

- совершенствование системы информационной поддержки принятия решений по управлению рисками при планировании развития агропродовольственных систем;

- повышение инновационной активности хозяйствующих субъектов, предусматривающее внедрение передовых агротехнологий, что позволит увеличить эффективность использования факторов производства, повысить качество и товарность производимой сельскохозяйственной продукции;

- реализация комплекса мероприятий по адаптации сельского хозяйства Беларуси к условиям возрастания природно-климатических рисков, сопровождающимся изменением агроклиматических зон;

- формирование благоприятной институциональной среды развития рынков сельскохозяйственного страхования, производных финансовых инструментов (деривативов);

- повышение компетенций субъектов аграрного бизнеса по вопросам риск-менеджмента путем подготовки, переподготовки и повышения квалификации соответствующих кадров, развитие агроконсалтинга.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что устойчивое функционирование региональных агропродовольственных систем связано с воздействием различных рисков, эффективное управление которыми предполагает развитие концепции риск-менеджмента. Представленный в статье методологический подход к оценке исследуемого предмета может выступать составной частью механизма управления рисками, способствующего их минимизации и диверсификации, обеспечению устойчивого развития регионов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № Г20-116 «Оценка рисков устойчивого развития регионов: выявление причин и источников их появления и разработка предложений по предотвращению» (№ ГР 20201081).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Национальная агропродовольственная система Республики Беларусь: методология и практика конкурентоустойчивого развития / В.Г. Гусаков [и др.]; под общ. ред. В.Г. Гусакова. – Минск: Институт системных

исследований в АПК НАН Беларуси, 2021. – 179 с.

2. Гануш, Г.И. Приоритеты научного и кадрового обеспечения конкурентной устойчивости сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь на рынках агропродовольствия / Г.И. Гануш // Феномен рыночного хозяйства: от истоков до наших дней. Партнерство в условиях риска и неопределенности: сборник научных трудов VIII Междунар. науч.-практ. конф. по экономике, Самарканд – Карши, 1–5 апреля 2020 г.; науч. ред. В.А. Сидоров. – Майкоп, 2020. – С. 461-471.

3. Бельский, В.И. Механизм сбалансированного развития внешней торговли Беларуси агропродовольственными товарами в рамках ЕАЭС / В.И. Бельский, Н.В. Карпович. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2019. – 199 с.

4. Киреенко, Н.В. Устойчивые продовольственные системы: мировая практика и опыт государств – членов Евразийского экономического союза / Н.В. Киреенко // Белорусский экономический журнал. – 2021. – № 1. – С. 70-86.

5. Продовольственная безопасность Республики Беларусь: достижения и перспективы / Г.В. Гусаков [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2020. – Т. 58. – № 1. – С. 24-41.

6. Обеспечение продовольственной безопасности Республики Беларусь в контексте глобальных тенденций / Г.В. Гусаков [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2021. – Т. 59. – № 4. – С. 391-409.

7. Кондратенко, С.А. Устойчивое развитие регионального агропродовольственного комплекса: теория, методология, практика / С.А. Кондратенко; под ред. В.Г. Гусакова. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2019. – 286 с.

8. Лагодич, Л.В. Устойчивость развития продовольственного рынка Республики Беларусь: теория и методология / Л.В. Лагодич; Нац. акад. наук Беларуси; Институт системных исслед. в АПК НАН Беларуси. – Минск: Беларуская навука, 2015. – 256 с.

9. О Доктрине национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 15 дек. 2017 г., № 962 // ЭТАЛОН. Законодательство Респ. Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 10.01.2022

Система микропроцессорного автоматизированного регулирования положения распределительной штанги относительно обрабатываемой поверхности

Предназначена для повышения равномерности внесения рабочего раствора пестицидов штанговыми опрыскивателями, снижения времени на подготовку агрегата к работе и его регулировки в процессе работы.

Система обеспечивает соблюдение постоянства расстояния между распылителями и обрабатываемой поверхностью в процессе работы опрыскивателя, как на склонах, так и на равнинной местности.



Основные технические данные

Тип механизма изменения угла наклона штанги	Гидравлический
Тип системы	Микропроцессорная
Тип датчиков	Ультразвуковые
Диапазон измерения, м	0,4 – 2,0
Погрешность измерения расстояния между штангой и обрабатываемым объектом, м	0,040
Время готовности системы к работе, мин.	до 1
Напряжение питающей сети, В	$\pm 12 \pm 2,5$
Продолжительность постоянного измерительного сигнала, после которого вырабатывается управляющее воздействие на исполнительный привод, с	2
Масса, кг, не более	40

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ АДАПТАЦИИ УЧЕБНЫХ ПРОГРАММ УЧРЕЖДЕНИЙ АГРАРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ К СОВРЕМЕННЫМ ПРОЦЕССАМ ИННОВАЦИОННОЙ И РЫНОЧНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОНОМИКИ

Г.И. Гануш,

зав. каф. экономической теории и права БГАТУ, докт. экон. наук, профессор, чл.-корр. НАН Беларуси

В.Б. Григорьева,

аспирант каф. экономической теории и права БГАТУ

В статье изложены приоритетные направления актуализации тематики учебных программ и дисциплин с учетом адаптации их содержания к современным процессам инновационной модернизации и рыночной трансформации аграрной экономики. В данном контексте обоснована целесообразность включения в учебные программы учреждений аграрного образования тематики по освоению адаптивных систем ведения сельского хозяйства, совершенствованию адаптивной специализации субъектов хозяйствования и диверсификации видов экономической деятельности, внедрению адаптивных технологий, обеспечению экологической безопасности производственных процессов и получаемой продукции, развитию кооперативных и интеграционных связей, формированию в отечественном АПК конкурентоспособного экспортного потенциала на внешних рынках, а также рационального импортозамещения на внутреннем рынке агропродовольствия. По мнению авторов, осуществление указанных мероприятий будет способствовать повышению уровня профессиональной компетентности будущих специалистов аграрного профиля.

Ключевые слова: инновации, рынок, трансформация, кадры, образование, учебные программы, тематика, адаптация, адаптивные системы, специализация, диверсификация, экология, агротехнологии, экспорт, импортозамещение, устойчивость, конкурентоспособность.

The article contains priority directions of updating the themes of educational programs and disciplines, taking into account the adaptation of their content to modern processes of innovative modernization and market transformation of the agrarian economy. In this context the expediency of including in the educational programs of agricultural education institutions the themes of the development of adaptive systems of agriculture, improvement of adaptive specialization and diversification, types of economic activities in the agricultural sector, the development of adaptive technologies, ensuring environmental safety of production processes and products, the development of co-operative and integration ties, the formation of domestic agro-industrial complex of competitive export potential in foreign markets, as well as rational import substitution in the domestic market of agricultural products is justified. According to the authors, the implementation of these measures will contribute to improving the level of professional competence of future agricultural specialists.

Key words: innovations, market, transformation, personnel, education, training programs, topics, adaptation, adaptive systems, specialization, diversification, ecology, agrotechnology, export, import substitution, sustainability, competitiveness.

Введение

В современных условиях интенсивной динамики процессов инновационных и рыночных трансформаций экономики, включая ее аграрный сектор, предъявляются новые, более высокие требования к уровню профессиональной подготовки всех кадров, особенно руководителей и специалистов. Важным направлением практического реагирования на данные требования является актуализация содержания учебных программ и учебных дисциплин в учреждениях аграрного образования с целью более полной их адаптации к вызовам времени, повышения на этой основе качества обучения будущих специалистов агропромышленного комплекса.

Основная часть

Проведенные аналитические исследования позволяют сделать вывод о том, что в совершенствовании тематики учебных дисциплин вузов и колледжей аграрного профиля с учетом задач по обеспечению эффективного функционирования и устойчивого развития отечественного АПК в условиях инновационной модернизации производства и усиления рыночной конкуренции целесообразно выделить в ряд актуальных следующие направления:

1. Освоение адаптивных систем хозяйствования в АПК страны

В Программе социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021-2025 годы освоение

адаптивных систем земледелия определено как приоритетное направление развития сельского хозяйства [1, 2]. По сравнению с преобладающими в настоящее время техногенными системами адаптивные системы ведения сельского хозяйства обладают значительными экономическими, экологическими и социальными преимуществами. Они ориентированы на более полное использование местных агроклиматических ресурсов, что позволяет вести сельскохозяйственное производство с меньшими затратами дорогостоящих и дефицитных средств техногенного происхождения (удобрения, топливо, пестициды и др.). Это обеспечивает возможность снижения себестоимости производимой продукции, что является одним из основополагающих факторов обеспечения ее конкурентоспособности на внутреннем и внешних рынках. Агроэкосистемы, базирующиеся на принципах адаптивности, ориентированы на максимальную биологизацию земледельческих процессов за счет формирования адекватной видовой и сортовой структуры посевов сельскохозяйственных культур, освоения соответствующих севооборотов, использования биологических препаратов и методов защиты растений, ресурсосберегающих приемов агротехники, что в совокупности, в отличие от традиционных систем, снижает риски загрязнения природы и среды обитания человека. Обладая относительно высоким потенциалом обеспечения экологической безопасности сельскохозяйственного производства, адаптивные системы земледелия и животноводства способствуют получению продукции, в том числе продовольствия, с более высокими показателями качества, соответствующими по биохимическому составу и другим характеристикам и нормам «здорового» питания, что является одной из актуальных задач улучшения социальных условий жизни людей [2-3].

Высокая экономическая, экологическая и социальная значимость адаптивных систем ведения сельского хозяйства убедительно указывает на целесообразность более масштабного отражения их сущностного содержания, методологии и методов практического освоения в учебных программах (возможно отдельным разделом) аграрного образования по всем направлениям подготовки профильных специалистов сельского хозяйства (агрономы, зоотехники, инженеры, экономисты и др.). Это в значительной степени, на наш взгляд, будет повышать уровень инновационности образовательного процесса, положительно скажется на профессиональной компетентности выпускников учреждений образования, повышении качества и эффективности их трудовой деятельности на должностях специалистов и руководителей в сельскохозяйственных организациях, органах управления АПК.

Адаптивные системы хозяйствования на земле характеризуются широким спектром организационных и технологических форм практического воплощения. К ним, в частности, относятся такие важней-

шие направления повышения эффективности и устойчивости АПК, как адаптивная специализация субъектов хозяйствования, развитие на принципах адаптивности диверсификации аграрного производства и рынка, адаптация к природным и экономическим условиям хозяйствования материально-технической базы и трудовых ресурсов АПК, совершенствование с учетом инновационных и рыночных трансформаций системы экономических отношений, включая процессы кооперации и интеграции, формирование сырьевых зон, снабженческой и сбытовой логистики, внешнеторговых связей [3].

Каждое из обозначенных направлений, находясь в диалектическом взаимодействии элементов единой адаптивной системы, характеризуется своей спецификой содержания, форм и методов практической реализации, что дает основания рассматривать его в качестве отдельного, самостоятельного аспекта актуализации учебных программ учреждений аграрного образования, как это и представлено ниже в тексте данной статьи.

2. Развитие адаптивной специализации сельскохозяйственных организаций, фермерских хозяйств и других субъектов предпринимательства в АПК

Экономической наукой и практикой всесторонне аргументирована роль специализации в повышении эффективности аграрного производства, формировании его конкурентных преимуществ [4-6]. Вместе с тем, сущность и значимость адаптивного подхода к размещению и специализации сельскохозяйственного производства в учебной литературе отражены недостаточно. В данной связи, по мнению авторов, будет правильным в учебных программах вузов предусмотреть темы лекционных и практических занятий по проблемам углубления специализации на принципах адаптивности, то есть с учетом наиболее полного использования природного потенциала (почвы, климат и др.), а также сложившихся производственно-экономических условий в конкретном предприятии. Приобретение обучающимися достаточных знаний по данной теме позволит будущим специалистам квалифицированно подходить к совершенствованию производственной специализации хозяйствующих субъектов, что является важным фактором обеспечения рациональных объемов производства продукции, а также ее гарантированного сбыта с получением ожидаемого эффекта.

Уместно отметить, что вопросы выбора и уточнения производственной специализации имеют особое значение для многих фермерских хозяйств страны [3; 7]. Именно здесь нередко возникают проблемы низкой эффективности производственно-хозяйственной деятельности по причине игнорирования научно обоснованных принципов адаптивного подхода к выбору производственной специализации, определению рациональных объемов и структуры производства продукции, каналов ее надежного и выгодного сбыта. На ос-

новые результаты проведенных в аграрной науке теоретико-прикладных исследований представляется возможным утверждать, что наиболее приемлемыми и перспективными направлениями специализации фермерских хозяйств могут быть следующие виды экономической деятельности: производство органической продукции, семеноводство овощных культур, пчеловодство (продуктовое и опылительное), выращивание нетрадиционных овощных, бахчевых и плодово-ягодных культур, (лук-порей, арбуз, голубика и др.), овцеводство, козоводство, кролиководство, мало распространенное птицеводство (индейка, перепела, страусы и др.), а также организация агроэкологического туризма. В контексте изложенного правомерно аргументировать, что развитию адаптивной специализации малых форм аграрного бизнеса следует отводить достаточное место в тематике учебных программ сельскохозяйственных вузов, в первую очередь для факультетов и кафедр экономического профиля, как актуальному направлению повышения эффективного использования агроклиматических и производственно-экономических ресурсов, наращивания объемов и расширения ассортимента продовольствия, развития потенциала экспорта и импортозамещения на рынках сельхозпродукции, повышения конкурентной устойчивости аграрного сектора экономики страны.

3. Диверсификация производства и рынка сельскохозяйственной продукции

В решении проблемы повышения эффективности и устойчивого развития аграрной экономики важная роль отводится диверсификации видов деятельности. Она, как и специализация, осуществляется в качестве приоритетного направления развития адаптивных систем хозяйствования и выражается в расширении ассортимента производимой продукции, в том числе в специализированных предприятиях, а также в создании новых видов производства, что позволяет полнее использовать природные, материальные и трудовые ресурсы, расширяет возможности создания в сельской местности дополнительных рабочих мест [3; 8].

Диверсификация является одним из весомых факторов развития потенциала экспорта, но особую значимость она имеет в повышении уровня импортозамещения на внутреннем рынке аграрного продовольствия и сырья. Экологическая и социальная целесообразность повышения степени диверсификации агропромышленного производства республики становится наиболее очевидной в условиях широко практикуемых в последние годы санкций со стороны Евросоюза и США. В данном контексте диверсификация способствует формированию гарантированного обеспечения продовольственной независимости страны, созданию полноценного внутреннего рынка продуктов питания.

В учреждениях науки и образования аграрного профиля активно проводятся исследования по про-

блемам диверсификации производства и рынков аграрной продукции. Представляется необходимым более широко отразить данную проблему в учебных программах аграрных вузов и колледжей в качестве отдельных лекционных и практических (семинарских) занятий. Изучение теоретических и прикладных основ диверсификации аграрной экономики окажет позитивное влияние на уровень профессиональной подготовки специалистов АПК.

4. Расширение экологической тематики в учебных программах и дисциплинах аграрных вузов

Наращивание производства аграрной продукции сопряжено с поиском и использованием дополнительных природных ресурсов, более активным применением интенсивных технологий, новых технических средств, удобрений, средств защиты растений и животных, что в совокупности порождает потенциальные угрозы экологической безопасности сельскохозяйственной деятельности и получаемой продукции, негативного воздействия на окружающую среду. В Республике Беларусь экологическая ситуация в значительной мере усложняется тремя специфическими особенностями условий ведения аграрного производства.

Во-первых, повышенные требования к экологической составляющей осуществляемых мероприятий по обеспечению рационального землепользования обусловлены наличием значительных площадей мелиорированных угодий в результате проведенного в период 50–80-х годов 20-го века масштабного осушения болот в целях их вовлечения в сельскохозяйственный оборот. Мелиорированные земли (3,4 млн га, из них 2,9 млн пашни) занимают около 30 % общей площади сельскохозяйственных земель. На них производится почти третья часть растениеводческой продукции и половина травяных кормов для животноводства [5].

Однако по причине длительного периода эксплуатации и допущенных при этом организационно-технологических недостатков мелиоративные системы значительно износились и не в полной мере выполняют свои экологические функции. Многие участки мелиорированных почв подвергаются водной и ветровой эрозии, теряют плодородные свойства и снижают свою сельскохозяйственную ценность. В данной связи в Государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы, а также в других документах предусматривается комплекс организационных, технико-технологических и финансовых мер по предотвращению отмеченных негативных явлений [10]. Предстоит выполнить значительный объем специализированных работ по ремонту мелиоративных сооружений и дренажных систем, совершенствованию структуры посевов и агротехники на осушенных торфяниках, устранению факторов, вызывающих ускоренное развитие эрозионных процессов. Из изложенного вытекает, что экологические проблемы мелиорации, научные рекомендации и осуществляемые государством меры по их

решению должны занимать важное место в преподавании учебных дисциплин технологической и экономической тематики.

Экологическая ситуация в сельском хозяйстве республики в немалой степени предопределяется также наличием и функционированием на принципах промышленных технологий крупных животноводческих комплексов. В 2020 году в республике на основе промышленных технологий функционировали 52 предприятия по производству мяса птицы и яиц, 115 комплексов по выращиванию и откорму свиней, 72 комплекса по выращиванию и откорму крупного рогатого скота, 1623 молочно-товарных комплекса. На них производилось 100 % птицеводческой продукции, 88 % свинины, 12 % говядины и 65 % молока от общего производства [10].

Образующиеся на многих комплексах в результате очищения полов в помещениях путем гидросмыва при бесподстилочном содержании животных жидкие стоки являются основным потенциальным источником экологического загрязнения. Они могут вызывать бактериальные заражения почвы, загрязнение рек, озер и других водоемов, грунтовых вод и питьевых колодцев, а также воздушного пространства прилегающих населенных пунктов [5]. Студентам аграрных вузов в процессе обучения (по всем специальностям) необходимо приобрести достаточные знания разработанных аграрной наукой и практикой способов обеспечения экологической безопасности производства животноводческой продукции.

Важной особенностью аграрного производства в Беларуси является негативное воздействие последствий аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году. В стране осуществлен и продолжает осуществляться широкомасштабный комплекс мер по минимизации вредного влияния радиации на жизнедеятельность людей, производственные процессы и природу в целом. Однако обеспечение безопасного ведения сельского хозяйства в районах, подверженных радиационному загрязнению, предполагает строгое соблюдение адекватных правил и регламентов, разработанных научными учреждениями республики [5, 6]. Рекомендации науки следует включить в тематику учебных дисциплин аграрных вузов, в содержание лекционных и практических занятий. Будущим специалистам сельского хозяйства республики необходимо владеть определенными знаниями технологических процессов, организационных и экономических условий аграрного производства на подверженных радиационному загрязнению территориях.

Таким образом, в сложившихся условиях успешное ведение аграрного производства при строгом соблюдении принципов природоохранности предполагает необходимость формирования у специалистов сельского хозяйства и всех кадров агропромышленного комплекса достаточных экологических знаний, обеспечивающих поиск и применение технологи-

ческих процессов, адекватных требованиям сохранности окружающей среды, почвенного плодородия и водных ресурсов, а также получению продукции, соответствующей качественным характеристикам, установленным нормам безопасного использования. В данной связи в учебные программы учреждений аграрного образования следовало бы, на наш взгляд, внести коррективы в сторону увеличения учебных часов по экологической тематике. Это будет способствовать повышению уровня профессиональной подготовки специалистов агропромышленного комплекса, выполнению ими своих служебных функций с учетом правил и принципов «зеленой экономики».

5. Освоение адаптивных технологий производства сельскохозяйственной продукции

Одной из основных составляющих адаптивных систем хозяйствования в АПК являются адаптивные технологии. Они имеют широкий спектр своего проявления и характеризуются, как правило, высоким уровнем инновационности, экономической, экологической и социальной эффективности. На современном этапе наиболее актуальными для включения в тематику учебных программ и дисциплин, по нашему мнению, являются следующие три относительно новые для аграрного производства республики комплексные технологические процессы, ориентированные на достижение стратегических целей: технологии по производству органической продукции [3; 9; 11; 12]; технологии точного земледелия; технологии производства животноводческой продукции в соответствии с требованиями сертификата «Халяль».

Внедрение адаптивных технологий осуществляется, как правило, в процессах совершенствования специализации, диверсификации и оптимизации структуры производства. Вместе с тем, изучение сущности и эффективности новой технологии, условий ее практического освоения должно быть предметом отдельного лекционного (практического) занятия для студентов технологических, технических и экономических специальностей.

При этом внимание обучающихся следует акцентировать на том, что выбор направлений инновационной модернизации аграрного производства и обеспечения его конкурентной устойчивости объективно предполагает проведение квалифицированных маркетинговых исследований, а также адекватное совершенствование экономических и организационно-управленческих отношений, развитие кооперативно-интеграционных связей субъектов хозяйствования [13].

Заключение

1. В результате проведенных исследований установлено, что в целях повышения профессионального уровня кадров АПК при их подготовке в учреждениях аграрного образования необходимо актуализировать тематику учебных программ и

дисциплин посредством ее адаптации к современным процессам интенсивной динамики инновационной модернизации аграрного производства, трансформации конъюнктуры на рынках продовольствия и сельскохозяйственного сырья.

2. Анализ показывает, что совершенствование тематики учебных программ и дисциплин вузов аграрного профиля целесообразно осуществлять по следующим актуальным направлениям: освоение адаптивных систем хозяйствования в АПК; углубление на принципах адаптивности специализации аграрного производства; развитие диверсификации производства и рынка аграрной продукции; формирование устойчивого, конкурентоспособного потенциала экспорта продукции отечественного АПК на внешних рынках и рационального импортозамещения на внутреннем рынке; повышение удельного веса экологической составляющей в тематике учебных программ и дисциплин учреждений аграрного образования с учетом обеспечения эффективности использования и сохранности мелиорированных земель, специфических подходов к функционированию крупных животноводческих комплексов, радиационного загрязнения значительной части территории страны вследствие аварии на Чернобыльской АЭС; внедрение адаптивных технологий земледелия и животноводства, позволяющих снижать производственные затраты, повышать экологическую безопасность продукции и эффективность ее производства с учетом строгого соблюдения требований природоохранности.

3. В осуществлении мер по актуализации тематики учебных программ в системе аграрного образования необходимо учитывать возросшую активность и особенности содержания современных процессов мирохозяйственных связей, развития организационных форм кооперации и интеграции производства, а также целесообразность обеспечения маркетингового подхода к управлению процессами экономического и социального развития АПК Республики Беларусь.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: утв. Указом Президента Респ. Беларусь, 29 июля 2021 г., № 292 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2022.
2. Доклад Президента Республики Беларусь на VI Всебелорусском народном собрании [Электронный ресурс] // Пресс-служба Президента Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://president.gov.by/ru/events/shestoe->

[vsebelorusskoe-narodnoe-sobranie](https://president.gov.by/ru/events/shestoe-vsebelorusskoe-narodnoe-sobranie). – Дата доступа: 10.04.2022.

3. Гануш, Г.И. Экономика адаптивных систем хозяйствования в АПК Беларуси. Теория, методология, практика / Г.И. Гануш. – Минск: Беларус. навука, 2018. – 186 с.
4. Мартинкевич, Ф.С. Размещение и специализация сельского хозяйства Белорусской ССР / Ф.С. Мартинкевич. – Минск: Изд-во Академии наук БССР, 1961. – 337 с.
5. Научные системы ведения сельского хозяйства Республики Беларусь / В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2020. – 683 с.
6. Гусаков, В.Г. Приоритетные направления повышения эффективности, конкурентоспособности и устойчивости развития аграрной отрасли / В.Г. Гусаков, А.П. Шпак // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2018. – Т. 56, № 4. – С. 401–409.
7. Корбут, Л.В. Механизм повышения эффективности функционирования крестьянских (фермерских) хозяйств / Л.В. Корбут. – Минск: Беларус. Дом печати, 2012. – 196 с.
8. Грибоедова, И.А. Диверсификация агропродовольственного комплекса Республики Беларусь / И.А. Грибоедова. – Минск: Право и экономика, 2014. – 338 с.
9. Шпак, А.П. Концепция развития органического сельского хозяйства в Республике Беларусь / А.П. Шпак, Ю.Н. Селюков, Л.С. Скоропанова. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2015. – 23 с.
10. О Государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 1 февр. 2021 г., № 59 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/C22100059_1612904400.pdf. – Дата доступа: 20.12.2021.
11. Нормативы органического производства Европейского сообщества / сост. И. С. Кысса [и др.]; ред. Д.И. Лутаев. – Минск: Донарит, 2013. – 183 с.
12. О производстве и обращении органической продукции [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 9 ноября 2018 г., №144-3 // ЭТАЛОН. – Режим доступа: <https://etalonline.by/document/?regnum=h11800144>. – Дата доступа: 10.04.2022.
13. Принципиальные направления совершенствования механизма обеспечения продовольственной безопасности Республики Беларусь / А.В. Пилипук и [др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 2. – С. 135–150.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 23.05.2022

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, используемые 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). Рекомендуются установить толщину линии не менее 1 пт. В оформлении таблиц и

графиков не следует применять выделение цветом, заливку фона.

Фотографии и рисунки должны быть представлены в электронном виде в отдельных файлах формата *.tif или *.jpg с разрешением 300 dpi.

Научные статьи, публикуемые в изданиях, включенных в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, должны включать:

индекс УДК;

название статьи;

фамилию и инициалы, должность, ученую степень и звание автора (авторов) статьи;

аннотацию на русском и английском языках;

ключевые слова на русском и английском языках;

введение;

основную часть, включающую графики и другой иллюстративный материал (при их наличии);

заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;

список цитированных источников;

дату поступления статьи в редакцию.

В разделе «Введение» должен быть дан краткий обзор литературы по данной проблеме, указаны не решенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы.

Основная часть статьи должна содержать описание методики, аппаратуры, объектов исследования и подробно освещать содержание исследований, проведенных авторами.

В разделе «Заключение» должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

Дополнительно в структуру статьи может быть включен перечень принятых обозначений и сокращений.

5. Литература должна быть представлена общим списком в конце статьи. Библиографические записи располагаются в алфавитном порядке на языке оригинала или в порядке цитирования. Ссылки в тексте обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

6. Статьи из научно-исследовательских или высших учебных заведений направляются вместе с сопроводительным письмом, подписанным директором и приложенной экспертной справкой по установленной форме.

7. Статьи принимаются в электронном виде с распечаткой в одном экземпляре. Распечатанный текст статьи должен быть подписан всеми авторами. В конце статьи необходимо указать полное название учреждения образования, организации, предприятия, ученую степень и ученое звание (если есть), а также полный почтовый адрес и номер телефона (служебный или домашний) каждого автора.

8. Авторы несут ответственность за направление в редакцию статей, опубликованных ранее или принятых к печати другими изданиями.

9. Плата за опубликование научных статей не взимается.

10. Право первоочередного опубликования статей предоставляется лицам, осуществляющим послевузовское обучение (аспирантура, докторантура, соискательство), в год завершения обучения.

Авторские материалы для публикации в журнале «Агропанорама» направляются в редакцию по адресу:

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

Учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет»
объявляет прием в аспирантуру в 2022 году
по следующим специальностям:

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

Прием документов – с 1 августа по 30 сентября 2022 г.

Вступительные экзамены по специальной дисциплине в объеме учебной программы I ступени высшего образования – с 10 по 21 октября 2022 г.

Начало занятий в аспирантуре – с 1 ноября 2022 г.

Поступающие в аспирантуру представляют в приемную комиссию следующие документы:

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

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



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

Адрес приемной комиссии:

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