



ISSN 2078-7138

АГРОПАНОРАМА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

№ 4
август
2022

В номере:

Система микропроцессорного автоматизированного регулирования положения штанги полевого опрыскивателя относительно обрабатываемой поверхности

Определение кинематических параметров движения пласта почвы по рабочей поверхности дискового предплужника

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

Спектрально-статистический анализ виброакустических сигналов элементов дизеля



ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ И ПЕРЕПОДГОТОВКИ КАДРОВ АПК БГАТУ



Институт повышения квалификации и переподготовки кадров агропромышленного комплекса Белорусского государственного аграрного технического университета – образовательный и научно-методический центр системы дополнительного образования взрослых. Ежегодно по образовательным программам переподготовки, повышения квалификации и стажировки в Институте проходят обучение свыше 3000 слушателей, в том числе из зарубежных государств.

Основная задача Института - систематическое обновление знаний руководящих работников и специалистов сельскохозяйственной отрасли с учетом развития широкого спектра инновационных направлений в агропромышленном комплексе, а также переподготовка кадров для получения новой квалификации.

Обучение в ИПК и ПК АПК осуществляется согласно плану-графику переподготовки и повышения квалификации руководящих работников, специалистов и рабочих (служащих) сельскохозяйственных организаций, утвержденному Министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь.

Институт располагает современной учебно-технической базой, а также использует базы специализированных кафедр университета. Больше половины учебного времени отводится обучению в сельскохозяйственных организациях и на предприятиях перерабатывающих сельскохозяйственное сырье, заводах по производству техники для агропромышленного комплекса, в научных учреждениях республики.

Образовательный процесс в ИПК и ПК АПК обеспечивает высококвалифицированный профессорско-преподавательский состав Института, БГАТУ, а также приглашаются руководители и ведущие научные сотрудники Научно-практических центров НАН Беларуси, руководители и специалисты министерств, ведомств, лучших сельскохозяйственных организаций и предприятий машиностроения республики, совместных предприятий.

Слушатели ИПК и ПК АПК проживают в благоустроенном общежитии, пользуются читальными залами, библиотечным фондом, средствами информатизации, пунктами общественного питания и медицины, спортивными площадками, расположенными в университетском комплексе БГАТУ.

Мы приглашаем Вас к нам учиться, обмениваться опытом, налаживать деловые связи.

Наш адрес: Республика Беларусь, 220023, г. Минск, пр-т Независимости, 99, корп. 5/3

Контактные телефоны: +375 17 350 46 36 – приемная;

+375 17 385 91 01 – методисты переподготовки;

+ 375 17 385 91 19 – методисты повышения квалификации;

+ 375 17 272 34 90 – факс

E-mail: ipk@bsatu.by, сайт: www.bsatu.by.

АГРОПАНОРАМА 4 (152) август 2022

Издается с апреля 1997 г.

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

Учредитель

Белорусский государственный
аграрный технический университет

Главный редактор

Николай Николаевич Романюк

Заместитель главного редактора
Михаил Александрович Прищепов

Редакционная коллегия:

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

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

Компьютерная верстка
В.Г. Леван

Адрес редакции:

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

Прием статей и работа с авторами:

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

БГАТУ, 2022.

Формат издания 60 x 84 1/8.

Подписано в печать с готового оригинала-макета 26.08.2022 г. Зак. № 594 от 25.08.2022 г.

Дата выхода в свет 31.08.2022 г.

Печать офсетная. Тираж 100 экз.

Статьи рецензируются.

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

ЛП № 023330/316 от 30.10.2020 г.

Выходит один раз в два месяца.

Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884.

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

для индивидуальных подписчиков - 34,92 руб.;

ведомственная - 36,72 руб.;

Цена журнала в киоске БГАТУ - 10,20 руб.

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

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственное машиностроение. Металлообработка

И.С. Крук, А.В. Мучинский

Система микропроцессорного автоматизированного регулирования положения штанги полевого опрыскивателя относительно обрабатываемой поверхности.....2

С.Н. Бондарев, А.В. Китун

Влияние изменения вакуумметрического давления в доильном стакане на энергоёмкость процесса машинного доения коров.....7

И.С. Крук, Ф.И. Назаров, И.С. Назаров, Н.Г. Бакач, Ю.В. Чигарев

Определение кинематических параметров движения пласта почвы по рабочей поверхности дискового предплужника.....14

Энергетика. Транспорт

М.А. Прищепов, Е.М. Прищепова, А.И. Зеленькевич

К вопросу о диапазоне регулирования скорости и потерях асинхронного двигателя при вентиляторной нагрузке и частотном регулировании скорости19

Технический сервис в АПК. Экономика

О.Ч. Ролич, В.Е. Тарасенко, Д.А. Михаевич, А.А. Жешко

Спектрально-статистический анализ виброакустических сигналов элементов дизеля.....24

П.П. Казакевич, А.Н. Юрин

Экономическое обоснование производительности машин для механизации интенсивного садоводства.....29

Е.М. Бельчина

Формирование мотивационной модели трудовых отношений в условиях цифровизации АПК.....37

Н.Ф. Корсун, А.В. Пархимович

Многокритериальный выбор оптимальной информационной системы в управлении инновационной деятельностью ОАО «Птицефабрика «Рассвет».....42

УДК 631.348.45

СИСТЕМА МИКРОПРОЦЕССОРНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ШТАНГИ ПОЛЕВОГО ОПРЫСКИВАТЕЛЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

И.С. Крук,

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

А.В. Мучинский,

доцент каф. экономики и организации производства БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В статье обоснована необходимость автоматизированного контроля за положением штанги при внесении рабочих растворов пестицидов полевыми опрыскивателями, а также его своевременной корректировки при изменении рельефа поля. Обоснована структурная схема и предложена конструкция системы микропроцессорного автоматизированного регулирования распределительной штанги опрыскивателя SMAR-1.

Ключевые слова: система, высота, угол наклона, опрыскиватель, штанга, параметры, равномерность.

The article presents an argument for the necessity of automated control over the boom position when applying working solutions of pesticides by field sprayers, as well as its timely correction when the field topography changes. The structural scheme is justified and the design of the microprocessor-based automated control system of spraying boom SMAR-1 is proposed.

Key words: system, height, tilt angle, sprayer, boom, parameters, uniformity.

Введение

Для эффективности применения химических средств защиты растений, включающей как технические, экономические, организационные, так и экологические аспекты, решающее значение имеет ее техническое обеспечение. Возрастающие требования к качеству внесения средств химизации в растениеводстве предъявляют жесткие требования к конструкциям средств механизации. Агрегаты должны обеспечивать качественное внесение пестицидов при наименьшем их расходе и потерях рабочего раствора. Работа опрыскивателей предусматривает последовательное выполнение следующих технологических операций: приготовление рабочего раствора пестицидов; его дозирование; подачу, распыление и транспортирование капель к обрабатываемой поверхности.

Одним из показателей качества является равномерность распределения рабочего раствора по обрабатываемой поверхности в продольном и поперечном направлениях, которая во многом определяется правильной работой распылителей, постоянством расстояния между ними и обрабатываемой поверхностью в процессе работы агрегата.

Наиболее широкое распространение на полях сельскохозяйственных культур нашли штанговые опрыскиватели. В данном типе опрыскивателей рабочая жидкость распределяется по ширине захвата машины при помощи штанги и распыляется непосред-

ственно над обрабатываемым объектом. Следует учитывать, что увеличение ширины захвата приводит не только к повышению производительности агрегата, но и влечет увеличение массы несущей конструкции штанги, снижение ее надежности и качества проведения опрыскивания. Правильная установка штанги над обрабатываемой поверхностью имеет решающее значение для равномерного распределения рабочего раствора по обрабатываемой поверхности. Высокий технический уровень опрыскивателей определяется системой подвески несущей конструкции распределительной штанги, имеющей системы стабилизации, регулировки высоты и угла ее наклона. Именно в совершенствовании данных систем и их конструкций заложен резерв снижения удельной материалоемкости, увеличения надежности опрыскивателей и повышения качества выполняемого ими технологического процесса.

Вопросам повышения качества внесения рабочих растворов пестицидов усовершенствованием конструкций средств механизации посвящены научные работы Бумажкина В.А., Вартукаптейниса К.Э., Виковича И.А., Гордеенко О.В., Дмитрачкова В.П., Клочкова А.В., Кот Т.П., Краховецкого Н.Н., Кузнецова В.В., Ладутько С.Н., Ловкиса З.В., Маркевича А.Е., Нагорского И.С., Никитина Н.В., Новицкого П.М., Озолса Я.Г., Петровца В.Р., Прокопенко С.Ф., Ревякина Е.Л., Спиридонова Ю.Я. Степука Л.Я., Ченцова В.В., Шестакова В.Г. и других.

Цель работы – выполнить анализ существующих способов контроля и регулирования параметров установки штанги относительно обрабатываемой поверхности в процессе внесения рабочих растворов пестицидов и обосновать структурную схему и конструкцию системы микропроцессорного автоматизированного управления штангой.

Основная часть

Установка штанги относительно обрабатываемого объекта характеризуется двумя основными параметрами: высота установки и угол наклона. Оптимальной считается высота, при которой пересечение факелов распыления рабочей жидкости происходит на середине расстояния между штангой и обрабатываемой поверхностью. Для полевых опрыскивателей, в конструкции которых используются щелевые распылители, высота установки штанги может находиться в пределах 0,30...0,70 м от выходного сопла до обрабатываемой поверхности, а с учетом высоты посева, может быть более 2,0 м над поверхностью земли. Высота штанги определяется углом при вершине факела распыла распылителя: чем он больше, тем меньше ее высота над обрабатываемой поверхностью. В большинстве случаев настройка высоты выполняется исходя из отношения расстояния между распылителями к высоте, равного 1:1. Например, плоскоструйные распылители с углом распыления 110...120° и расстоянием 0,5 м друг от друга устанавливаются на высоте 0,5 м над обрабатываемой поверхностью. Допускается установка штанги на высоту до 0,75 м, но при этом надо либо увеличить шаг расстановки распылителей до 0,75 м, либо использовать распылители с углом распыления 80...90°, учитывая отношение расстояния между распылителями к высоте 1:1,5 [1, 2]. Критическим фактором является достижение двойного перекрытия рисунка распыления. При изменении высоты штанги всего на 10 см расход рабочей жидкости в зоне перекрытия увеличивается на 40 %, а в остальной зоне – снижается на 30 % [3].

В конструкциях полевых штанговых опрыскивателей изменение высоты установки штанги над обрабатываемой поверхностью осуществляется с использованием гидравлической или электрической систем энергетического средства. При этом данный процесс может осуществляться следующими способами: штанга навешивается на шток гидроцилиндра изменения высоты, штанга навешивается на параллелограммный механизм изменения высоты, звенья которого изменяют угол наклона при помощи одного или двух гидроцилиндров, высота установки штанги изменяется при помощи элементов гибкой связи (тросо-блочная система).

Для точного расположения штанги над обрабатываемой поверхностью и корректировки его в процессе работы в конструкциях современных опрыскивателей используются автоматизированные системы контроля и управления, основанные на использовании различных датчиков.

Вторым немаловажным параметром, влияющим на равномерность распределения рабочего раствора

по обрабатываемой поверхности, является угол установки штанги относительно обрабатываемой поверхности (рис. 1 а, б).

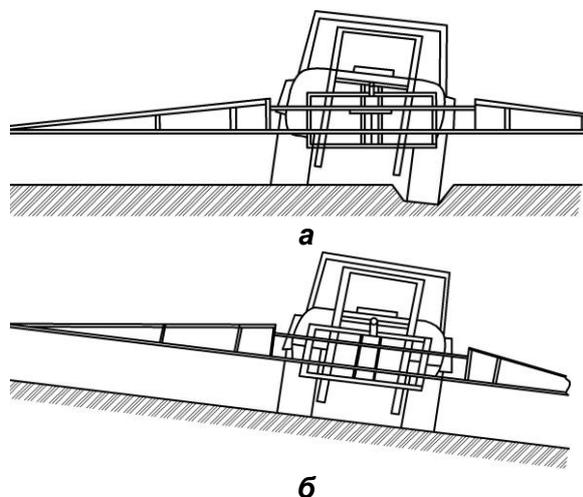


Рисунок 1. Схема расположения штанги над обрабатываемой поверхностью:
а – при движении колеса в неровности;
б – при движении по склону

Важным условием качественной работы опрыскивателя является постоянство расстояния между распылителями и обрабатываемой поверхностью по всей длине штанги. Изменение угла наклона штанги приводит к нарушению геометрии факелов распыла (рис. 2а), что влечет перераспределение рабочей жидкости по ширине захвата. При этом неравномерность тем

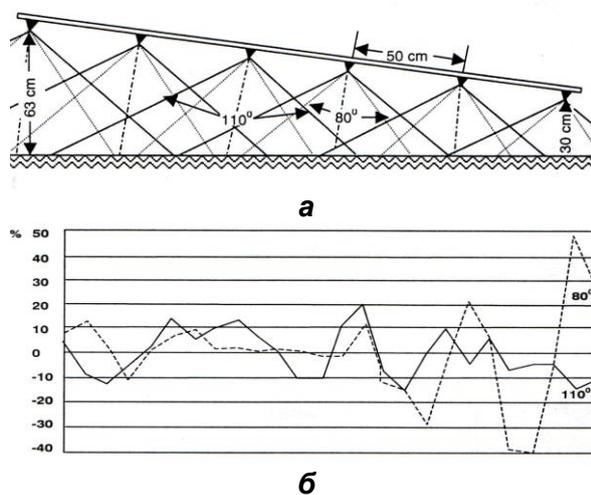


Рисунок 2. Графики влияния наклона штанги на равномерность распределения жидкости [4-6]:
а – изменение эпюр факелов распыла; б – диаграмма неравномерности распределения жидкости

выше, чем больше угол уклона. При наклоне крайней секции штанги ухудшается качество распределения жидкости более чем в 2 раза, причем в большей степени это сказывается при установке узкофакельных рас-

пылителей (2б). Поэтому при движении по склону должна соблюдаться параллельность установки штанги обрабатываемой поверхности.

Для регулировки угла установки штанги в вертикальной плоскости относительно горизонта в конструкциях опрыскивателей имеются соответствующие механизмы, которые в зависимости от способа выполнения процесса подразделяются на механического, электрического, гидравлического и комбинированного действия [5-8]. Принцип действия данных механизмов основан на возможности смещения центра тяжести штанги относительно опоры (подвеса). При этом в конструкциях опрыскивателей используются механизмы изменения угла наклона всей штанги, или отдельно каждого ее крыла, или каждой секции [7-10].

Механизмы механического действия широко используются в конструкциях отечественных опрыскивателей. Они содержат винтовой (пара винтовых) механизм, при помощи которого регулируется угол наклона штанги. Недостатками механизмов данной группы являются присутствие ручного труда механизатора и необходимость совершения остановок для регулировки угла положения штанги, что в условиях постоянного изменения рельефа почвы приводит к большим потерям времени на настройку агрегата, и соответственно, к снижению его производительности. Кроме того, для изменения угла наклона штанги данным способом механизатору необходимо приложить большое усилие (масса штанги может быть более 600 кг). Также имеет место большая погрешность параллельности установки штанги. Растворы пестицидов, обладая активным коррозионным действием и взаимодействуя с пылью, воздействуют на рабочие поверхности элементов резьбового механизма, что требует постоянного ежесменного ухода. Применение механизмов механического действия не исключает установку системы автоматизированного контроля за положением штанги, но не позволяет производить регулировку угла наклона штанги в автоматическом режиме.

Для точного копирования рельефа поля на крайних секциях штанги опрыскивателей могут устанавливаться дополнительные опорные колеса (рис. 3). Однако они эффективны при довсходовых обработках, так как при движении по технологической колее возможны повреждения всходов даже при отклонении движения агрегата на 0,10 м.

В конструкциях современных опрыскивателей широко используются механизмы гидравлического и электрического действия, управление которыми осуществляется из кабины трактора [5, 8, 9, 10]. Использование механизмов изменения углов наклона электрического и механического действия позволяет применять в конструкциях опрыскивателей датчики и системы автоматизированного управления положениями штанги для более точной установки при работе на склонах (рис. 3б). Датчики измеряют расстояние от штанги до земли и позволяют контролировать параллельность расположения штанги. Однако существен-

ное усложнение конструкции влечет повышение стоимости самого опрыскивателя [8-12].

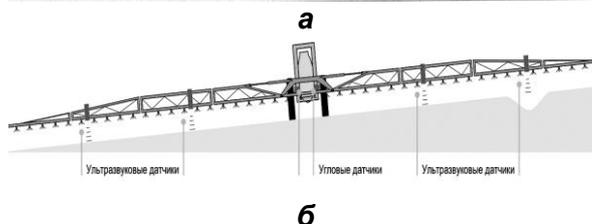


Рисунок 3. Работа систем обеспечения постоянного расстояния между распылителями и обрабатываемой поверхностью: а – с использованием опорных колес [11]; б – с использованием ультразвуковых датчиков [9]

Анализируя конструкции механизмов и систем обеспечения регулировки положения распределительной штанги относительно обрабатываемой поверхности, следует отметить, что в настоящее время предпочтение отдается системам автоматизированного контроля, основанным на использовании гидравлических, электрических и гидромеханических механизмов изменения угла наклона штанг.

При проектировании механизмов изменения угла наклона штанги необходимо учитывать усилие, необходимое для смещения штанги, воздействие на рабочие элементы кратковременной ударной нагрузки (до 100 кг), условие обеспечения быстроты изменения угла наклона и увеличение цены опрыскивателя вследствие модернизации.

В результате проведенных исследований условий работы и конструкций опрыскивателей были определены требования, которым должна отвечать система микропроцессорного автоматизированного регулирования и ее узлы, а также обоснованы требования, которые заложены в алгоритме ее работы:

1) погрешность измерения расстояния между штангой и обрабатываемым объектом 0,04 м введена в связи с вероятной гребнистостью поверхности поля и возможными колебаниями штанги. В пределах перепадов измерений между двумя датчиками до 0,04 м система изменять положение штанги не будет;

2) диапазон измерения 0,2...2,0 м введен в соответствии с требованиями изменения высоты установки штанги над обрабатываемой поверхностью. В этих пределах сила сигнала, подаваемого датчиком, должна оставаться постоянной;

3) продолжительность постоянного измерительного сигнала, после которого вырабатывается управляющее воздействие на исполнительный привод, 3 с введено для исключения случайных сигналов, подаваемых датчиками. Так, например, если на пути сигнала попадает камень или временная неровность, то система на них не отреагирует, так как повторный сигнал через 3 с их не обнаружит.

С учетом вышеизложенного в Белорусском государственном аграрном техническом университете совместно с ГНУ «Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси» разработана и изготовлена конструкция системы микропроцессорного автоматизированного регулирования распределительной штанги опрыскивателя относительно обрабатываемой поверхности СМАР-1, состоящая из датчиков положения штанги, микропроцессорной электроники обработки измерительной информации и выработки управляющего сигнала, силовой установки (рис. 4).

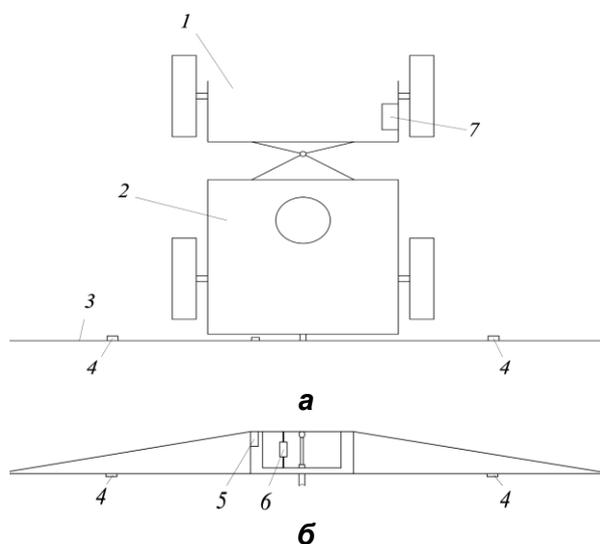
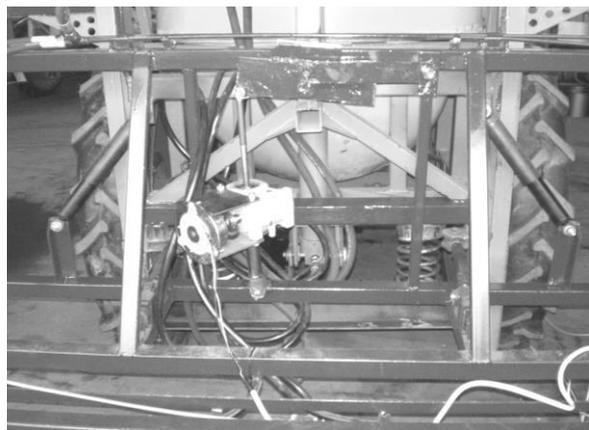


Рисунок 4. Схема установки элементов системы на энергетическом средстве и машине:

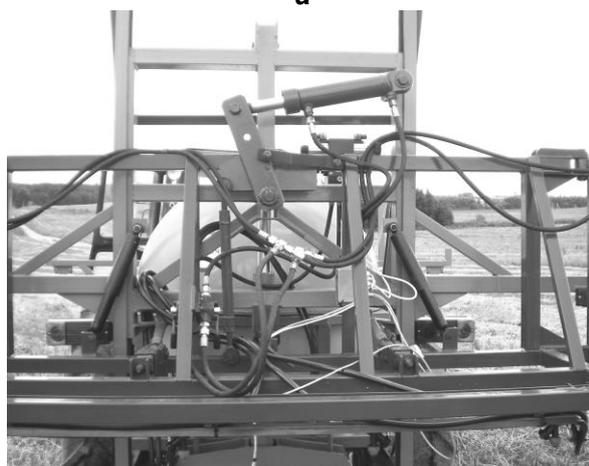
а – вид агрегата сверху; б – вид сзади;
1 – энергетическое средство (трактор); 2 – опрыскиватель; 3 – штанга; 4 – ультразвуковые датчики положения; 5 – блок управления; 6 – механизм управления штангой; 7 – пульт управления

Исполнительными элементами управления штангой могут выступать механизмы как с электрическим (рис. 5а), так и гидравлическим (рис. 5б) принципами действия.

В системе использованы ультразвуковые датчики положения, выбор которых обусловлен слабым искажением сигнала при прохождении через облако распыленной жидкости, образующееся при работе опрыскивателя. Также этот выбор оправдан необходимостью привязки к поверхности поля, а не к растительному покрову. Сигнал, образованный ультразвуковым датчиком, проходит через посевы и, достигнув поверхности поля, отражается. В то время как сигнал, посылаемый оптическим датчиком, искажается обла-



а



б

Рисунок 5. Механизм управления штангой опрыскивателя ОШ-2300-18 электрического (а) и гидравлического (б) действия

ком рабочего раствора пестицида, достигает растительного покрова и сразу отражается. Кроме того, сила сигнала оптического датчика зависит от удаленности от объекта.

СМАР-1 управляется при помощи пульта из кабины трактора и имеет два режима работы: ручное и автоматическое управление. Ручное управление штангой осуществляется механизатором при помощи регулятора с пульта управления. Эта функция введена для сокращения времени на установку штанги в рабочее положение на разворотных полосах. В дальнейшем используется функция автоматической регулировки.

Ультразвуковой датчик расстояния работает по принципу измерения времени пролета, рабочая частота сенсора 40 кГц. Управляющий микроконтроллер в непрерывном цикле проводит измерение расстояния: формирует пачку из 16 импульсов с периодом 25 мкс, импульсы через согласующий повышающий трансформатор возбуждают колебания передающего излучателя. Отраженные от препятствий ультразвуковые волны принимаются приемным сенсором и усиливаются усилителем с фиксированным коэффициентом усиления, выполненным на операционном усилителе,

после чего эхо усиливается каскадом с переменным усилением, выполненным на операционном усилителе и цифровом потенциометре. Усиление каскада увеличивается со временем, что необходимо для поддержания амплитуды отраженного сигнала, который ослабевает с увеличением расстояния. Далее полученный сигнал детектируется амплитудным детектором на диоде, фильтруется и поступает на вход управляющего микроконтроллера. Микроконтроллер через 2 мс после посылки зондирующей пачки импульсов начинает выборки отраженного сигнала с периодом дискретизации 25 мкс. После обработки полученного массива данных выбирается наиболее вероятное расстояние до препятствия. Данные заносятся в выходной буфер и передаются блоку управления по запросу.

Блок управления является главным управляющим устройством в системе, в его функции включается опрос всех подчиненных устройств, по результатам опроса принимается решение о дальнейших действиях устройства. Он содержит управляющий микроконтроллер, связанный с ультразвуковыми сенсорами и пультом управления по интерфейсу.

Система была установлена на опрыскивателе ОШ-2300-18 с различными исполнительными механизмами. Ее использование позволило повысить производительность на 1 га/ч сменного времени, снизить расход топлива на 0,04 кг/га, годовые затраты труда на 7,2%, прямые эксплуатационные затраты на 8,8 % и получить годовой приведенный экономический эффект – 2425,800 тыс. руб. (в ценах 2009 года) [13].

Заключение

Одним из условий качественного внесения рабочих растворов пестицидов является поддержание требуемых параметров установки штанги (высота, постоянство расстояния между линией распылителей и обрабатываемой поверхностью) в процессе выполнения технологической операции. Важную роль в соблюдении данного требования играют механизмы изменения угла наклона штанги и элементы автоматизации, позволяющие контролировать и регулировать положение штанги при работе опрыскивателя. Данные функции выполняет разработанная система микропроцессорного автоматизированного регулирования распределительной штанги опрыскивателя относительно обрабатываемой поверхности СМАР-1, которая состоит из пульта и блока управления, ультразвуковых датчиков положения, исполнительных механизмов управления штангой.

Система успешно прошла все стадии производственных (ДП «Дятловская сельскохозяйственная техника», СПК «Гранит-Агро» Дятловского района), приемочных (ГУ «Белорусская МИС») испытаний и рекомендована к использованию в конструкциях штанговых опрыскивателей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Болвонович, В. Берем потери пестицидов под контроль / В. Болвонович, Э. Могилевский // Белорусское сельское хозяйство. – 2013. – № 5 (133). – С. 12-14.
2. Теория и практика опрыскивания 2010 : метод. пособие / И.А. Редкозубов [и др.]. – Москва: ООО «Дюпон: наука и технологии», 2010. – 19 с.
3. Ротенберг, Ю.Ю. Высота штанги полевого опрыскивателя / Ю.Ю. Ротенберг, Т.В. Раскатова, И.А. Редкозубов // Защита и карантин растений. – 2011. – № 5. – С. 42-43.
4. Защита растений в устойчивых системах земледелия: в 4 кн. / под общ. ред. Д. Шпаара. – Минск: Орех, 2004. – Кн. 4. – 374 с.
5. Крук, И.С. Научно-технические основы проектирования рабочих органов штанговых опрыскивателей / И.С. Крук. – Минск: БГАТУ, 2018. – 272 с.
6. Клочков, А.В. Механизация химической защиты растений: монография / А.В. Клочков, А.Е. Маркевич. – Горки: БГСХА, 2008. – 228 с.
7. Методика оценки технического состояния полевых штанговых опрыскивателей и технологические требования к ним / С.К. Карпович, Л.А. Маринич, И.С. Крук [и др.]; под общ. ред. И.С. Крука. – Минск: БГАТУ, 2016. – 140 с.
8. Проектирование несущих конструкций, схем подвесок и систем стабилизации штанг полевых опрыскивателей. Рекомендации / И.С. Крук [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2018. – 172 с.
9. Штанга DistanceControl / Amazone. Продукция и цифровые решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.amazone.ru>. – Дата доступа: 16.02.2018.
10. Вікович, І.А. Конструкції і динаміка штангових обприскувачів: монографія / І.А. Вікович. – Львів: Видавн. Нац. універс. «Львівська політехніка», 2003. – 460 с.
11. Ground Following system / AG SHIELD [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.agshield.com>. – Date of access: 16.02.2018.
12. Ченцов, В.В. Сельскохозяйственные машины (основные тенденции развития тракторных опрыскивателей) / В.В. Ченцов. – М.: ЦНИИТЭИ Тракторное и с.-х. машиностроение, 1984. – Вып. 12. – 58 с.
13. Протокол № 218Б1/2-2009 (от 23 декабря 2009 г.) приемочных испытаний опытного образца системы микропроцессорного автоматизированного регулирования распределительной штанги опрыскивателя СМАР-1 / Бел. МИС. – Пос. Привольный, 2009. – 35 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 16.08.2022

УДК 631.116.2

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВАКУУММЕТРИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В ДОИЛЬНОМ СТАКАНЕ НА ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПРОЦЕССА МАШИННОГО ДОЕНИЯ КОРОВ

С.Н. Бондарев,

ассистент каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ

А.В. Китун,

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

В статье представлены результаты теоретических исследований по определению энергоемкости процесса машинного доения коров с учетом реверсивного движения молока в доильном аппарате и изменения вакуумметрического давления во время такта «сжатие».

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

This article presents the results of theoretical studies to determine the energy intensity of machine milking of cows taking into account the reverse motion of milk in the milking machine and changes in vacuum pressure during the "compression" stroke.

Key words: machine milking, energy intensity, teat cup, milk, sluice channels, required power, productivity.

Введение

Одним из важнейших показателей эффективности процесса машинного доения, по мнению Мишурова Н.П., является энергоемкость [1]. Величина данного показателя позволяет определить эффективность работы доильной установки и выявить перспективные энергосберегающие направления ее совершенствования.

Как показывают результаты исследований Щукина С.И., Григорьева Д.А., Шахова В.А. и др. [2-6], одним из недостатков доильных аппаратов является реверсивное движение молока из коллектора в подсосковые камеры доильных стаканов, возникающее при разжатии стенок сосковой резины и приводящее к увеличению энергоемкости процесса машинного доения коров.

Возможным решением исключения реверсивного движения молока в доильном аппарате является изменение величины вакуумметрического давления в подсосковой камере доильного стакана во время такта «сжатие», путем поступления воздуха из межстенной камеры доильного стакана в подсосковую через соединяющие их шлюзовые каналы [7].

Целью данной работы является определение энергоемкости процесса машинного доения коров с учетом реверсивного движения молока в доильном аппарате и изменения вакуумметрического давления во время такта «сжатие».

Основная часть

Энергоемкость процесса машинного доения с учетом реверсивного движения молока в доильном аппарате, в общем виде, определим по формуле

$$\mathcal{E}_1 = \frac{N_d}{Q_{д.у.}}, \quad (1)$$

где N_d – суммарная потребная мощность на процесс машинного доения, кВт;

$Q_{д.у.}$ – производительность доильной установки, т/ч.

В процессе машинного доения выдаивание молока из сосков вымени коровы осуществляется за счет вакуумметрического давления в доильном аппарате, создаваемого вакуумным насосом, на привод которого затрачивается мощность ($N_{в.д.}$). На транспортировку молока из доильных стаканов в коллектор и далее по молочному шлангу в молокопровод и молокоприемник доильной установки также затрачивается мощность вакуумного насоса ($N_{т.р.}$). Кроме того, при разжатии стенок сосковой резины происходит реверсивное движение молока из коллектора в подсосковые камеры доильных стаканов, на повторную транспортировку в коллектор которого также требуется дополнительная мощность вакуумного насоса ($N_{п.в.т.}$).

Тогда, суммарную потребную мощность на процесс машинного доения определим по формуле

$$N_d = N_{в.д.} + N_{т.р.} + N_{п.в.т.}, \quad (2)$$

где $N_{в.д.}$ – потребная мощность на выдаивание молока, кВт;

$N_{т.р.}$ – потребная мощность на транспортировку молока в молокоприемник доильной установки, кВт;

$N_{п.в.т.}$ – потребная мощность на повторную транспортировку молока, кВт.

Формулы для определения потребных мощностей на выдаивание молока ($N_{в.д.}$) и его транспортировку в молокоприемник доильной установки ($N_{т.р.}$) были получены на основании результатов исследова-

ний Дашкова В.Н., Китикова В.О., Мишурова Н.П., Яковчика Н.С. и др. [1; 8, 9]. Потребную мощность на выдаивание молока двухтактными доильными аппаратами определим по формуле

$$N_{\text{выд1}} = \frac{p_{\text{в}} n_{\text{д.а.}}}{1000 \eta_{\text{н}}} \left[n_{\text{д.с.}} \left(\frac{\pi d_{\text{к}}^2 \mu_1 v_1}{4} + \frac{V_{\text{м.к.1}} + V_{\text{шл.дс.1}}}{t_{\text{А}}} \right) + \frac{\pi d_{\text{отв}}^2 \mu_{\text{отв}} v_{\text{в}}}{4} \right], \quad (3)$$

где $p_{\text{в}}$ – вакуумметрическое давление в доильном аппарате, Па;

$n_{\text{д.а.}}$ – количество доильных аппаратов в доильной установке, шт.;

$\eta_{\text{н}}$ – коэффициент полезного действия вакуумного насоса;

$n_{\text{д.с.}}$ – количество одновременно работающих доильных стаканов, шт.;

$d_{\text{к}}$ – диаметр канала соска вымени коровы, м;

μ_1 – коэффициент расхода молока для канала соска вымени коровы;

v_1 – средняя скорость истечения молока через канал соска вымени коровы, м/с;

$V_{\text{м.к.1}}$ – объем воздуха, откачиваемый вакуумным насосом во время такта «сосание» из межстенной камеры доильного стакана, м³;

$V_{\text{шл.дс.1}}$ – объем воздуха, откачиваемый вакуумным насосом из шлангов, соединяющих вакуум-распределитель и межстенные камеры доильных стаканов, м³;

$t_{\text{А}}$ – время откачки воздуха из камер доильного аппарата, с;

$d_{\text{отв}}$ – диаметр отверстия в корпусе коллектора, м²;

$\mu_{\text{отв}}$ – коэффициент расхода воздуха через отверстие в корпусе коллектора;

$v_{\text{в}}$ – скорость потока воздуха через отверстие в корпусе коллектора, м/с.

В трех- и четырехтактных доильных аппаратах во время такта «отдыха» происходит поступление порции воздуха в подсосковую камеру доильного стакана, откачка которого осуществляется в начале такта «сосание». Тогда потребную мощность на выдаивание молока для трех- и четырехтактных доильных аппаратов определим по формуле

$$N_{\text{выд2}} = \frac{p_{\text{в}} n_{\text{д.а.}}}{1000 \eta_{\text{н}}} \left[n_{\text{д.с.}} \left(\frac{\pi d_{\text{к}}^2 \mu_1 v_1}{4} + \frac{V_{\text{м.к.1}} + V_{\text{шл.дс.1}} + V_{\text{п.к.1}}}{t_{\text{А}}} \right) + \frac{\pi d_{\text{отв}}^2 \mu_{\text{отв}} v_{\text{в}}}{4} \right], \quad (4)$$

где $V_{\text{п.к.1}}$ – объем воздуха, откачиваемый вакуумным насосом из подсосковой камеры доильного стакана, м³.

Потребную мощность на транспортировку выдоенного молока из подсосковых камер двухтактных доильных аппаратов в молокоприемник доильной установки определим по формуле

$$N_{\text{тр1}} = \frac{\pi n_{\text{д.а.}} (\Delta p_{1-2} + \Delta p_{2-3} + 2\Delta p_{3-4})}{4000 \eta_{\text{н}}} \times \left(\frac{n_{\text{д.с.}} d_{\text{к}}^2 \mu_1 t_{\text{в}} \chi_{\text{п}} v_1}{60} + d_{\text{отв}}^2 \mu_{\text{отв}} v_{\text{в}} \right), \quad (5)$$

где Δp_{1-2} – потери вакуумметрического давления при движении потока молока из подсосковых камер доильных стаканов в коллектор, Па;

Δp_{2-3} – потери вакуумметрического давления при движении потока молоковоздушной смеси из коллектора в молокопровод, Па;

Δp_{3-4} – потери вакуумметрического давления при движении потока молоковоздушной смеси из молокопровода в молокоприемник доильной установки, Па;

$t_{\text{в}}$ – продолжительность такта «сосание», с;

$\chi_{\text{п}}$ – частота пульсаций, мин⁻¹.

Потребную мощность на транспортировку выдоенного молока из подсосковых камер трех- и четырехтактных доильных аппаратов в молокоприемник доильной установки определим по формуле

$$N_{\text{тр2}} = \frac{\pi n_{\text{д.а.}} (\Delta p_{1-2} + \Delta p_{2-3} + 2\Delta p_{3-4})}{4000 \eta_{\text{н}}} \times \left(\frac{n_{\text{д.с.}} \chi_{\text{п}}}{60} (d_{\text{к}}^2 \mu_1 t_{\text{в}} v_1 + d_{\text{в}}^2 (l_{\text{с.р.}} - l_{\text{с}} - l_{\text{м.т.}})) \times \left(\frac{p_{\text{атм}}}{(p_{\text{атм}} - p_{\text{в}})} - 1 \right) + d_{\text{отв}}^2 \mu_{\text{отв}} v_{\text{в}} \right), \quad (6)$$

где $d_{\text{в}}$ – внутренний диаметр сосковой резины, м;

$l_{\text{с.р.}}$ – длина сосковой резины, м;

$l_{\text{с}}$ – длина соска вымени коровы, м;

$l_{\text{м.т.}}$ – длина молочной трубки, м;

$p_{\text{атм}}$ – величина атмосферного давления, Па.

В процессе работы доильного аппарата (рис. 1) при разжати стенок сосковой резины происходит обратное поступление порции молока из коллектора 7 в подсосковую камеру 5 доильного стакана ($V_{\text{рев}}$).

Таким образом, дополнительно затрачивается мощность вакуумной установки на его повторную транспортировку в коллектор доильного аппарата, которую, в общем виде, определим по формуле

$$N_{\text{повт}} = \frac{n_{\text{д.а.}} V_{\text{рев}} \Delta p_{1-2}}{1000 t_{\text{в}} \eta_{\text{н}}}, \quad (7)$$

где $V_{\text{рев}}$ – объем молоковоздушной смеси, поступающей в подсосковую камеру доильного стакана при реверсивном движении из коллектора, м³.

Объем молоковоздушной смеси, поступающей в подсосковую камеру доильного стакана при реверсивном движении из коллектора, определим по формуле

$$V_{\text{рев}} = v_7 S_{\text{м.т.}} t_{\text{А}}, \quad (8)$$

где v_7 – скорость потока молоковоздушной смеси на входе в подсосковую камеру доильного стакана, м/с;

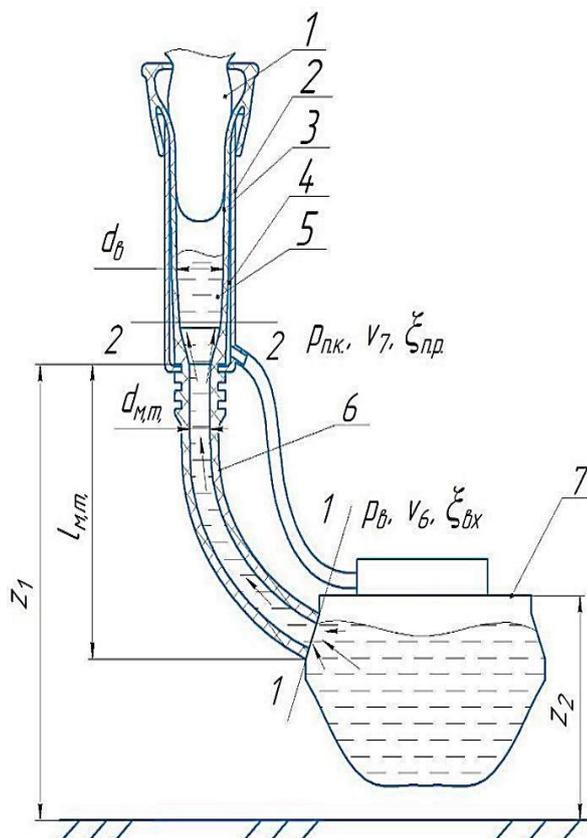


Рисунок 1. Схема к определению скорости молоковоздушной смеси на выходе из молочной трубки в подсосковую камеру доильного стакана:

1 – сосок вымени коровы; 2 – гильза доильного стакана; 3 – сосковая резина; 4 – межстенная камера доильного стакана; 5 – подсосковая камера доильного стакана; 6 – молочная трубка; 7 – коллектор доильного аппарата

$S_{м.т.}$ – площадь молочной трубки в поперечном сечении, $м^2$.

Так как поток молоковоздушной смеси движется из коллектора в подсосковую камеру по молочной трубке за счет разности давлений $p_в$ и $p_{п.к.}$ (рис. 1), то зависимость между скоростями потока на выходе из коллектора и входе в подсосковую камеру можно описать уравнением Бернулли [10], которое в данном случае примет вид

$$z_2 + \frac{p_в}{\rho_{см}g} + \frac{\alpha v_6^2}{2g} = z_1 + \frac{p_{п.к.}}{\rho_{см}g} + \frac{\alpha v_7^2}{2g} + \frac{\Delta p_{рев}}{\rho_{см}g}, \quad (9)$$

где z_2 – высота расположения коллектора доильного аппарата, м;

$\rho_{см}$ – плотность молоко воздушной смеси, $кг/м^3$;

g – ускорение свободного падения, $м/с^2$;

α – коэффициент Кориолиса;

v_6 – скорость потока молоковоздушной смеси на входе в молочную трубку, $м/с$;

z_1 – высота расположения подсосковой камеры доильного стакана, м;

$p_{п.к.}$ – вакуумметрическое давление в подсосковой камере доильного стакана при разжатии стенок сосковой резины, Па;

$\Delta p_{рев}$ – суммарные потери давления при движении молоковоздушной смеси из коллектора в подсосковую камеру доильного стакана, м.

Скорость потока молоковоздушной смеси на входе в подсосковую камеру доильного стакана (v_7) определим из уравнения (9)

$$v_7 = \sqrt{\frac{2g}{\alpha} \left[\frac{(p_{п.к.} - p_в - \Delta p_{рев})}{\rho_{см}g} + \frac{\alpha v_6^2}{2g} + z_2 - z_1 \right]}. \quad (10)$$

Подставив формулу (10) в выражение (8), получим формулу для определения объема молоковоздушной смеси, поступившей в подсосковую камеру из коллектора

$$V_{рев} = \left(\frac{\pi d_{м.т.}^2 t_A}{4} \right) \times \left\{ \frac{2g}{\alpha} \times \left[\frac{(p_{п.к.} - p_в - \Delta p_{рев})}{\rho_{см}g} + \frac{\alpha v_6^2}{2g} + z_2 - z_1 \right] \right\}^{-1}. \quad (11)$$

Подставив формулу (11) в выражение (7), после преобразований получим формулу для определения потребной мощности, необходимой на повторную транспортировку молоковоздушной смеси из подсосковой камеры в коллектор доильного аппарата

$$N_{повт} = \frac{n_{д.а.} \pi d_{м.т.}^2 t_A v_7 \Delta p_{1-2}}{4000 t_B \eta_H}. \quad (12)$$

Производительность доильной установки, зависящую от количества доильных аппаратов ($n_{д.а.}$), среднего разового удоя от коров (m_p) и продолжительности их доения (t_d), с учетом времени, затрачиваемого на повторную транспортировку молока в коллектор доильного аппарата ($t_{тр}$), определим по формуле

$$Q_{д.у.1} = \frac{3,6 n_{д.а.} m_p}{(t_d + t_{тр})}, \quad (13)$$

где m_p – средний разовый удой от коровы, кг;

t_d – продолжительность машинного доения коровы, с;

$t_{тр}$ – время, затрачиваемое на повторную транспортировку молока в коллектор доильного аппарата, с.

Продолжительность машинного доения коровы зависит от продолжительности выдаивания молока из вымени коровы ($t_{выд}$) и подготовительно-заключительных операций (санитарной обработки вымени, вход/выход коровы) ($t_{пз}$), и определяется по формуле [11]

$$t_d = t_{пз} + t_{выд}, \quad (14)$$

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

$t_{выд}$ – продолжительность выдаивания молока из вымени коровы, с.

Время, затрачиваемое на выдаивание молока из вымени коровы ($t_{выд}$), зависит от количества ($n_{п}$) и продолжительности пульсаций ($t_{п}$), а также количества одновременно работающих доильных стаканов ($n_{д.с.}$), которое можно определить по формуле

$$t_{выд} = \frac{n_{п} t_{п}}{n_{д.с.}}, \quad (15)$$

где $n_{п}$ – количество пульсаций, совершаемых доильным аппаратом за время машинного доения коровы, шт.;

$t_{п}$ – продолжительность пульсации, с;

$n_{д.с.}$ – количество одновременно работающих доильных стаканов, шт.

Количество пульсаций, совершаемых доильным аппаратом за время машинного доения коровы, определим по формуле

$$n_{п} = \frac{4m_{р}}{t_{Б} \rho \pi d_{к}^2 \mu_1 v_1}, \quad (16)$$

где ρ – плотность молока, кг/м³.

С учетом формулы (16) выражение (14) примет вид

$$t_{д} = t_{пз} + \frac{4m_{р} t_{п}}{n_{д.с.} \rho \pi d_{к}^2 \mu_1 v_1 t_{Б}}. \quad (17)$$

Формула для определения времени, затрачиваемого на повторную транспортировку молока в коллектор доильного аппарата, определим по формуле

$$t_{тр} = \frac{4m_{р} t_{А} v_7}{n_{д.с.} v_2 \rho \pi d_{к}^2 \mu_1 v_1 t_{Б}}, \quad (18)$$

где v_2 – скорость потока молока на выходе из молочной трубки, м/с.

Подставив значения формул (18) и (17) в выражение (13), получим формулу для определения производительности доильной установки с учетом реверсивного движения молока в доильном аппарате

$$Q_{д.у.1} = \frac{3,6 n_{д.а.} m_{р}}{\left(t_{пз} + \frac{4m_{р}}{\rho \pi d_{к}^2 \mu_1 v_1 t_{Б}} \left(\frac{t_{п}}{n_{д.с.}} + \frac{t_{А} v_7}{v_2} \right) \right)}. \quad (19)$$

С учетом формул (3), (5), (12) и (19) выражение (1) для определения энергоемкости процесса машинного доения коров с учетом реверсивного движения молока в двухтактных доильных аппаратах примет вид

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_1 = & \frac{t_{пз.} + t_{выд} + t_{тр}}{3600 \eta_{н} m_{р}} \left[p_{в} \left(n_{д.с.} \left(\frac{V_{м.к.1} + V_{шл.дс.1}}{t_{А}} + Q_{м} \right) + \right. \right. \\ & \left. \left. + Q_{к} \right) + \Delta p_{в} \left(\frac{n_{д.с.} Q_{м} t_{Б}}{t_{п}} + Q_{к} \right) + \frac{V_{рев.} \Delta p_{12}}{t_{Б}} \right]. \quad (20) \end{aligned}$$

С учетом формул (4), (6), (12) и (19) выражение (1) для определения энергоемкости процесса машинного доения коров с учетом реверсивного движения молока в трех- и четырехтактных доильных аппаратах примет вид

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_2 = & \frac{t_{пз.} + t_{выд} + t_{тр}}{3600 \eta_{н} m_{р}} \left[p_{в} \left(n_{д.с.} \left((V_{м.к.1} + \right. \right. \right. \\ & \left. \left. + V_{шл.дс.1} + V_{п.к.1} \right) \times t_{А}^{-1} + Q_{м} \right) + Q_{к} \right) + \\ & \left. + \Delta p_{в} \left(\left(\frac{n_{д.с.} \chi_{п}}{60} (Q_{м} t_{Б} + V_{п.к.1}) \right) + Q_{к} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{V_{рев.} \Delta p_{12}}{t_{Б}} \right]. \quad (21) \end{aligned}$$

Проведя анализ формул (20) и (21), было установлено, что энергоемкость процесса машинного доения коров с учетом реверсивного движения молока в доильном аппарате, зависит от объема камер доильного аппарата ($V_{м.к.1}$, $V_{шл.дс.1}$, $V_{п.к.1}$), величины вакуумметрического давления ($p_{в}$), продолжительности тактов работы доильного аппарата ($t_{А}$, $t_{Б}$), частоты пульсаций ($\chi_{п}$), продуктивности коровы ($m_{р}$) и объема молока, поступающего в подсосковую камеру доильного стакана при реверсивном движении из коллектора ($V_{рев.}$).

Снижение энергоемкости процесса машинного доения можно обеспечить исключением реверсивного движения молока в доильном аппарате за счет изменения вакуумметрического давления в подсосковых камерах доильных стаканов во время такта «сжатие». Выполнить поставленную задачу возможно, осуществив поступление воздуха из межстенной камеры доильного стакана в подсосковую во время такта «сжатие» через шлюзовые каналы, выполненные в стенке сосковой резины доильного стакана.

Формула для определения энергоемкости процесса машинного доения с учетом изменения вакуумметрического давления в доильном аппарате во время такта «сжатие» примет вид

$$\mathcal{E}_3 = \frac{N_{дз}}{Q_{д.у.2}}, \quad (22)$$

где $N_{дз}$ – потребная мощность на процесс машинного доения в доильной установке с изменением вакуумметрического давления в доильных аппаратах, кВт;

$Q_{д.у.2}$ – производительность доильной установки при исключении реверсивного движения молока в доильных аппаратах, т/ч.

Потребную мощность на процесс машинного доения в доильной установке с изменением вакуумметрического давления в доильных аппаратах определим по формуле

$$N_{дз} = N_{выдз} + N_{трз} + N_{ревз}, \quad (23)$$

где $N_{\text{выд3}}$ – потребная мощность на выдаивание молока доильными аппаратами с изменяемым вакуумметрическим давлением, кВт;

$N_{\text{тр3}}$ – потребная мощность на транспортировку молоковоздушной смеси из доильных аппаратов с изменяемым вакуумметрическим давлением, кВт;

$N_{\text{рев2}}$ – потребная мощность на повторную транспортировку молока в коллектор доильного аппарата с учетом изменения вакуумметрического давления в доильном аппарате во время такта «сжатие», кВт.

Так как изменение вакуумметрического давления в доильном аппарате происходит за счет поступления воздуха из межстенной камеры в подсосковую через шлюзовые каналы во время такта «сжатие», то потребную мощность на выдаивание молока доильными аппаратами с изменяемым вакуумметрическим давлением ($N_{\text{выд3}}$) определим, переписав формулу (3) с учетом расхода воздуха через шлюзовые каналы ($Q_{\text{шл}}$)

$$N_{\text{выд3}} = \frac{n_{\text{д.а.}} p_{\text{в}}}{1000 \eta_{\text{н}}} \left[n_{\text{д.с.}} \left(\frac{\pi d_{\text{к}}^2 \mu_1 v_1}{4} + \frac{V_{\text{м.к.1}} + V_{\text{шл.дс.1}}}{t_{\text{А}}} + Q_{\text{шл}} \right) + \frac{\pi d_{\text{отв}}^2 \mu_{\text{отв}} v_{\text{в}}}{4} \right], \quad (24)$$

где $Q_{\text{шл}}$ – расход воздуха через шлюзовые каналы, который определим по формуле

$$Q_{\text{шл}} = \frac{8 d_{\text{в}} l_{\text{шл}}^5 \pi v_8 \mu_{\text{шл}} (p_{\text{в}} - p_{\text{вым}}) \tan \theta_{\text{шл}}}{3 E (d_{\text{н}}^4 - d_{\text{в}}^4)}, \quad (25)$$

где $l_{\text{шл}}$ – длина шлюзового канала, м;

v_8 – скорость потока воздуха при прохождении через шлюзовые каналы, м/с;

$\mu_{\text{шл}}$ – коэффициент расхода воздуха для шлюзового канала;

$p_{\text{вым.}}$ – величина внутривыменного давления коровы, Па;

E – модуль упругости сосковой резины, Па;

$d_{\text{н.}}$ – наружный диаметр сосковой резины, м;

$\theta_{\text{шл}}$ – угол прогиба стенки сосковой резины в продольном сечении, град.

Потребную мощность на транспортировку молоковоздушной смеси из доильных аппаратов с изменяемым вакуумметрическим давлением в молокоприемник доильной установки определим переписав выражение (5) с учетом формулы (25)

$$N_{\text{тр3}} = \frac{\pi n_{\text{д.а.}} \Delta p_{\text{в}}}{4000 \eta_{\text{н}}} \left(\frac{n_{\text{д.с.}} d_{\text{к}}^2 \mu_1 t_{\text{Б}} \chi_{\text{п}} v_1}{60} + d_{\text{отв}}^2 \mu_{\text{отв}} v_{\text{в}} + \frac{8 d_{\text{в}} l_{\text{шл}}^5 \pi v_8 \mu_{\text{шл}} (p_{\text{в}} - p_{\text{вым}}) \tan \theta_{\text{шл}}}{3 E (d_{\text{н}}^4 - d_{\text{в}}^4)} \right). \quad (26)$$

Потребную мощность на повторную транспортировку молока в коллектор доильного аппарата с учетом изменения вакуумметрического давления в доильном аппарате ($p_{\text{шл}}$) во время такта «сжатие» определим переписав выражение (12)

$$N_{\text{повт2}} = \frac{n_{\text{д.а.}} \pi d_{\text{м.т.}}^2 t_{\text{А}} \Delta p_{1-2}}{4000 t_{\text{Б}} \eta_{\text{н}} n_{\text{д.с.}}} \times \sqrt{\frac{2g}{\alpha} \left(\frac{(p_{\text{п.к.}} - p_{\text{в}} - p_{\text{шл}} - \Delta p_{\text{рев}})}{\rho_{\text{см}} g} + \frac{\alpha v_6^2}{2g} + z_2 - z_1 \right)}, \quad (27)$$

где $p_{\text{шл}}$ – давление, создаваемое в подсосковой камере поступающим воздухом через шлюзовые каналы, Па.

Так как в процессе машинного доения доильной установкой с использованием доильных аппаратов с изменяемым вакуумметрическим давлением, исключается реверсивное движение молока, то формула для определения ее производительности, с учетом выражения (17), примет вид

$$Q_{\text{д.у.2}} = \frac{3,6 n_{\text{д.а.}} m_{\text{р}}}{(t_{\text{д}} + t_{\text{тр2}})}, \quad (28)$$

где $t_{\text{тр2}}$ – время, затрачиваемое на повторную транспортировку молоковоздушной смеси из подсосковой камеры доильного стакана в коллектор с учетом изменения вакуумметрического давления во время такта «сжатие».

Время $t_{\text{тр2}}$ определим по формуле

$$t_{\text{тр2}} = \frac{V_{\text{рев2}} n_{\text{п}}}{Q_{\text{м.т.}} n_{\text{д.с.}}}, \quad (29)$$

где $V_{\text{рев2}}$ – объем молоковоздушной смеси, поступающей в подсосковую камеру доильного стакана при реверсивном движении из коллектора, с учетом изменения вакуумметрического давления во время такта «сжатие», определим переписав выражение (11) с учетом изменения вакуумметрического давления в доильном аппарате ($p_{\text{шл}}$).

Объем $V_{\text{рев2}}$ определим по формуле

$$V_{\text{рев2}} = \frac{\pi d_{\text{м.т.}}^2 t_{\text{А}}}{4} \times \left\{ \frac{2g}{\alpha} (p_{\text{п.к.}} - p_{\text{в}} - p_{\text{шл}} - \Delta p_{\text{рев}}) \times (\rho_{\text{см}} g)^{-1} + \frac{\alpha v_6^2}{2g} + z_2 - z_1 \right\}^{1/2}. \quad (30)$$

Подставив формулы (23)-(30) в выражение (22), после преобразований получим зависимость для определения энергоемкости процесса машинного до-

ения с учетом изменения вакуумметрического давления в доильном аппарате во время такта «сжатие»

$$\Theta_3 = \frac{n_{д.а.} (t_{п.з.} + t_{д.} + t_{тр.})}{3600\eta_n m_p} \times \left[p_B \left(n_{д.с.} \left(\frac{V_{м.к.1} + V_{шл.д.с.1}}{t_A} + Q_M + Q_{шл} \right) + Q_K \right) + \Delta p_B \left(\frac{n_{д.с.} Q_M t_B \chi_{п.}}{60} + Q_K + n_{д.с.} Q_{шл} \right) + \frac{V_{в.п.2} n_{д.с.} \Delta p_{12}}{t_B} \right]. \quad (31)$$

Анализ формулы (31) показал, что энергоёмкость процесса машинного доения с учетом изменения вакуумметрического давления в доильном аппарате во время такта «сжатие» (Θ_3), зависит от технологических параметров доильной установки, шлюзовых каналов ($l_{шл.}$, $h_{шл.}$), среднего разового удоя от коровы (m_p) и величины вакуумметрического давления в доильном аппарате (p_B).

Расчет энергоёмкости процесса машинного доения проводим для среднего разового удоя от коровы $m_p=8,7$ кг (5310 кг/год), так как это значение является средним показателем по стране за 2020 год [12]. Тогда, подставив численные значения: $p_B=43000$ Па; $n_{д.а.}=24$ шт.; $\eta_n=0,48$; $n_{д.с.}=2$ шт.; $d_k=0,002$ м; $\mu_1=0,65$; $v_1=8,12$ м/с; $V_{м.к.1}=4,98 \cdot 10^{-5}$ м³; $V_{шл.д.с.1}=6,67 \cdot 10^{-6}$ м³; $t_A=0,1$ с; $d_{отв}=0,001$ м; $\mu_{отв}=0,66$; $v_B=118,93$ м/с; $V_{п.к.1}=1,12 \cdot 10^{-5}$ м³; $\Delta p_{1-2}=3,908 \cdot 10^4$ Па; $\Delta p_{2-3}=7,468 \cdot 10^3$ Па; $\Delta p_{3-4}=6,974 \cdot 10^4$ Па; $t_B=0,5$ с; $\chi_{п.}=60$ мин⁻¹; $d_B=0,022$ м; $l_{с.р.}=0,29$ м; $l_c=0,09$ м; $l_{м.т.}=0,16$ м; $p_{атм}=101325$ Па; $S_{м.т.}=5,026 \cdot 10^{-5}$ м²; $z_2=1,2$ м;

$\rho_{см}=360,95$ кг/м³; $g=9,81$ м/с²; $\alpha=1,1$; $v_6=9,8$ м/с; $z_1=1,4$ м; $p_{п.к.}=64166,6$ Па; $\Delta p_{рев}=12409,3$ Па; $m_p=8,7$ кг; $t_{пз}=0,0226$ ч; $t_{п.}=1$ с; $\rho=1030$ кг/м³; $v_2=5,576$ м/с; $l_{шл.}=0,002 \dots 0,018$ м; $\mu_{шл.}=0,35$; $p_{вым.}=9000$ Па; $E=25 \cdot 10^5$ Па; $d_{п.}=0,026$ м в формулы (20), (21) и (31), проведем необходимые вычисления и построим графические зависимости энергоёмкости процесса машинного доения от длины и высоты расположения шлюзовых каналов в доильном стакане (рис. 2).

Анализируя графические зависимости, представленные на рисунке 2, отметим, что:

– энергоёмкость процесса машинного доения с учетом реверсивного движения молока в двухтактных доильных аппаратах составит: $\Theta_1=3,128$ кВт·ч/т и для трех-четырёхтактных доильных аппаратов: $\Theta_2=3,738$ кВт·ч/т;

– при высоте расположения шлюзового канала $h_{шл.}=0,04$ м при его длине $l_{шл.}=0,0165$ м, энергоёмкость процесса машинного доения равна $\Theta_3=2,693$ кВт·ч/т, что на 12,24 % меньше, чем энергоёмкость процесса машинного доения с реверсивным движением молока в двухтактном доильном аппарате;

– при высоте расположения шлюзового канала $h_{шл.}=0,06$ м при его длине $l_{шл.}=0,013$ м энергоёмкость процесса машинного доения составит $\Theta_3=2,597$ кВт·ч/т, что на 16,95 % меньше, чем энергоёмкость процесса машинного доения с реверсивным движением молока в доильном аппарате;

– энергоёмкость процесса машинного доения равна $\Theta_3=2,745$ кВт·ч/т при высоте расположения шлюзового канала $h_{шл.}=0,09$ м при его длине $l_{шл.}=0,01$ м, что на 13,89 % меньше, чем энергоёмкость процесса машинного доения с реверсивным движением молока в доильном аппарате;

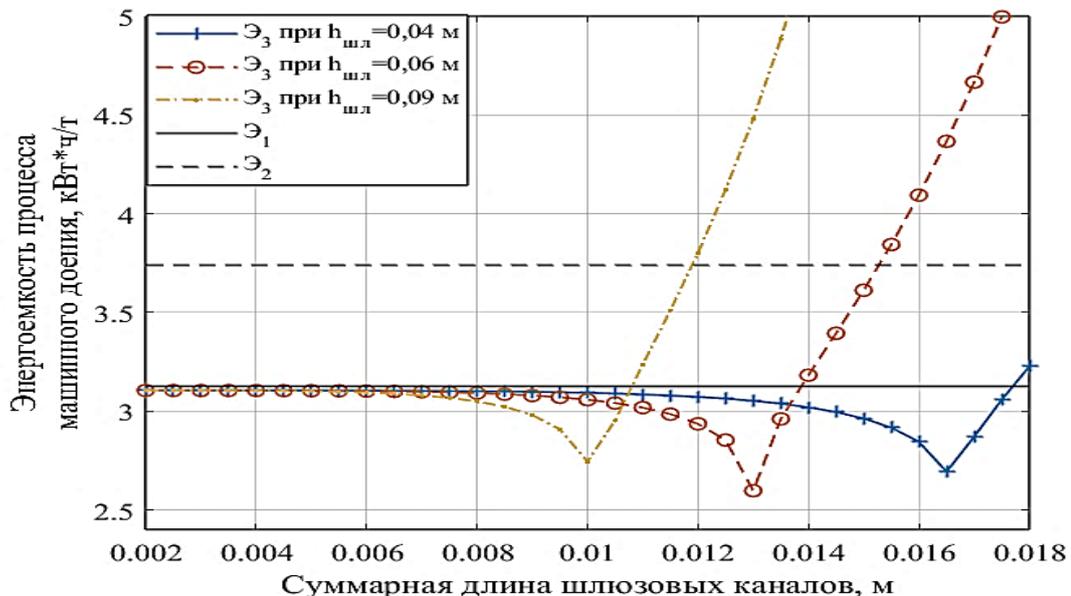


Рисунок 2. Зависимость энергоёмкости процесса машинного доения с учетом изменения вакуумметрического давления в доильном аппарате во время такта «сжатие» от длины шлюзового канала ($l_{шл.}$) и его высоты расположения ($h_{шл.}$) при $m_p=8,7$ кг; $\chi_n=60$ мин⁻¹; $p_B=43$ кПа

– повышение энергоемкости процесса машинного доения при длине шлюзовых каналов более 0,017 м обуславливается увеличением расхода воздуха через шлюзовые каналы, на откачку которого дополнительно затрачивается энергия.

Заключение

При величине вакуумметрического давления $p_v=43$ кПа; частоте пульсаций $\chi_n=60$ мин⁻¹ и разовом удое $m_p=8,7$ кг от коровы энергоемкость процесса машинного доения с учетом реверсивного движения молока в двухтактных и трех- четырехтактных доильных аппаратах составит 3,128 и 3,738 кВт·ч/т соответственно.

Получены аналитические зависимости для определения рациональных значений конструктивных параметров шлюзовых каналов (высота расположения шлюзового канала $h_{шл}=0,06$ м; длина шлюзового канала $l_{шл}=0,013$ м), соединяющих во время такта «сжатие» межстенную и подсосковую камеры доильного стакана и позволяющие путем изменения вакуумметрического давления в подсосковой камере исключить реверсивное движение молока в доильном аппарате.

При указанных рациональных значениях конструктивных параметров шлюзовых каналов энергоемкость процесса машинного доения с изменением вакуумметрического давления в доильном аппарате составит $\mathcal{E}_3=2,597$ кВт·ч/т, при величине вакуума в доильном аппарате $p_v=43$ кПа, частоте пульсаций $\chi_n=60$ мин⁻¹, соотношении тактов «сосание»/«сжатие» 60/40 и разовом удое $m_p=8,7$ кг от коровы, что на 16,95 % меньше, чем при машинном доении с реверсивным движением молока в доильном аппарате.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мишуров, Н.П. Биоэнергетическая оценка и основные направления снижения энергоемкости производства молока: науч. издание. / Н.П. Мишуров. – Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – С. 4-5.
2. Щукин, С.И. Обоснование параметров исполнительных механизмов доильного аппарата попарного действия: автореф. дис. ... к-та техн. наук: 05.20.01 / С.И. Щукин. – Москва, 2006. – 20 с.

3. Щукин, С.И. Экспериментальный доильный аппарат / С.И. Щукин, И.Е. Петров // Вестник НГИЭИ. – 2011. – № 5. – С. 12-19.

4. Григорьев, Д.А. Технология машинного доения коров на основе конвергентных принципов управления автоматизированными процессами: монография / Д.А. Григорьев, К.В. Король. – Гродно: ГГАУ, 2017. – 216 с.

5. Исследование процесса гидродинамического движения газожидкостной смеси в замкнутом контуре «молочная железа – доильная машина – счетчик молока – молокопровод» системы «Ч–М–Ж–С» / В.А. Шахов [и др.] // Известия Оренбургского Государственного аграрного университета. – 2015. – № 5. – С. 86-88.

6. Кирсанов, В.В. Направление исследований в совершенствовании работы доильных аппаратов / В. В. Кирсанов, С.И. Щукин, В.Н. Легеза // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – №1. – С. 32-35.

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

8. Дашков, В.Н. Новые методические подходы к обоснованию средств механизации в молочном животноводстве / В.Н. Дашков, В.О. Китиков, В.Г. Самосюк // Вести Национальной академии наук: Серия аграрных наук. – 2004. – № 4. – С. 105-111.

9. Бондарев, С.Н. Определение потребной мощности на процесс машинного доения коровы / С.Н. Бондарев // Вестник БарГУ. – 2022. – № 1. – С. 55-64.

10. Калекин, А.А. Гидравлика и гидравлические машины: учебное пособие / А.А. Калекин. – Москва: Мир. – 2005. – 512 с.

11. Передня, В.И. К вопросу определения параметров линии машинного доения животных / В.И. Передня, А.В. Китун, С.Н. Бондарев, Е.В. Музычко // Агропанорама. – 2020. – № 4. – С. 19-21.

12. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сборник. – Минск: Нац. статистич. комитет Республики Беларусь, 2021. – 179 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 16.08.2022

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПЛАСТА ПОЧВЫ ПО РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИСКОВОГО ПРЕДПЛУЖНИКА

И.С. Крук,

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

Ф.И. Назаров,

доцент каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

И.С. Назаров,

зам. начальника КБ РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

Н.Г. Бакач,

заместитель генерального директора по научной работе

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

Ю.В. Чигарев,

профессор каф. теоретической механики и теории механизмов и машин, докт. физ.-мат. наук, профессор

В статье рассмотрено движение пласта почвы по рабочей поверхности дискового предплужника. Получены теоретические зависимости для определения кинематических параметров движения пласта с учетом конструктивных параметров дискового предплужника, технологических параметров его установки, а также физико-механические свойства почвы.

Ключевые слова: диск, предплужник, движение, скорость, пласт, частица, почва, угол крена, угол атаки, радиус кривизны, сила.

The article deals with the movement of the soil layer on the working surface of the disk skim colter. Theoretical dependences for determining the kinematic parameters of the layer movement adapted to the design parameters of the disk skim colter and the setup technological parameters, as well as physical and mechanical properties of the soil are obtained.

Key words: disc, skim colter, movement, speed, layer, particle, soil, lean angle, approach angle, radius of curvature, force.

Введение

Вспашка с оборотом пласта, несмотря на высокие энергетические затраты, продолжает оставаться преобладающим приемом основной обработки почвы в республике. Качественная и своевременная основная обработка позволяет не только сохранить накопленную почвой влагу, заложить основу будущего урожая, но и снизить затраты на проведение последующих почвообрабатывающих операций, система которых определяется типом и структурой почвы. При вспашке происходит оборачивание верхних и нижних слоев почвы, которые перемещаются в вертикальном направлении, а почвенный пласт крошится, разрыхляется и перемешивается. При этом в пахотный слой заделываются пожнивные остатки растений, дернина, органические и минеральные удобрения, мелиоранты. Однако не на всех агрофонах можно достигнуть одинаковых результатов. На почвах дернистых, связанных и сильно засоренных сорняками, пласт плохо разрыхляется, а верхний травянистый слой пласта в неполном объеме укладывается вниз на дно борозды, в результате чего на стыках

проходов пахотного агрегата зачастую в большом количестве видны незаделанные сорняки, которые после пахоты продолжают расти, усложняя проведение последующих почвообрабатывающих и посевных операций. Для обеспечения равномерной и полной заделки растительных остатков в почву и исключения отрицательного воздействия растительных остатков на последующую поверхностную обработку и посев, вспашку производят плугами с установленными дополнительными приспособлениями (предплужниками, приставками и др.) [1-9]. Предплужники устанавливаются перед основным корпусом плуга. В процессе работы он подрезает 2/3 ширины основного пласта на глубину 0,08-0,12 м и укладывает его на дно борозды, образованной предыдущим проходом корпуса плуга. В результате основной пласт, будучи освобожденным от большей части дернины, интенсивнее крошится и полнее заделывает растительные остатки, обеспечивая выровненность поверхности поля.

В настоящее время используются предплужники различных конструкций, однако широкое применение получили лемешные и дисковые. Дисковые рабочие

органы меньше подвержены забиванию сорняками, соломой и другими волокнистыми материалами, чем поступательно движущиеся рабочие органы [11]. Кроме того, при их использовании на сухих спекающихся почвах не происходит образование таких крупных глыб, какие возникают при работе лемешных рабочих органов. Однако дисковые рабочие органы хуже, чем лемешные, выполняют оборот пласта. По залипанию и тяговому усилию лемешные и дисковые рабочие органы являются равноценными.

При неправильной настройке дисковых предплужников пласт может сгруживаться или его часть может не укладываться на дно борозды, что приводит к снижению качества выполнения технологического процесса и увеличению его энергоемкости.

Целью данной работы является теоретическое обоснование влияния конструктивных параметров дискового предплужника и технологических параметров его установки на дальность отбрасывания частиц почвы.

Основная часть

Рабочим органом дискового предплужника, общий вид которого представлен на рисунке 1, является вогнутый сферический диск [11, 12]. Данная конструкция позволяет при работе изменять глубину пахотного слоя, углы крена и атаки, которые влияют на кинематические параметры движения пласта по поверхности диска и определяют дальность отбрасывания частиц почвы. Кроме того, на дальность отбрасывания частиц почвы влияет скорость движения агрегата, тип и параметры рабочей поверхности диска, а также тип и состояние почвы.

Вопросам проектирования, испытаний и эксплуатации почвообрабатывающих сельскохозяйственных машин с дисковыми рабочими органами, исследованиям закономерностей движения почвенных пластов и частиц по рабочим поверхностям почвообрабатывающих дисковых орудий посвящены научные труды Горячкина В.П., Синеокова Г.Н., Летошнева М.Н., Клочкова А.В., Нормирзаева А.Р. и других ученых.

Для изучения закономерностей движения почвенного пласта по рабочей поверхности дискового предплужника обычно принимаются следующие допущения:

- скорость агрегата со временем не изменяется;
- окружная скорость диска постоянна (диск вращается без проскальзывания и остановок).

Почвенный пласт подрезается кромкой диска и движется по его рабочей поверхности (рис. 2). Данное движение рассматривается как относительное (система отчета связана с рабочей поверхностью, ось $\tau-\tau$ – касательная к окружности, $n-n$ – нормаль). При подрезании слоя почвы величина относительной скорости $v_{дво}$ равна

$$v_{дво} = v_{агр} \sin \alpha,$$

где $v_{агр}$ – скорости агрегата, м/с;
 α – угол атаки, град [10-12].

Слой почвы начинает двигаться по рабочей поверхности диска со скоростью $v_{дво} \cos \gamma$ (γ – угол крена диска, град [10-12]).

Рассмотрим движение почвенного пласта массой m_n по поверхности диска (дуга AB длиной l). В верхней точке B диска (рис. 2) на пласт действуют: сила тяжести G , силы инерции $F_{и1}$ и $F_{и2}$, сила реакции поверхности диска N_d , сила трения $F_{тр}$ и сила, затрачиваемая на перемещение пласта $F_{дв} = m_n a_{дв}$ ($a_{дв}$ – ускорение движения пласта, м/с²).

Сила тяжести, действующая на пласт, равна

$$G = m_n g, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с².

Данную силу разложим на две составляющие:

- направленную по оси $\tau-\tau$ $G' = m_n g \sin \psi$;
 - направленную по нормали $n-n$ $G'' = m_n g \cos \psi$,
- где ψ – угол наклона касательной, проведенной к поверхности диска в точке B к горизонту, град.)

Из рисунка 2 видно, что угол наклона касательной будет равен

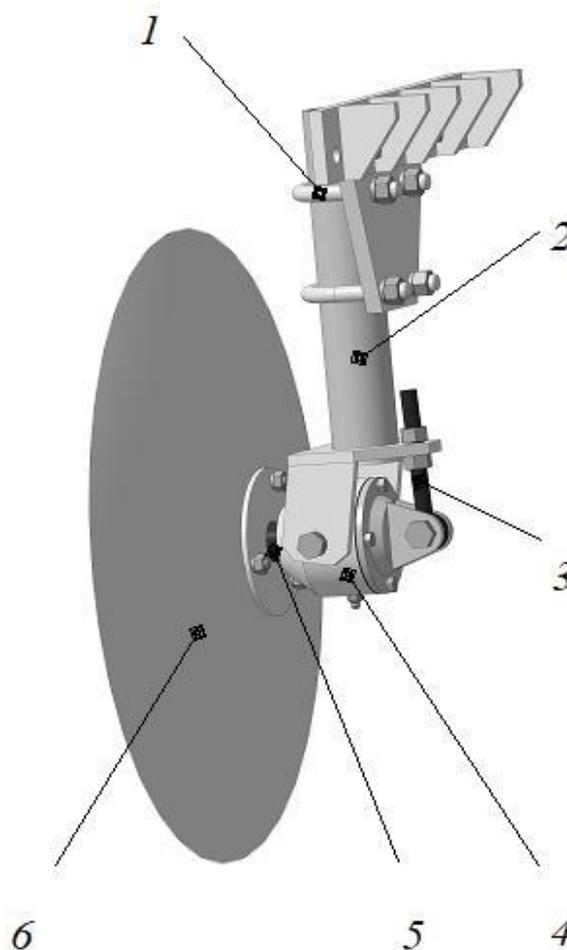


Рисунок 1. Дисковый предплужник с изменяемыми углами атаки и крена: 1 – скоба; 2 – стойка; 3 – натяжник; 4 – подшипниковый узел; 5 – ось; 6 – сферический диск

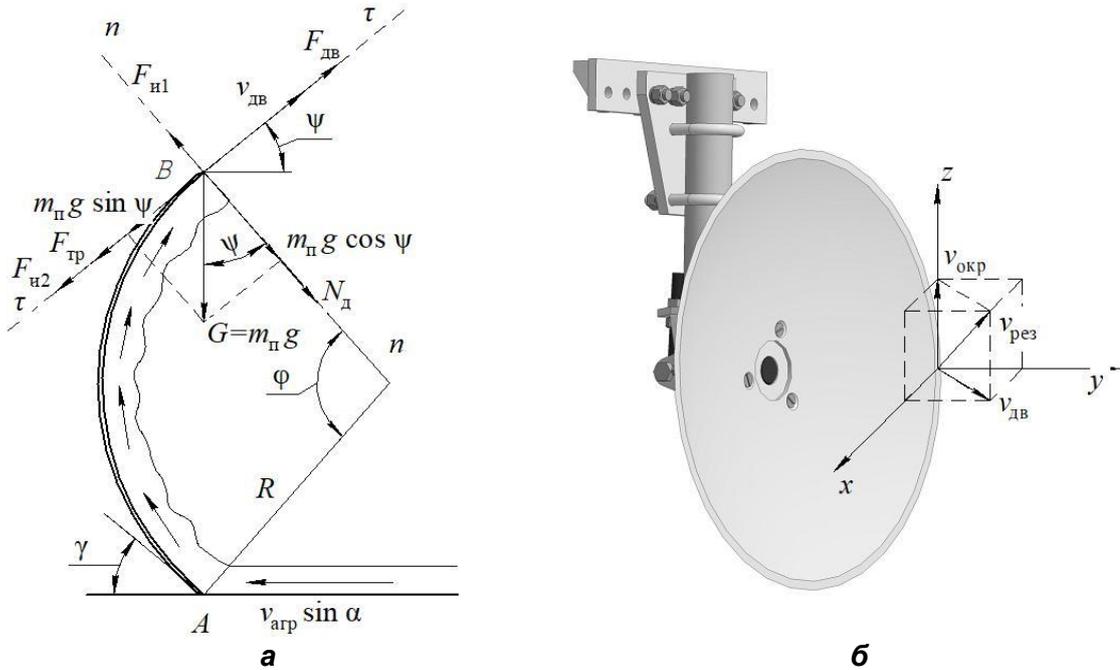


Рисунок 2. Расчетная схема движения почвы по рабочей поверхности дискового предплужника: а – силы, действующие на частицу почвы; б – определение результирующей скорости движения частицы почвы

$$\psi = 180 - \varphi - \gamma, \quad (2)$$

где φ – центральный угол, опирающийся на дугу AB , град.

Сила инерции пласта почвы по нормали $n-n$

$$F_{n1} = \frac{m_n v_{дв}^2 \sin^2 \psi}{R}, \quad (3)$$

где $v_{дв}$ – скорость движения пласта, м/с;
 R – радиус кривизны диска, м.

Сила инерции пласта почвы по касательной $\tau-\tau$

$$F_{n2} = \frac{m_n v_{окр}^2}{R},$$

где $v_{окр}$ – окружная скорость движения пласта, м/с.

Окружная скорость движения пласта зависит от положения частицы почвы на диске и изменяется в пределах от 0 до $2v_{агр}$.

Сила трения $F_{тр}$, направленная по касательной к поверхности отвала, определяется по формуле

$$F_{тр} = f_{тр} N_d, \quad (4)$$

где $f_{тр}$ – коэффициент трения почвы о поверхность диска [12-14].

Запишем проекции сил, действующих на пласт в точке B , на нормаль $n-n$ и касательную $\tau-\tau$ к поверхности отвала, получим уравнения равновесия в следующем виде:

$$F_{n1} - m_n g \cos \psi - N_d = 0, \quad (5)$$

$$F_{дв} - F_{тр} - m_n g \sin \psi - F_{n2} = 0. \quad (6)$$

Из равенства (5) с учетом формулы (3) при условии, что $N_d = 0$, можно определить критическую для рассматриваемого поперечного сечения скорость движения агрегата, при которой пласт почвы будет двигаться вдоль рабочей поверхности диска без сгуживания (условие отбрасывания пласта дисковым предплужником без сгуживания):

$$\frac{\sqrt{Rg \cos \psi}}{\sin \psi \sin \alpha} < v_{агр}. \quad (7)$$

Дальность отбрасывания частиц почвы зависит от величины и направления результирующей скорости $v_{рез}$ движения пласта по рабочей поверхности диска, состоящей из относительной скорости $v_{дв}$ движения пласта и окружной скорости $v_{окр}$, углов крена и атаки диска. Кроме того, пласт почвы двигается вместе с агрегатом и имеет переносную скорость $v_{агр}$. Эта скорость определяет отброс частиц по направлению движения.

Для определения относительной скорости движения пласта из уравнения (5) выразим силу N_d и подставим в формулу (6). Учитывая равенства (3) и (4), получим:

$$m_n a_{дв} = f_{тр} \frac{m_n v_{дв}^2 \sin^2 \psi}{R} - f_{тр} m_n g \cos \psi + m_n g \sin \psi + \frac{m_n v_{окр}^2}{R}. \quad (8)$$

После деления выражения (8) на m_n и последующих преобразований получим:

$$\frac{v_{дв} dv_{дв}}{dx} = f_{тр} \frac{v_{дв}^2 \sin^2 \psi}{R} - f_{тр} g \cos \psi + g \sin \psi + \frac{v_{окр}^2}{R}, \quad (9)$$

$$\int \frac{v_{дв} dv_{дв}}{f_{тр} \frac{v_{дв}^2 \sin^2 \psi}{R} - f_{тр} g \cos \psi + g \sin \psi + \frac{v_{окр}^2}{R}} = \int dx, \\ \frac{R}{2f_{тр} \sin^2 \psi} \times \\ \times \int \frac{d \left(f_{тр} \frac{v_{дв}^2 \sin^2 \psi}{R} - f_{тр} g \cos \psi + g \sin \psi + \frac{v_{окр}^2}{R} \right)}{f_{тр} \frac{v_{дв}^2 \sin^2 \psi}{R} - f_{тр} g \cos \psi + g \sin \psi + \frac{v_{окр}^2}{R}} = \\ = \int dx, \quad (10)$$

Проинтегрировав данное уравнение, получим:

$$\frac{R}{2f_{тр} \sin^2 \psi} \ln \left| f_{тр} \frac{v_{дв}^2 \sin^2 \psi}{R} - f_{тр} g \cos \psi + g \sin \psi + \frac{v_{окр}^2}{R} \right| = x + C_1. \quad (11)$$

При начальных условиях $x_0 = 0$ и $v_{дв0} = v_{арп} \sin \alpha$, постоянная интегрирования C_1 будет равна

$$C_1 = \frac{R}{2f_{тр} \sin^2 \psi} \ln \left| f_{тр} \frac{v_{дв0}^2 \sin^2 \psi}{R} - f_{тр} g \cos \psi + g \sin \psi + \frac{v_{окр}^2}{R} \right|. \quad (12)$$

Тогда формула (11) с учетом равенства (12) примет следующий вид:

$$\frac{R}{2f_{тр} \sin^2 \psi} \ln \left| f_{тр} \frac{v_{дв}^2 \sin^2 \psi}{R} - f_{тр} g \cos \psi + g \sin \psi + \frac{v_{окр}^2}{R} \right| = x + \frac{R}{2f_{тр} \sin^2 \psi} \times \\ \times \ln \left| f_{тр} \frac{v_{дв0}^2 \sin^2 \psi}{R} - f_{тр} g \cos \psi + g \sin \psi + \frac{v_{окр}^2}{R} \right|,$$

или

$$v_{дв}^2 = e^{\frac{2f_{тр} \sin^2 \psi}{R} x} \left(v_{дв0}^2 - \frac{Rg \cos \psi}{\sin^2 \psi} + \frac{Rg}{f_{тр} \sin \psi} + \frac{v_{окр}^2}{f_{тр} \sin^2 \psi} \right) + \frac{Rg \cos \psi}{f_{тр} \sin^2 \psi} - \frac{Rg}{f_{тр} \sin \psi} - \frac{v_{окр}^2}{f_{тр} \sin^2 \psi}.$$

Скорость частиц почвы в момент отрыва от кромки диска определим при условии $x = l$:

$$v_{дв} = \left(e^{\frac{2f_{тр} \sin^2 \psi}{R} l} \left[v_{дв0}^2 - \frac{Rg \cos \psi}{\sin^2 \psi} + \frac{Rg}{f_{тр} \sin \psi} + \frac{v_{окр}^2}{f_{тр} \sin^2 \psi} \right] + \frac{Rg \cos \psi}{f_{тр} \sin^2 \psi} - \frac{Rg}{f_{тр} \sin \psi} - \frac{v_{окр}^2}{f_{тр} \sin^2 \psi} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (13)$$

Подставив в формулу (13) равенства (2) и проведя ряд преобразований, получим:

$$v_{дв} = \left(e^{\frac{2f_{тр} \sin^2 (\varphi + \gamma)}{R} l} \left[v_{арп}^2 \sin^2 \alpha + \frac{Rg \cos (\varphi + \gamma)}{\sin^2 (\varphi + \gamma)} + \frac{Rg}{f_{тр} \sin (\varphi + \gamma)} + \frac{v_{окр}^2}{f_{тр} \sin^2 (\varphi + \gamma)} \right] - \frac{Rg \cos (\varphi + \gamma)}{f_{тр} \sin^2 (\varphi + \gamma)} - \frac{Rg}{f_{тр} \sin (\varphi + \gamma)} - \frac{v_{окр}^2}{f_{тр} \sin^2 (\varphi + \gamma)} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (14)$$

На основании полученной формулы можно определить скорость частицы почвы в момент отрыва от поверхности диска в зависимости от углов атаки и крена, геометрических параметров диска, скорости агрегата с учетом физико-механических свойств почвы.

Результирующую скорость в момент отрыва от поверхности диска можно определить по формуле

$$v_{рез} = \sqrt{v_{окр}^2 + v_{дв}^2}. \quad (15)$$

Учитывая зависимость ([8], с. 56), определим дальность отбрасывания частицы

$$x_{п} = \frac{v_{рез}}{2g} (v_{рез} \sin^2 (\varphi + \gamma) - \cos (\varphi + \gamma) \times \\ \times \sqrt{v_{рез}^2 \sin^2 (\varphi + \gamma) + 2gh}), \quad (16)$$

где h – расстояние от поверхности почвы до верхней кромки диска, м.

На рисунке 3 представлен график зависимости дальности отбрасывания частиц почвы дисковым предплужником от углов крена и атаки при неизменной силе трения и без учета взаимодействия частиц пласта (диаметр диска $d_d = 0,45$ м, радиус кривизны диска $R = 0,65$ м).

Из анализа полученного графика следует, что с увеличением углов крена γ и атаки α дальность отбрасывания частиц почвы увеличивается, причем большее влияние оказывает величина угла крена диска.

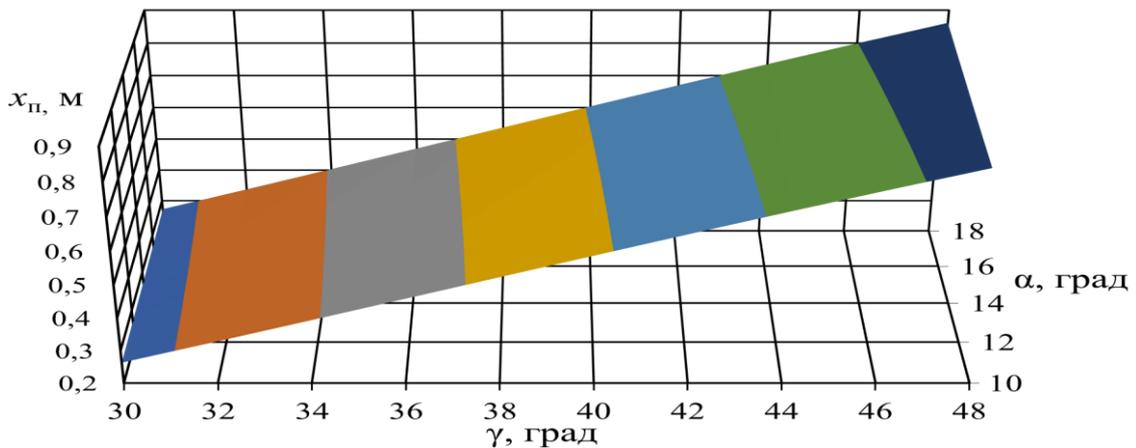


Рисунок 3. График зависимости дальности отбрасывания частиц почвы x_n дисковым предплужником от углов крена γ и атаки α

Заключение

Рассмотрен процесс движения почвенной части по рабочей поверхности дискового предплужника. При условиях отсутствия проскальзывания диска, постоянства скорости движения агрегата получены зависимости для определения кинематических параметров движения частиц почвы по поверхности сферического диска предплужника в зависимости от его конструктивных параметров и технологических параметров установки на раме плуга с учетом физико-механических свойств почвы. Отмечено, что на дальность отбрасывания почвенных частиц существенное влияние оказывают тип и состояние почвы, угол атаки, угол крена, диаметр диска и его радиус кривизны.

Данные зависимости позволяют на стадии проектирования обосновать рациональные параметры установки дисковых предплужников на раме плуга с целью обеспечения качественной вспашки различных агрофонов. Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых и усовершенствовании существующих конструкций плугов конструкторскими и техническими отделами предприятий сельскохозяйственного машиностроения, а также научных организаций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горячкин, В.П. Собрание сочинений: в 3 т. / В.П. Горячкин; под ред. Н.Д. Лучинского. – М.: Колос, 1965. – Т. 1. – 720 с.
2. Зимарин, С.В. Анализ движения почвенной частицы по поверхности дискового корпуса плуга / С.В. Зимарин, Н.А. Сердюкова // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3. – № 2-2 (13-2). – С. 128-132.
3. Искендеров, Э.Б. К исследованию энергетических показателей дискового плуга-рыхлителя / Э.Б. Искендеров // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 3 (77). – С. 98-100.

4. Нормирзаев, А.Р. Отбрасывание почвы сферическим дисковым предплужником / А.Р. Нормирзаев, Б.М. Нишонов // Вестник Науки и Творчества. – 2017. – № 1(13). – С. 86-90.

5. Летошнев, М.Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчет, проектирование и испытание / М.Н. Летошнев – М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1955. – 764 с.

6. Обзор рабочих органов дисковой борона / В.Д. Липин [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 2 (11). – С. 104-110.

7. Обоснование конструктивных параметров дискового плуга / С.Г. Руднев, И.А. Петунина, И.В. Вульшинская, М.Д. Сарксян // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 6 (92). – С. 137-141.

8. Проектирование катковых приставок для пахотных агрегатов. Рекомендации / И.С. Крук [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2017. – 104 с.

9. Романцов, Ю.Ф. Дисковый предплужник для заделки измельченной соломы в почву / Ю.Ф. Романцов, В.А. Пшеничный // Проблемы механизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства. – 2016. – № 10. – С. 220-222.

10. Сельскохозяйственные машины / А.В. Клочков [и др.]; под ред. Р.Я. Лифшица. – Минск: Ураджай, 1997. – 494 с.

11. Синеоков, Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 331 с.

12. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / В.И. Александров [и др.]; под ред. А.В. Красниченко. – М.: Машиностроение, 1961. – 864 с.

13. Физические основы механики почв / И.М. Панов, В.И. Ветохин. – К.: Феникс, 2008. – 266 с.

14. Чигарев, Ю.В. Математические основы механики почв: учеб. пособие / Ю.В. Чигарев, П.Н. Синкевич. – Минск: Технопринт, 2004. – 164 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 18.08.2022

УДК 621.313.33:004

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

М.А. Прищепов,

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

Е.М. Прищепова,

доцент каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ, канд. техн. наук

А.И. Зеленкевич,

ст. преподаватель каф. электроснабжения БГАТУ

В статье предложена методика определения диапазона регулирования скорости асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при частотном ее регулировании для вентиляторной нагрузки. Приведен анализ изменения потерь асинхронного двигателя при частотном регулировании скорости.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, диапазон регулирования скорости, жесткость механической характеристики, частотное регулирование, потери.

The article proposes the method for determining the speed control range of the induction motor with short-circuit rotor at frequency-controlled speed for fan load. The analysis of induction motor loss variation with frequency speed control is adduced.

Key words: induction motor, speed control range, rigidity of the speed-torque characteristic, frequency control, losses.

Введение

В статье [1] достаточно подробно рассмотрены вопросы, касающиеся диапазона регулирования скорости и потерь асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором при вентиляторной нагрузке и параметрическом регулировании скорости АД изменением напряжения питания обмоток его статора. Для сравнения эффективности методов изменения подачи воздуха вентилятором рассмотрим аналогичные вопросы при широко используемом в настоящее время частотном методе регулирования скорости АД с короткозамкнутым ротором для вентиляторной нагрузки.

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

Основная часть

Для достижения поставленной цели необходимо провести расчет и построение естественных и искусственных механических и электромеханических характеристик АД при изменении по определенному закону частоты и амплитуды напряжения

питания обмоток статора, а затем на механическую характеристику АД наложить механическую характеристику вентилятора. Для упрощения анализа, расчет характеристик АД можно вести при постоянных параметрах его схемы замещения (СЗ) определенных для рабочего участка характеристик, так как при частотном регулировании скорости АД и вентиляторной нагрузке установившийся режим работы будет на рабочем участке механической характеристики АД $M=f(\omega)$, т.е. в точке пересечения ее рабочего участка с механической характеристикой вентиляторной нагрузки $M_c=f(\omega)$.

Тогда по известным классическим выражениям, приведенным в работах [2-6], рассчитаем механические $\omega=f(M)$ и электромеханические $\omega=f(I_1)$ характеристики АД:

$$M = \frac{3U_1^2 r_2'}{\omega_0 \alpha s \left((x_1 + x_2')^2 \cdot \alpha^2 + \left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{r_1 r_2'}{s x_\mu \alpha} \right)^2 \right)}; \quad (1)$$

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2I_0 I_2' \sin \varphi_2}; \quad (2)$$

$$\omega = \omega_0 \alpha (1 - s); \quad (3)$$

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \cdot \alpha^2 + \left(\frac{r_1 r_2'}{s x_\mu \alpha}\right)^2}}; \quad (4)$$

$$I_0 = \frac{U_1}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_\mu)^2 \cdot \alpha^2}}; \quad (5)$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{x_1 + x_2'}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \cdot \alpha^2}}, \quad (6)$$

где M – момент, развиваемый АД, Н·м;
 U_1 – напряжение питания обмоток статора (фазное), В;

ω_0 – синхронная угловая скорость магнитного поля статора АД при номинальной частоте питающей сети, рад/с;

ω – угловая скорость ротора АД при определенном его скольжении, рад/с;

s – скольжение ротора АД, о.е.;

r_1 – активное сопротивление обмоток статора АД, Ом;

r_2' – активное сопротивление обмоток ротора АД, приведенное к обмотке статора, Ом;

x_1 – индуктивное сопротивление рассеяния фазных обмоток статора АД, Ом;

x_2' – индуктивное сопротивление рассеяния фазных обмоток ротора АД, приведенное к обмотке статора, Ом;

x_μ – индуктивное сопротивление ветви намагничивания СЗ АД, Ом;

I_1 – ток статора АД, А;

I_2' – расчетный ток обмотки ротора АД, приведенный к обмотке статора, А;

I_0 – намагничивающий ток АД, А;

$\sin \varphi_2$ – синус угла между вектором фазного напряжения питания обмоток статора и сопряженным вектором тока обмотки ротора АД, о.е.;

α – относительная частота напряжения питания обмоток статора, о.е.

Относительная частота напряжения питания обмоток статора вычисляется по формуле

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1н}}, \quad (7)$$

где $f_1, f_{1н}$ – регулируемая и номинальная частота напряжения питания обмоток статора АД, Гц.

Так как при частотном регулировании скорости АД для вентиляторной нагрузки используется, как правило, стандартный закон скалярного регулирования $U/f^2 = \text{const}$, означающий, что при любом значении ча-

стоты напряжения питания обмоток статора f_1 значение величины напряжения вычисляется по формуле

$$U_1 = \frac{U_{1н}}{f_1^2} f_1^2, \quad (8)$$

где $U_{1н}$ – номинальное напряжение питания обмоток статора АД, В.

Для определения установившейся угловой скорости АД на любой из его механических характеристик $\omega = f(M)$ при вентиляторной нагрузке запишем математическое выражение механической характеристики для вентилятора

$$M_c = M_0 + a_c \omega^x, \quad (9)$$

где M_0 – момент сил трения вентилятора, Н·м;

a_c – коэффициент, Н·м·с/рад;

x – показатель степени угловой скорости (для вентиляторов $x=2$).

Далее, приравнявая M и M_c выражений (1) и (9), с учетом выражения (3) из полученного равенства можно получить скольжение ротора АД s , соответствующее точке пересечения механических характеристик АД и вентилятора. Однако такое решение получить в общем виде достаточно сложно, и оно будет громоздким и неудобным в использовании при расчетах. Наиболее просто установившуюся скорость АД получить на естественной и искусственных механических характеристиках, если рабочие участки механических характеристик на отрезке скольжений между $s=0$ и критическим скольжением s_k описать уравнением прямой линии с использованием коэффициента жесткости k_β механической характеристики на этом отрезке скольжений $0 \dots s_k$.

Величины критического скольжения s_k и критического момента M_k получим известным методом из выражения (1), для чего продифференцируем его, т.е.

найдем $\frac{dM}{ds}$, а затем полученное выражение прирав-

няем к нулю. Тогда, решив полученное выражение относительно s_k , получим

$$s_k = r_2' \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{r_1}{x_\mu \alpha}\right)^2}{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2 \alpha^2}}. \quad (10)$$

Подставив выражение (10) вместо s в выражение (1) и проведя соответствующие преобразования, получим выражение критического момента

$$M_k = (3U_1^2) \times (2\omega_0 \alpha \times \left(r_1 + \sqrt{\left(r_1^2 + (x_1 + x_2')^2 \cdot \alpha^2 \right) \left(1 + \left(\frac{r_1}{x_\mu \alpha} \right)^2 \right)} \right))^{-1} \cdot (11)$$

Угловая критическая скорость АД ω_k при критическом скольжении его ротора s_k для различных ча-

стот напряжения питания обмоток статора f_1 будет определяться по формуле

$$\omega_k = \omega_0 \alpha (1 - s_k). \quad (12)$$

Далее запишем уравнение рабочего участка естественной механической характеристики АД

$$M(\omega) = k_\beta (\omega - \omega_0), \quad (13)$$

где коэффициент жесткости для рабочего участка естественной механической характеристики АД

$$k_\beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} = \frac{0 - M_H}{\omega_0 - \omega_0(1 - s_H)} = \frac{-M_H}{\omega_0 s_H}. \quad (14)$$

Учитывая, что при частотном регулировании скорости жесткость на рабочем участке искусственных механических характеристик АД $\omega=f(M)$ практически не меняется, т.е. остается такой же, как и на естественной характеристике, то аналогично выражению (13), можно записать уравнение рабочего участка искусственных механических характеристик АД при различной частоте напряжения питания обмоток его статора f_1 .

$$M(\omega) = k_\beta (\omega - \omega_0 \alpha). \quad (15)$$

Приравнявая M и M_c в выражениях (15) и (9) и решая их относительно скорости ω для конкретной частоты напряжения питания f_1 , получим точку пересечения механических характеристик АД и вентилятора и, соответственно, установившуюся скорость ω_y

$$M_0 + a_c \omega_y^2 = k_\beta (\omega_y - \omega_0 \alpha) \quad (16)$$

или

$$a_c \omega_y^2 - k_\beta \omega_y + M_0 + k_\beta \omega_0 \alpha = 0. \quad (17)$$

С учетом выражения (14)

$$a_c \omega_y^2 + \frac{M_H}{\omega_0 s_H} \omega_y + \left(M_0 - \frac{M_H \alpha}{s_H} \right) = 0. \quad (18)$$

Откуда

$$\omega_y = \frac{-\frac{M_H}{\omega_0 s_H} + \sqrt{\left(-\frac{M_H}{\omega_0 s_H} \right)^2 - 4a_c \left(M_0 - \frac{M_H \alpha}{s_H} \right)}}{2a_c}. \quad (19)$$

Полученная таким образом установившаяся скорость ω_y должна находиться на отрезке $\omega_0 \alpha - \omega_k$ механической характеристики АД для конкретной частоты напряжения питания f_1 .

Вычисление, построение и определение установившейся скорости ω_y АД и вентилятора будет проводиться при различных частотах f_1 на отрезке от $f_{1н}$ до 0 до тех пор, пока уравнение (19) будет иметь решение. Минимальное значение частоты f_1 , при которой выражение (19) будет иметь решение и будет определять нижнюю границу диапазона регулирования скорости при вентиляторной нагрузке. Верхнюю границу диапазона регулирования будет определять номинальная частота напряжения питания обмоток статора АД $f_{1н}$ при однозонном регулировании скорости или $f_1 > f_{1н}$ при двухзонном регулировании.

Все изложенное выше поясняет рисунок 1, на котором приведены естественные и искусственные механические характеристики АД $\omega=f(M)$ при различной

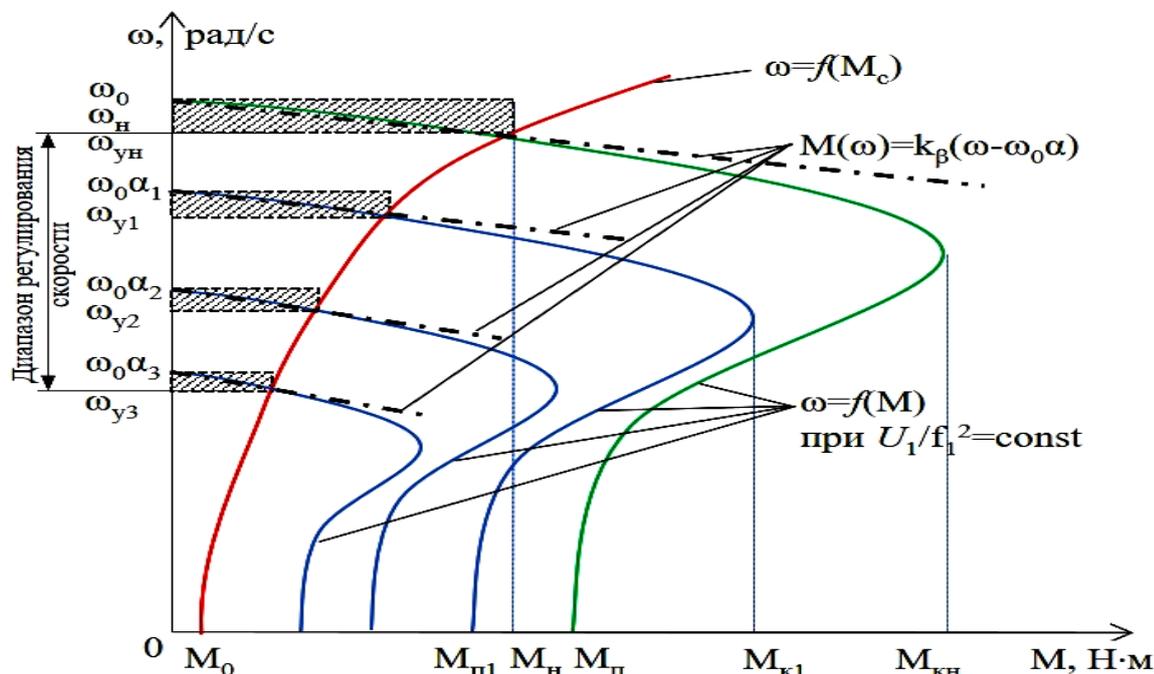


Рисунок 1. Естественная и искусственные механические характеристики АД $\omega=f(M)$ при различной частоте напряжения питания его обмоток статора f_1 для закона регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и механическая характеристика вентиляторной нагрузки $\omega=f(M_c)$ при $1 > \alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3 > 0$

частоте напряжения питания его обмоток статора и законе регулирования $U/f^2 = \text{const}$, а также механическая характеристика вентиляторной нагрузки $\omega = f(M_c)$.

Анализ полученных графических зависимостей (рис. 1) показывает, что частотное регулирование скорости АД при вентиляторной нагрузке обеспечивает широкий диапазон регулирования скорости, при этом с уменьшением частоты напряжение питания обмоток статора АД f_1 уменьшается, соответственно, и относительная частота, а также потери в обмотке ротора, которые эквивалентны площадям заштрихованных прямоугольников одной вершиной касающихся точек пересечения механических характеристик АД и вентилятора.

Для полной оценки энергоэффективности частотного регулирования скорости АД при вентиляторной нагрузке необходимо проанализировать суммарную мощность потерь ΔP в рассматриваемом электроприводе, состоящую из постоянных $\Delta P_{\text{пост}}$ и переменных $\Delta P_{\text{пер}}$ потерь [7,8]:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{пост}} + \Delta P_{\text{пер}}. \quad (20)$$

Постоянные потери мощности в АД включают потери в стали статора $\Delta P_{\text{ст1}}$, потери в стали ротора $\Delta P_{\text{ст2}}$, потери в обмотке статора от протекания намагничивающего тока ΔP_{μ} и механические потери $\Delta P_{\text{мех}}$:

$$\Delta P_{\text{пост}} = \Delta P_{\text{ст1}} + \Delta P_{\text{ст2}} + \Delta P_{\mu} + \Delta P_{\text{мех}}. \quad (21)$$

Потери в стали статора АД можно записать в виде

$$\Delta P_{\text{ст1}} = \Delta P_{\text{ст1н}} \left(\frac{\Phi}{\Phi_n} \right)^2 \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right)^m, \quad (22)$$

где $\Delta P_{\text{ст1н}}$ – потери в стали статора АД в номинальном режиме работы, Вт;

Φ , Φ_n – текущее и номинальное значение магнитного потока, Вб;

m – показатель степени, принимающий значения $m=1,3-1,5$ в зависимости от сорта электротехнической стали.

Потери в стали ротора пропорциональны аналогичным потерям в статоре $\Delta P_{\text{ст1}}$ и зависят от скольжения ротора АД s

$$\Delta P_{\text{ст2}} = \Delta P_{\text{ст1}} \cdot s^m. \quad (23)$$

Потери мощности от протекания намагничивающего тока I_0 по обмотке статора АД выразим следующим образом:

$$\Delta P_{\mu} = 3I_0^2 r_1 = 3I_{0н}^2 r_1 \left(\frac{\Phi}{\Phi_n} \right)^2 = \Delta P_{\mu н} \left(\frac{\Phi}{\Phi_n} \right)^2, \quad (24)$$

где $I_{0н}$ – намагничивающий ток в номинальном режиме работы АД, А;

$\Delta P_{\mu н}$ – потери мощности от намагничивающего тока в номинальном режиме работы АД, Вт.

Механические потери АД в большей степени определяются его вентилятором самоохлаждения,

поэтому принимают пропорциональными квадрату скорости

$$\Delta P_{\text{мех}} = \Delta P_{\text{мех н}} \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 \approx \Delta P_{\text{мех н}} \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2, \quad (25)$$

где $\Delta P_{\text{мех н}}$ – механические потери мощности в номинальном режиме работы АД, Вт.

Тогда в общем виде постоянные потери мощности равны

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{пост}} &= \Delta P_{\text{ст1н}} \left(\frac{\Phi}{\Phi_n} \right)^2 \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right)^m + \Delta P_{\text{ст1н}} \times \\ &\times \left(\frac{\Phi}{\Phi_n} \right)^2 \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right)^m s^m + \Delta P_{\mu н} \left(\frac{\Phi}{\Phi_n} \right)^2 + \\ &+ \Delta P_{\text{мех н}} \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 = \Delta P_{\text{ст1н}} \left(\frac{\Phi}{\Phi_n} \right)^2 \alpha^m \times \\ &\times (1 + s^m) + \Delta P_{\mu н} \left(\frac{\Phi}{\Phi_n} \right)^2 + \Delta P_{\text{мех н}} \alpha^2. \end{aligned} \quad (26)$$

Суммарные переменные потери АД можно определить, используя следующее выражение [8]:

$$\Delta P_{\text{пер}} = \Delta P_{\text{пер2}} \left(1 + \frac{r_1}{r_2'} \right), \quad (27)$$

где $\Delta P_{\text{пер2}}$ – переменные потери в роторе АД, Вт. Так как

$$\Delta P_{\text{пер2}} = M \omega_0 \alpha s, \quad (28)$$

то

$$\Delta P_{\text{пер}} = M \omega_0 \alpha s \left(1 + \frac{r_1}{r_2'} \right). \quad (29)$$

Из анализа приведенных выражений постоянных (26) и переменных (29) потерь АД очевидно, что при частотном регулировании скорости АД составляющие постоянных потерь $\Delta P_{\text{пост}}$ будут зависеть от их значений при номинальном режиме работы АД, а также от относительного изменения магнитного потока возбуждения двигателя Φ/Φ_n , изменения относительной частоты напряжения питания обмоток статора α , а постоянные потери в стали ротора $\Delta P_{\text{ст2}}$ от его скольжения s .

Переменные же потери $\Delta P_{\text{пер}}$ АД будут зависеть от значений момента M , синхронной угловой скорости магнитного поля статора ω_0 , относительной частоты напряжения питания обмоток статора α , скольжения ротора s и соотношения активных сопротивлений статора и ротора АД $\frac{r_1}{r_2'}$.

Учитывая, что магнитный поток АД

$$\Phi = \frac{E_1}{Kf_1} \approx \frac{U_1}{Kf_1}, \quad (30)$$

где E_1 – ЭДС обмоток статора АД, В;
 K – конструктивный коэффициент, о.е.

Тогда из анализа выражения (26) очевидно, что при постоянном магнитном потоке возбуждения АД, т.е. $\Phi = \Phi_n$, а это, как правило, обеспечивается при регулировании скорости, магнитный поток Φ не будет влиять на постоянные потери, а при уменьшении или увеличении магнитного потока они будут, соответственно, уменьшаться или увеличиваться.

Аналогично, изменения относительной частоты напряжения питания обмоток статора α и скольжения s АД влияют, как на постоянные, так и на переменные потери.

Заключение

1. Использование частотного регулирования скорости АД при вентиляторной нагрузке обеспечивает электроприводу широкий диапазон регулирования скорости при высокой статической устойчивости.

2. Однозонное частотное регулирование скорости АД при законе регулирования $U/f^2 = \text{const}$ и изменении относительной частоты напряжения питания обмоток статора α от 1 до 0,1 приводит, соответственно, к уменьшению как постоянных $\Delta P_{\text{пост}}$, так и переменных $\Delta P_{\text{пер}}$ потерь АД.

3. Так как при вентиляторной нагрузке и частотном регулировании скорости АД, скольжение его ротора s практически не изменяется, то для упрощения анализа потерь, в расчетах можно использовать $s = s_n$.

4. При двухзонном регулировании скорости АД для вентиляторной нагрузки, во второй зоне регулирования относительное изменение магнитного потока Φ/Φ_n будет уменьшаться, а относительная частота α будет увеличиваться, это расширяет диапазон регулирования скорости, но затрудняет анализ изменения постоянных потерь $\Delta P_{\text{пост}}$ и приводит к необходимости увеличения мощности АД.

5. Использование частотного регулирования скорости АД при вентиляторной нагрузке и законе регулирования $U/f = \text{const}$ приводит к необоснованному увеличению как постоянных $\Delta P_{\text{пост}}$, так и переменных

$\Delta P_{\text{пер}}$ потерь АД, что в конечном итоге снижает энергоэффективность электропривода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Прищепов, М.А. К вопросу о диапазоне регулирования скорости и потерях асинхронного двигателя при вентиляторной нагрузке и параметрическом регулировании скорости / М.А. Прищепов // Агропанорама. – 2022. – № 3 (151). – С. 29-38.

2. Дементьев, Ю.Н. Автоматизированный электропривод: учеб. пособие / Ю.Н. Дементьев, А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев. – Томск: ТПУ, 2009. – 224 с.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. Ключев, В.И. Теория электропривода: учеб. для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. / В.И. Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.

8. Фираго, Б.И. Теория электропривода: учеб. пособие / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн: ЗАО «Техноперспектива», 2004. – 527 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 10.08.2022

УДК 629.11

СПЕКТРАЛЬНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ЭЛЕМЕНТОВ ДИЗЕЛЯ

О.Ч. Ролич,

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

В.Е. Тарасенко,

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

Д.А. Михаевич,

директор ООО «АКСОНИМ»

А.А. Жешко,

*вед. науч. сотр. сектора эксплуатационно-экономической оценки машин
РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук, доцент*

В статье раскрыты этапы спектрально-статистического анализа виброакустических сигналов элементов дизеля при испытании в лаборатории технического сервиса топливной аппаратуры и агрегатов гидросистем на стенде CR Jet-4E.

Ключевые слова: двигатель, датчик, сигнал, режим, спектр, дефект.

The article describes the stages of spectral-statistical analysis of vibro-acoustic signals of diesel engine elements during testing in maintenance laboratory for fuel equipment and hydraulic system units on the CR Jet-4E test bench.

Key words: engine, sensor, signal, mode, spectrum, defect.

Введение

Автоматизированная диагностика изнашивающихся транспортных или промышленных ключевых узлов и механизмов, непосредственно влияющих на безопасность и работоспособность в процессе их эксплуатации, представляет собой сложную и актуальную задачу. Широкое применение в ее решении находят методы виброакустической диагностики на основе анализа спектрограмм и скейлограмм сигналов вибродатчиков и микрофонов [1-3; 11].

Существенный вклад в развитие виброакустической диагностики внесли ученые – Горелик А.Л., Биргер И.А., Барков А.В., Баркова Н.А., а также белорусские ученые – Бранцевич П.Ю., Костюк С.Ф., Давыдов И.Г., Кечик Д.А., Асламов Ю.П. и др. [4, 5]. Основной направленностью их исследований является диагностика роторного оборудования, в частности, подшипников качения и зубчатых приводов.

Решение задачи автоматизированной диагностики узлов дизельных двигателей на базе разработанной авторами многоканальной интегрированной системы [6] с учетом распознавания в аналитическом ансамбле образов виброакустических сигналов изображений дефектов, алгоритм которого описан в источниках [7-9], сопровождается следующими основополагающими этапами:

1. Детектирование в принимаемом виброакустическом сигнале спектральной нестационарности, обусловленной вероятным проявлением дефекта.

2. Анализ спектрального образа участка сигнала, содержащего фрагмент с вероятной нестационарностью, по совокупности метрических характеристик, таких как энергетический центр, цепной код, периметр, площадь, коэффициент толщины и иных параметров, по сути описывающих форму спектрального образа гипотетического дефекта [8].

3. Линеаризация процесса с выделением фрагментом нестационарности, вычисление и анализ серии передаточных функций и импульсных характеристик, начиная от момента проявления нестационарности.

4. Принятие решения о наличии дефекта.

Целью настоящей работы является разработка научно-обоснованных предпосылок для создания надежного автоматизированного комплекса, способного детектировать, распознавать и идентифицировать дефекты элементов двигателя.

Основная часть

Спектральная нестационарность исследуемого процесса обусловлена ее проявлением хотя бы в одном частотном диапазоне. Поэтому при ее детектировании анализируются спектрограммы изменений во времени амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) виброакустического сигнала на всех частотных диапазонах.

Так, на рисунке 1 представлена палитризованная спектрограмма сигнала MEMS-акселерометра как цифрового датчика виброускорения, установленного непосредственно на корпусе дизельной форсунки

CRIN2, работающей на испытательном стенде CR Jet-4E в режиме VE тестирования предварительного впрыска топлива под давлением 158 бар [10].

Исходя из рисунка 1, можно сделать вывод о том, что процесс функционирования элемента дизельной форсунки, соответствующий произвольно выбранному частотному диапазону, например, 1, 2 или 3, является квазипериодическим и стационарным. В частности, это подтверждается как изменением АЧХ, так и спектрограммами для частотных диапазонов 1 – 3 (рис. 1), результат которых изображен на рисунке 2.

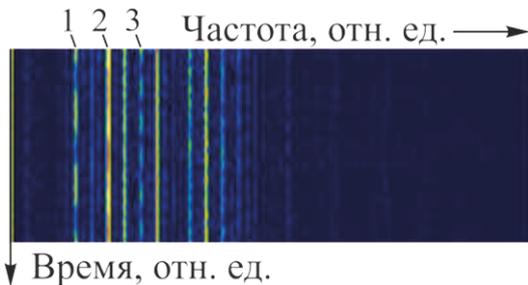


Рисунок 1. Вариант спектрограммы сигнала виброускорения для дизельной форсунки CRIN2, снятого MEMS-акселерометром на испытательном стенде CR Jet-4E

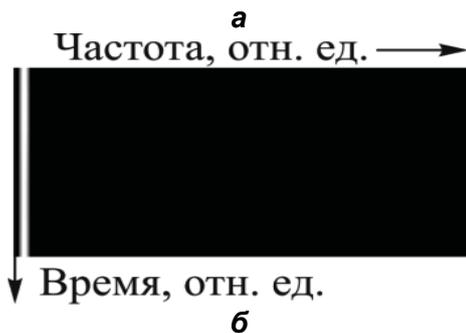


Рисунок 2. Изменение во времени фрагмента АЧХ (а) и спектрограмма (б) для указанного на рисунке 1 частотного диапазона 2 сигнала виброускорения

Следует отметить, что во всех оконных преобразованиях и приведенных спектральных образах используется окно Хэмминга, благодаря чему формируется практически идеальная спектрограмма на рисунке 2б для сигнала на рисунке 2а, представляющего

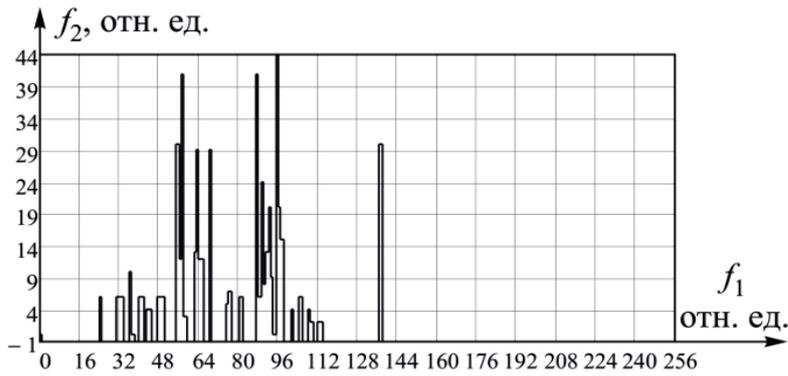
собой изменение во времени амплитуды частотного диапазона 2 исходной спектрограммы рисунка 1 или, иными словами, изменение яркости линии 2 в изображении рисунка 1 по вертикали, т.е. в зависимости от номера строки.

В предположении того, что для спектрально стационарного процесса, к которому относится практически любой процесс, протекающий в дизельной аппаратуре, спектральная форма составляющих виброакустического сигнала в каждом частотном диапазоне спектрограммы остается квазинеизменной (в частотном диапазоне спектрограммы меняется лишь начальная фаза, а непосредственная зависимость претерпевает циклический сдвиг без существенного изменения формы), в детектировании нестационарности предлагается применять корреляционный анализ множества координат максимумов АЧХ (т.е. доминирующих частот) временных зависимостей для каждого частотного диапазона спектрограммы. Координаты максимумов АЧХ при этом вычисляются с учетом порога: если значение максимума АЧХ выше порогового, то результатом является координата максимума, в противном случае – произвольное отрицательное число, например, минус единица.

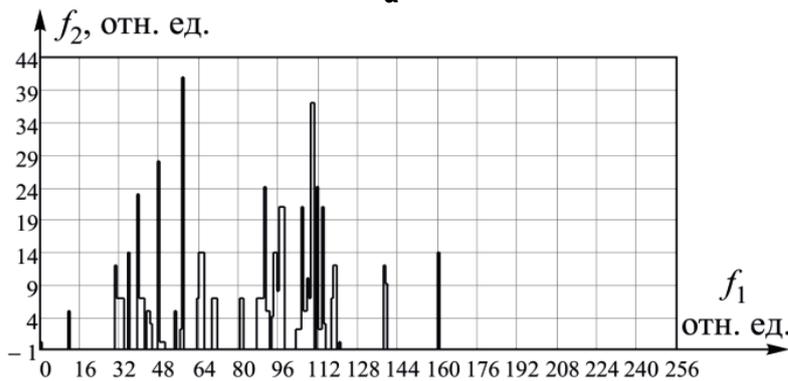
На рисунке 3 приведены графики множеств координат максимумов АЧХ (доминирующих частот) временных зависимостей для каждого частотного диапазона спектрограммы сигнала виброускорения с учетом пороговой обработки, для неизношенной и изношенной форсунок CRIN2, работающих на испытательном стенде CR Jet-4E в режиме VE тестирования предварительного впрыска топлива под давлением 158 бар.

На рисунке 3 f_1 – это частота в исходной спектрограмме, идентичная по смыслу параметру «частоты» на рисунке 1, f_2 – доминирующая частота временной зависимости для определенного частотного диапазона спектрограммы. В данной статье результаты приводятся для количества частотных диапазонов, равного 256. Ширина отдельного диапазона примерно равна 3 Гц. Поэтому ширина изображения спектрограммы на рисунке 1 равна 256 пикселям, а f_1 на рисунке 3 варьируется от 0 до 256.

Из рисунка 3 следует, что ширина спектра вибрационных процессов в изношенной форсунке больше ширины спектра аналогичных процессов в неизношенной форсунке. Таким образом, по мере работы форсунки и ее износа ширина спектра протекающих в ней вибрационных процессов увеличивается. Поэтому при диагностировании дизельной аппаратуры ширину спектра виброакустического



а



б

Рисунок 3. Множества доминирующих частот временных зависимостей для частотных диапазонов спектрограммы сигнала виброускорения у неизношенной (а) и изношенной (б) форсунки CRIN2

сигнала следует использовать в качестве одного из контролируемых параметров.

Резкое изменение множества доминирующих частот обуславливает вероятную нестационарность и влечет за собой переход ко второму этапу автоматизированной диагностики – этапу анализа спектрального образа участка сигнала, содержащего фрагмент вероятной нестационарности. В этом случае спектрограмма, как матрица, интерпретируется в виде полутонового изображения, к которому применяются стандартные методы цифровой обработки изображений [7-9]. Область вероятной нестационарности изображения спектрограммы сегментируется с последующим вычислением множества метрических параметров для каждого сегмента. Значительная часть метрических параметров является интегральными оценками вероятностных характеристик распределения яркости в выделенных сегментах полутонового изображения, вплоть до четвертого порядка. В результате формируются векторы признаков, описывающие отдельные сегменты области вероятной нестационарности, которые корреляционным методом сравниваются со всеми аналогичными векторами, хранящимися в базе данных дефектов. При коэффициенте корреляции выше 0,93 вероятная нестационарность приобретает достоверность, а составляющие ее изображение сегменты переходят в разряд спектральных образов гипотетических дефектов.

Особый интерес представляет мерцательная нестационарность, сопровождающаяся повторяющимися кратковременными проявлениями дефектов в момент их зарождения. Множество метрических параметров зарождающихся дефектов во время их развития способно претерпевать изменения врезрез с базой данных, что может привести к неудовлетворительным значениям коэффициента корреляции и принятию ошибочных или несвоевременных решений в идентификации дефектов. В таких случаях с целью моделирования эволюции спектральных образов дефектов предлагается использовать методы прогнозирования, в частности, линейное предсказание на основе машинного обучения. Линейное предсказание позволит своевременно и с высокой достоверностью идентифицировать дефект, переведя его из ранга гипотетического в идентифицированный. При этом временной фрагмент сигнала с нестационарностью линейаризуется, и на каждом шаге, совместно с метрическими параметрами, вычисляются передаточная функция и импульсная характеристика процесса. Также уточняются их усредненные (или взвешенные) зависимости и оцениваются гистограммы распределения периода и длительности появления нестационарности, ее скважности.

При линейаризации мгновенная временная передаточная функция на протяжении выявленной нестационарности рассчитывается как отношение спектра последующей K -й сигнальной выборки к спектру предыдущей $(K - 1)$ -й выборки [7]

$$H_K(n) = \frac{\Phi(f_K)}{\Phi(f_{K-1})}, \quad (1)$$

где H – длина сигнальной выборки);

n – номер гармоники ($n = 0, 1, \dots, N/2$);

f_K и f_{K-1} – соответственно, следующая и предыдущая сигнальные выборки;

Φ – оператор быстрого преобразования Фурье.

Вид временной передаточной функции в течение действия нестационарности меняется, и ее образ удобно отобразить в виде спектрограммы. Множество вычисленных при этом импульсных характеристик усредняется с учетом весовой кривой.

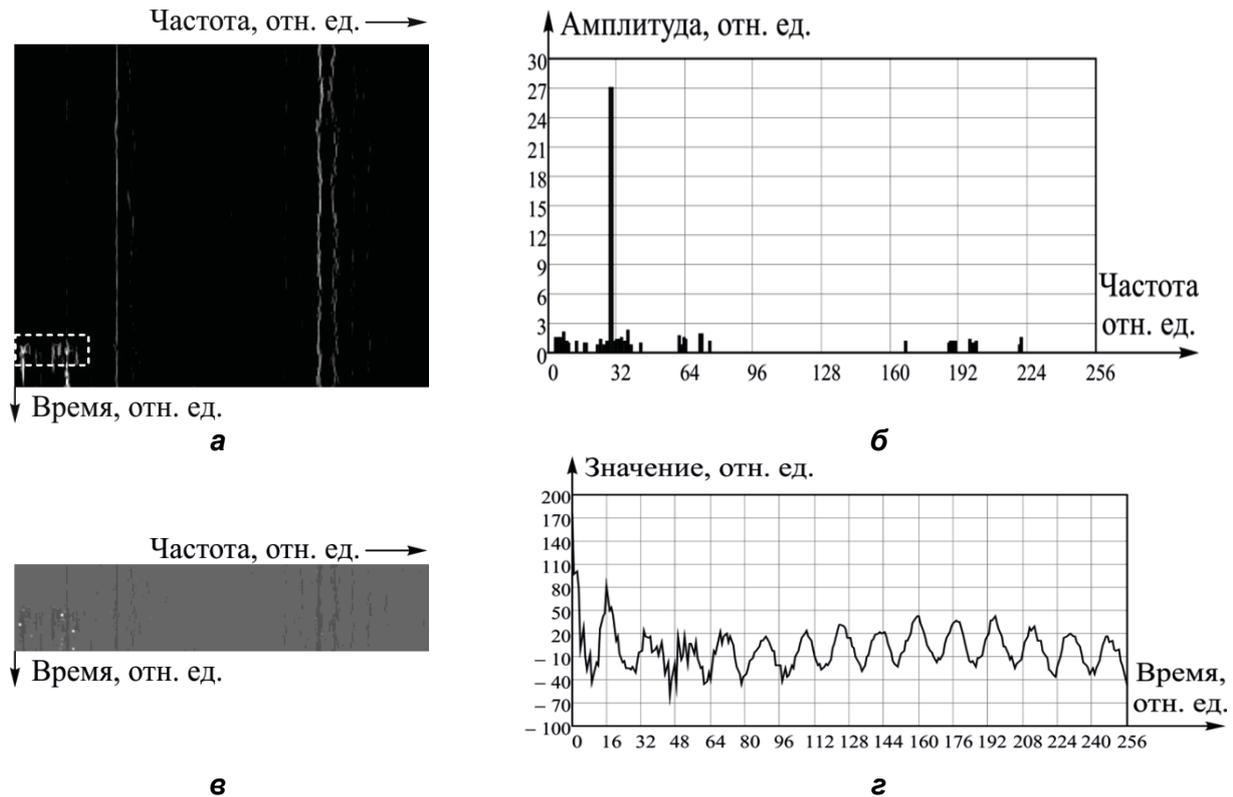


Рисунок 4. Результаты обработки фрагмента вибросигнала с нестационарностью:
 а – исходная спектрограмма с выделенной нестационарностью;
 б – АЧХ одной из передаточных функций в течение проявления нестационарности;
 в – спектрограмма нестационарности;
 г – импульсная характеристика, усредненная по времени действия нестационарности

Так, на рисунке 4а изображена спектрограмма с нестационарностью вибрационного процесса в стенде CR Jet-4E с установленным на испытываемой форсунке CRIN2 вибродатчиком – MEMS-акселерометром. Нестационарность обусловлена изменением режима работы стенда (переходным режимом). На рисунке 4б представлена АЧХ одной из множества вычисленных по формуле (1) временных передаточных функций; на рисунке 4в – спектрограмма нестационарности; на рисунке 4г – импульсная характеристика, усредненная (т.е. взвешенная с учетом весовой кривой) по времени действия нестационарности.

На спектрограмме нестационарности рисунка 4в, представляющей обработанный по формуле (1) фрагмент исходной спектрограммы рисунка 4а, видны небольшие светлые области округлой формы, определяющие моменты возможного детектирования нестационарности, как по отдельным частотам (примерно 3, 30 и 37 гармоники), так и в целом. В частности, в АЧХ на рисунке 4б одной из временных передаточных функций, связанных с нестационарностью, отчетливо выделяется 30-я гармоника, которая также просматривается и в спектрограмме нестационарности на рисунке 4в и в результирующей усредненной импульсной характеристике на рисунке 4г.

Заключение

Исходя из проведенных исследований и представленных в данной статье результатов, в качестве основного вывода следует отметить особую важность первых двух этапов предлагаемого обобщенного алгоритма, а именно: надежного автоматизированного детектирования нестационарности с последующим ее анализом. В связи с этим, дополнительно предлагается использовать комбинированную двунаправленную временную передаточную функцию с частотно-полосовой интеграцией квазилинейных участков спектрограммы, а для оценки остаточного ресурса – степень нелинейности частотных полос в спектрограмме сигнала квазистационарного процесса, наряду с шириной спектра.

Ожидается, что предлагаемый обобщенный алгоритм автоматизированной диагностики узлов дизеля на базе многоканальной интегрированной системы [6] с возможностью детектирования нестационарности, распознавания в спектрограмме виброакустических сигналов образов дефектов и моделирования их эволюции с помощью линейного предсказания на базе машинного обучения, повысит точность идентификации дефекта с момента его зарождения в масштабе реального времени и позволит существенно продлить эксплуатационный ресурс дизельных двигателей.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ
ИСТОЧНИКОВ**

1. Управление надежностью сельскохозяйственной техники методами диагностики и триботехники [Текст] / В.П. Миклуш [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2019. – 392 с.

2. Ролич, О.Ч. Интегрированная система виброакустической и тепловой диагностики систем, узлов и механизмов дизельного двигателя на базе беспроводной mesh-сети [Текст] / О.Ч. Ролич, В.Е. Тарасенко, И.И. Балаш // Агропанорама. – 2019. – № 6. – С. 38-41.

3. Акутин, М.В. Метод контроля состояния подшипников качения на основе сравнения вейвлет скейлограмм: дисс. ... канд. техн. наук: 05.11.13 / М.В. Акутин; Казанский гос. энергетический ун-т. – Казань, 2009. – 132 с.

4. Зубко, А.И. Комплексная методика виброакустической диагностики технического состояния подшипниковых опор газотурбинных двигателей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.07.05 / А.И. Зубко; ГБОУВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». – Москва, 2020. – 21 с.

5. Бранцевич, П.Ю. Применение примеров решений задач вибродиагностики при изучении алгоритмов цифровой обработки сигналов / П.Ю. Бранцевич, В.Э. Базаревский // Исследования наукограда. – 2013. – № 1(3). – С. 49-55.

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

дизельных двигателей / О.Ч. Ролич, В.Е. Тарасенко // Агропанорама. – 2019. – № 5. – С. 42-45.

7. Ролич, О.Ч. Алгоритмы обработки сигналов в интегрированной системе виброакустической и тепловой диагностики дизельной аппаратуры / О.Ч. Ролич, В.Е. Тарасенко, Д.А. Михаевич // Агропанорама. – 2020. – № 6 – С. 38-41.

8. Способ идентификации дефектов двигателя внутреннего сгорания транспортной или тяговой машины: пат. 23682 Респ. Беларусь, МПК6 G01/ М 15 /00, G06К 9/62 / В.Е. Тарасенко, О.Ч. Ролич; заявитель Белор. гос. аграрн. техн. ун-т. – № а 20200037; заявл. 03.02.2020; опубл. 30.04.2022.

9. Тарасенко, В.Е. Способ идентификации дефектов двигателя внутреннего сгорания транспортной или тяговой машины: пат. 23704 Респ. Беларусь, МПК6 G01/М 15/00 / В.Е. Тарасенко, О.Ч. Ролич; заявитель Белор. гос. аграрн. техн. ун-т. – а 20200084; заявл. 12.03.2020; опубл. 30.04.2022.

10. Жешко, А.А. Диагностирование многоканальной измерительной системой с гибкой структурой форсунок фирмы BOSCH / А.А. Жешко, В.Е. Тарасенко, О.Ч. Ролич, А.В. Дунаев // Технический сервис машин. – 2021. – Т. 59 – № 1 (142). – С. 55-64.

11. Омесь, Д.В. Вейвлет-преобразования в виброакустической диагностике механических систем / Д.В. Омесь // Содружество наук: материалы X Междунар. науч.-практич. конф. молодых исследователей, Барановичи, 22 – 23 мая 2014 г.: в 2 кн. – Барановичи: Барановичский государственный университет, 2014. – Кн. 2. – С. 25-28.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 10.08.2022

Навесной оборотный плуг ПНО-3-40/55



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

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

гов.

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

Основные технические данные

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

УДК 631.331.022

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИН ДЛЯ МЕХАНИЗАЦИИ ИНТЕНСИВНОГО САДОВОДСТВА

П.П. Казакевич,

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

А.Н. Юрин,

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

В статье рассмотрен вопрос определения границ экономической эффективности различных агрегатов для механизации наиболее трудоемких процессов возделывания интенсивных садов, таких как уборка плодов и ягод, обрезка деревьев, утилизация обрезанных веток и сортировка плодов, в природно-производственных условиях Республики Беларусь.

Ключевые слова: сады интенсивного типа, ручной труд, механизация, уборка плодов, обрезка деревьев, сортировка плодов, утилизация веток, затраты труда, себестоимость, экономическая эффективность, плодородная платформа, ягодоуборочный комбайн, измельчитель веток, потери урожая, агротехнические сроки.

The article deals with the problem of determining the limits of economic efficiency of various mechanization units for the most labor-intensive processes of orchard cultivation, including fruit and berries harvesting, tree trimming, disposal of cut-off branches and fruit grading in natural production conditions of the Republic of Belarus.

Key words: intensive orchards, manual labor, mechanization, fruit harvesting, tree trimming, fruit grading, disposal of branches, labor costs, prime cost, economic efficiency, fruit harvesting platform, berry harvester, shredder, crop losses, agro technical terms..

Введение

Постоянное повышение уровня технической оснащённости сельскохозяйственных процессов объясняется стремлением снизить до минимума затраты на проведение технологических операций и повысить производительность труда. Особенно это актуально для садоводства, как наиболее трудоемкой отрасли сельского хозяйства, где уровень механизации не превышает 15-20 % [1-6]. При выполнении технологических операций один и тот же агрегат может быть эффективным при одном объеме работ и недостаточно эффективным – при других.

Выполнение технологических операций в садоводстве возможно как с применением ручного труда, так и с использованием машинно-тракторных агрегатов различной производительности. Обоснование выбора способа выполнения операций проводилось на основе анализа удельных затрат при различной годовой наработке. При выборе агрегатов для проведения уборочных работ учитывались также потери урожая вследствие нарушения агротехнических сроков.

Повышение производительности достигается, в основном, за счет увеличения ширины захвата машин и рабочей скорости их движения, что приводит к росту массы, усложнению машин, и в конечном итоге – увеличению удельных затрат на их эксплуатацию и себестоимость производимой продукции. В то же время нарушение агротехнических сроков проведения сель-

скохозяйственных работ приводит к увеличению потерь и недобору урожая. Таким образом, определение экономической эффективности применения различных средств механизации интенсивного садоводства является актуальной агроинженерной задачей.

Изучению данного вопроса посвящены труды ученых – Пиуновского И.И., Матвеева И.Н., Спириданчука Н.В, Щитова С.В., Саклакова Д.В., Гаспарского В.А. и др. [7-12].

Цель настоящей работы – обосновать применение средств механизации для интенсивного садоводства Беларуси в зависимости от объема годовой наработки и потерь урожая от несоблюдения агротехнических сроков проведения операций.

Основная часть

Технология возделывания интенсивного яблоняного сада [13] предусматривает выполнение 42 технологических операций. Затраты и необходимое количество рабочих для различных операций неравномерны. Наиболее затратными являются операции по уборке плодов и транспортировке урожая из сада, обрезке деревьев, сортировке плодов, а также утилизации обрезанных веток.

Данные операции выполняются или целиком вручную, или с минимальным использованием простейших средств механизации, что негативно сказывается на производительности труда по каждой операции

и себестоимости производства конечного продукта.

Очевидно, что именно эти операции в значительной мере определяют качество получаемого продукта и его конкурентоспособность на рынке.

В настоящее время существуют средства механизации, способные уменьшить количество ручного труда на выполнении данных операций и снизить затраты на их проведение. Однако применение дорогостоящих и технически сложных машин также может негативно сказаться на себестоимости производимой продукции.

В этой связи проведено экономическое обоснование применения технических средств для механизации возделывания многолетних насаждений, применение которых позволило бы минимизировать затраты труда и себестоимость производства плодовой продукции [11, 12].

Минимизация затрат на производство механизированных работ зависит от многих факторов, которые можно представить уравнением удельных затрат

$$I = B + \frac{A}{W_{\text{сез}}}, \quad (1)$$

где I – удельные затраты, руб/га;

B – пропорциональные затраты, руб/га;

A – условно-постоянные затраты, руб.;

$W_{\text{сез}}$ – сезонный объем данной работы, выполняемый машинно-тракторным агрегатом, га;

$\frac{A}{W_{\text{сез}}}$ – удельные условно-постоянные затраты.

Если одну и ту же работу можно выполнить двумя способами, то необходимо определить границы наиболее эффективного применения этих способов.

Так, уборку ягод смородины, аронии можно осуществлять посредством однорядного (VICTOR, фирма «Weremczuk» – Республика Польша) или полурядного комбайна (БЕЛАРУС-321+JAREK 5, фирма «Jagoda» – Республика Польша).

Удельные затраты по двум способам можно представить в виде следующих функций:

$$I_1 = \frac{A_1}{W_{\text{сез}}} + B_1; \quad (2)$$

$$I_2 = \frac{A_2}{W_{\text{сез}}} + B_2. \quad (3)$$

Решая эту систему уравнений, получаем

$$I = \frac{A_1 B_2 - A_2 B_1}{A_1 - A_2}, \quad (4)$$

что записывается как частное определителей

$$I = \frac{\begin{vmatrix} A_1 B_1 \\ A_2 B_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} A_1 & 1 \\ A_2 & 1 \end{vmatrix}}. \quad (5)$$

Таким же образом находим

$$W_{\text{сез}} = \frac{A_1 - A_2}{B_2 - B_1}, \quad (6)$$

или в форме определителей

$$W_{\text{сез}} = \frac{\begin{vmatrix} A_1 & 1 \\ A_2 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & B_1 \\ 1 & B_2 \end{vmatrix}}. \quad (7)$$

Система уравнений (2) и (3) имеет решение при условии

$$\begin{vmatrix} A_1 & 1 \\ A_2 & 1 \end{vmatrix} \neq 0; \quad \begin{vmatrix} 1 & B_1 \\ 1 & B_2 \end{vmatrix} \neq 0.$$

Ее решением является точка P с координатами $W_{\text{сез } p}$ и I_p , являющаяся точкой пересечения двух функций. В ней выполняется условие $I_1 = I_2$, т.е. при объеме работы W_p оба способа уборки равнозначны.

Точка P является точкой границ применения обоих методов. Исходя из того, что функции уравнений (2) и (3) непрерывны во всей области их существования, то достаточно исследовать их поведение в одном интервале.

Проводя исследование в интервале I , достаточно найти, для какого метода удельные затраты при объеме работы $W_{\text{сез}} = 1$ будут наименьшими, т.е.

$$I_1 = A_1 + B_1, \quad (8)$$

$$I_2 = A_2 + B_2. \quad (9)$$

Если $U_1 > U_2$, в интервале Π более экономичен метод 2, то в интервале I – метод 1.

В развернутой форме функции (2) и (3) можно представить в следующем виде:

$$I_1 = \sum \frac{A_1}{W_{\text{сез}}} \alpha_1 + R_{\text{кр}1} + \sum R_{\text{тр,то}1} + Z_1 + F_1; \quad (10)$$

$$I_2 = \sum \frac{A_2}{W_{\text{сез}}} \alpha_2 + R_{\text{кр}2} + \sum R_{\text{тр,то}2} + Z_2 + F_2; \quad (11)$$

$$B_1 = R_{\text{кр}1} + \sum R_{\text{тр,то}1} + Z_1 + F_1; \quad (12)$$

$$B_2 = R_{\text{кр}2} + \sum R_{\text{тр,то}2} + Z_2 + F_2, \quad (13)$$

где α – норма амортизационных отчислений;
 $R_{\text{кр}}$ – отчисления на капитальный ремонт, руб/га;
 $R_{\text{тр,то}}$ – отчисления на текущий ремонт и техническое

обслуживание, руб/га;

Z – заработная плата механизатора, руб/га;

F – стоимость топлива, руб/га.

Определяем значения сезонной наработки $W_{сез}$, затраты на которую в случае использования обоих способов будут равными, т.е. при $I_1 = I_2$.

Данное условие, как было определено выше, выполняется в случае соблюдения равенства

$$W_{сез} = W_{сез p} = \frac{A_1 - A_2}{B_2 - B_1}, \quad (14)$$

или

$$W_{сез p} = (A_1 - A_2) \times \left((R_{кр2} + \sum R_{ТР,ТО_2} + Z_2 + F_2) - (R_{кр1} + \sum R_{ТР,ТО_1} + Z_1 + F_1) \right)^{-1}. \quad (15)$$

Далее определяем

$$A_1 = Cб_1 \alpha_1 \gamma_1 + Cб_2 \alpha_2 \gamma_2; \quad (16)$$

$$A_2 = Cб_3 \alpha_3 \gamma_3, \quad (17)$$

где $Cб_1$ – балансовая стоимость трактора БЕЛАРУС-321, руб;

$Cб_2$ – балансовая стоимость комбайна JAREK 5, руб;

$Cб_3$ – балансовая стоимость самоходного комбайна VICTOR, руб;

γ – удельный вес работы в годовом объеме выполняемых работ.

Подставляя в уравнения значения составляющих, получим, что оба способа уборки ягод будут равноценны при сезонной наработке, равной 60 га (рис. 1).

То есть, до сезонной наработки в 60 га экономически целесообразнее на уборке ягод применять полурядный ягодоборочный комбайн типа JAREK 5 в агрегате с трактором БЕЛАРУС-321, а при наработке более 60 га – использовать однорядный самоходный комбайн VIKTOR.

Проведем аналогичные расчеты эффективности применения для операций уборки плодов семечковых

культур, сортировки яблок, обрезки деревьев и утилизации обрезанных веток.

Уборка плодов традиционно проводится вручную. Производительность труда при таком способе составляет 0,1 т/ч. Производительность уборки плодов при использовании ягодоборочных платформ Munckhof Pluck-o-Track составит 0,25-0,35 т/ч на каждого сборщика, то есть в 2,5-3,5 выше.

Сортировка плодов ручным способом также имеет низкую производительность труда (0,6-0,1 т/см). Автоматизированная сортировка плодов посредством технических линий позволяет получить производительность в 2,0-3,0 раза выше. Так, линия голландского производства Aweta rollerstar CV-C3.1-7+1 обеспечивает производительность труда 2,5 т/ч. Стоимость такой линии составляет 150-200 тыс. евро, а количество обслуживающего персонала – 7 человек.

Значительные затраты средств и труда при возделывании многолетних насаждений затрачиваются на ежегодную обрезку деревьев и утилизацию обрезанных веток [1].

Традиционно обрезка деревьев выполняется вручную, однако существуют средства механизации, облегчающие детальную обрезку, с применением пневмосекаторов, установленных на специализированных самоходных платформах типа Pluck-o-Track фирмы «Munckhof» – Нидерланды и др. [14-18]. Технология утилизации веток со сгребанием (БЕЛАРУС-921 с волокушей ВСН-2,5), погрузкой (Амкодор-352С-02) и вывозом за пределы сада древесных отходов (БЕЛАРУС-921 с прицепом 2ПТС-6) также весьма трудоемка и требует большого количества ручного труда вспомогательных рабочих при выполнении операций сволокивания веток. При этом использование специальной машины типа Perfect 116-180 позволяет полностью механизировать технологический процесс измельчения веток непосредственно в междурядьях сада [19-22].

Осуществив расчет затрат по указанным позициям, построим их графические зависимости от сезонной наработки (рисунки 2-5).

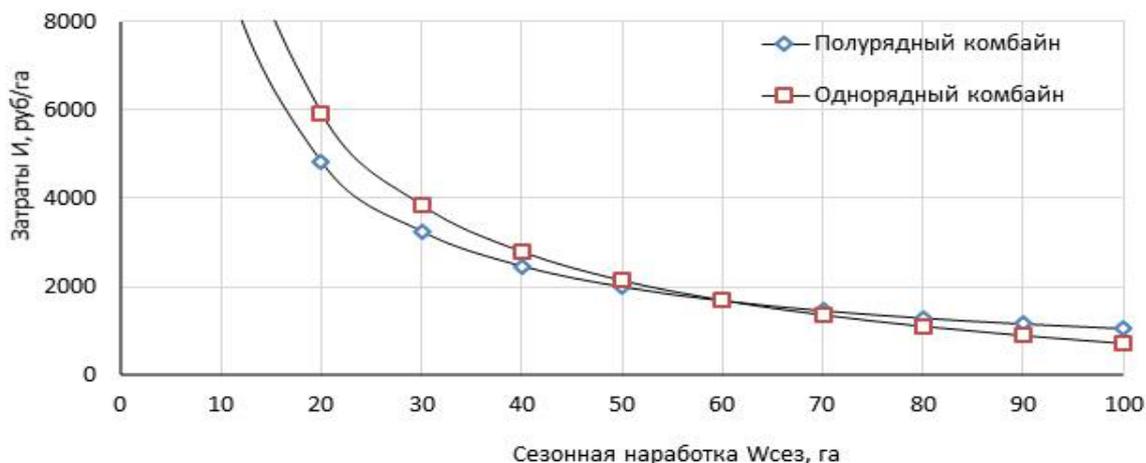


Рисунок 1. График сравнительной эффективности применения одно- и полурядного ягодоборочных комбайнов на уборке ягод смородины

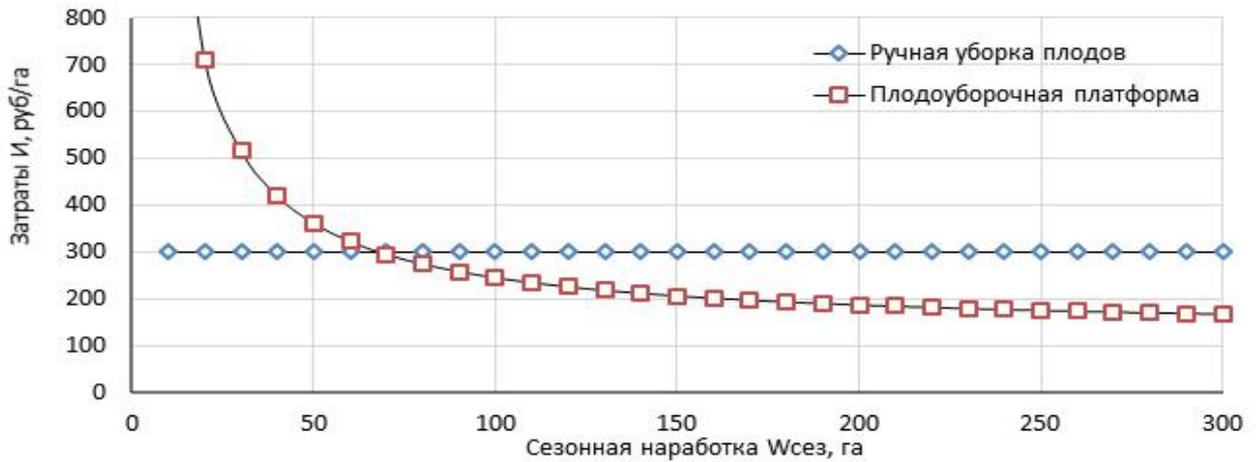


Рисунок 2. График сравнительной эффективности применения различных способов уборки плодов семечковых культур

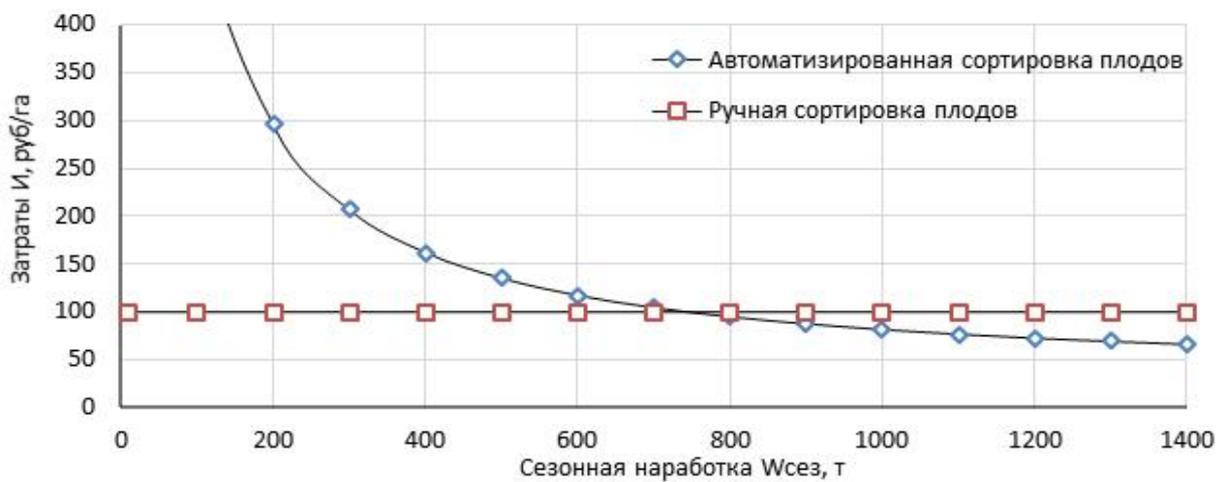


Рисунок 3. График сравнительной эффективности применения различных способов сортировки плодов

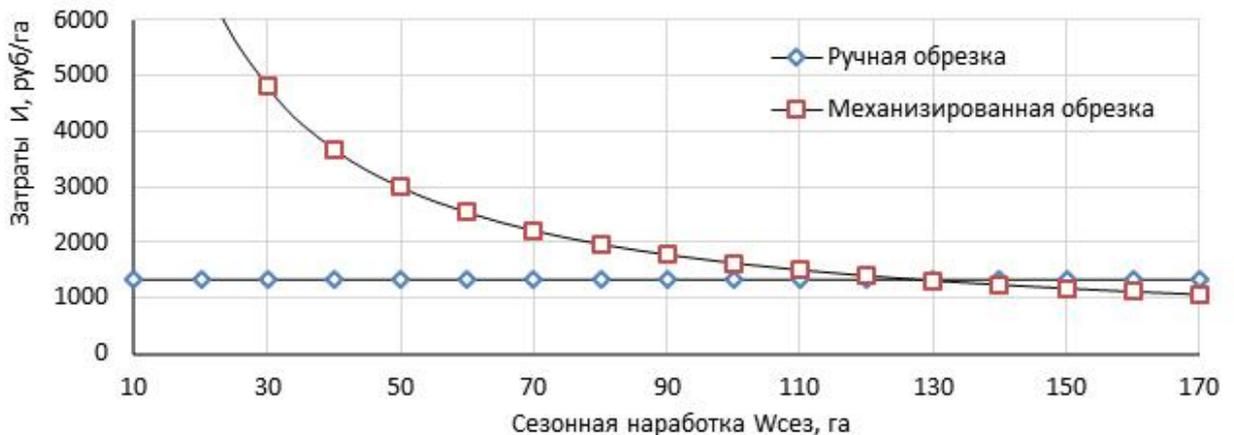


Рисунок 4. График сравнительной эффективности применения различных способов обрезки деревьев

Из графиков, представленных на рисунках, видно, что уборка плодов механизированной плодоуборочной платформой эффективнее ручного труда при сезонной наработке более 70 га, механизированная

обрезка деревьев посредством пневмоинструмента – при наработке более 130 га, автоматическая сортировка плодов линией с системой технического зрения – при наработке более 750 т. Утилизация же веток в

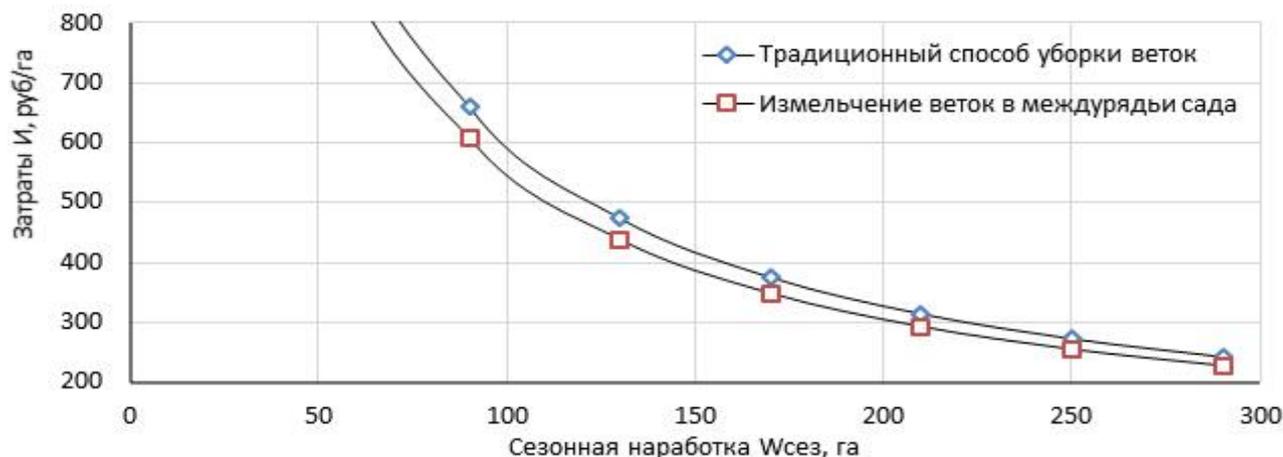


Рисунок 5. График сравнительной эффективности применения различных способов утилизации обрезанных веток плодовых деревьев

междурядья сада посредством их валкования и измельчения эффективнее во всем диапазоне наработки.

В то же время рассмотренные функции затрат представляют удельные приведенные затраты, связанные с работой машин и агрегатов. Однако такой расчет затрат имеет недостаток, так как не учитывает влияние продолжительности выполнения работ на сбор и качество урожая.

При этом аграрное производство отличается от других видов производств тем, что предъявляет строгие требования к срокам проведения работ. Их значительное отклонение от оптимальных, приводит к уменьшению валового сбора и снижению качества продукции. Размер же получаемых издержек многократно превышает затраты на выполнение операций агрегатами.

Изменение сбора урожая в зависимости от продолжительности выполнения работ может быть представлено степенной зависимостью от времени

$$Y_i = E D_p^2 + B D_p + Y_0, \quad (18)$$

где Y_i – изменение сбора урожая, ц/га;

E – коэффициент уравнения, ц/га · день²;

B – коэффициент уравнения, ц/га · день;

D_p – продолжительность работы, дни;

Y_0 – урожайность, соответствующая выполнению работ в оптимальные агросроки, ц/га.

Исследование функции на экстремумы позволило получить зависимость для определения оптимальной продолжительности выполнения процесса

$$D_p = 0,3 \sqrt{\frac{C_b \cdot \alpha \cdot \kappa_g}{\kappa_i \cdot Y_i \cdot C_u \cdot W_u \cdot T_p}}, \quad (19)$$

где D_p – продолжительность работы, дни;

C_b – балансовая стоимость работы, руб;

κ_g – доля времени выполнения данного процесса по отношению к общей продолжительности применения машины в течение года;

κ_i – коэффициент, учитывающий сложность вы-

полнения технологических операций, 1/день²;

C_u – товарная цена единицы продукции, руб/ц;

W_u – часовая производительность агрегата, га/ч;

T_p – продолжительность времени смены, ч.

Очевидно, что в рассматриваемых ранее операциях возделывания, наибольшее влияние на валовой сбор урожая оказывает продолжительность уборочных операций. Поэтому далее будем рассматривать два процесса: уборка яблок (ручная и механизированная) и уборка ягод (полурыдным и однорядным комбайнами).

Анализ функции $Y_i = f(D_p)$ позволил установить, что в пределах значений D_p возможна аппроксимация зависимости, т.е.

$$Y_T = Y_0 - \kappa'_n Y_0 D_{HO}, \quad (20)$$

или

$$Y_T = Y_0 (1 - \kappa'_n D_{HO}), \quad (21)$$

где Y_T – текущая урожайность, ц/га;

κ'_n – коэффициент учета потерь урожая вследствие увеличения длительности выполнения операции сверх агротехнического срока, доля/день;

D_{HO} – продолжительность выполнения работ сверх агротехнического срока, дней.

Очевидно, что общие потери урожая от нарушения сроков проведения операций определяются из выражения

$$P_y = Y_0 - Y_T = \kappa'_n Y_0 D_{HO}. \quad (22)$$

В настоящее время крупнотоварные хозяйства осуществляют производство десертных плодов для длительного хранения и реализации на экспорт. В связи с этим уборку плодов необходимо осуществлять в оптимальные агротехнические сроки. Так, преждевременная уборка плодов приводит к снижению урожая от падалицы и убыли массы плодов при хранении в размере 1-2 % в день вследствие увеличения сроков проведения операции. В ягодоводстве наблюдается аналогичная ситуация [1].

Таким образом, потери урожая плодов от нарушения сроков уборки могут быть представлены в виде зависимости, приведенной на рисунке 6.

Тогда графики зависимости эффективности применения средств механизации от сезонной наработки при уборке плодов и ягод с учетом потерь урожая будут выглядеть следующим образом (рис. 7, 8).

Таким образом, можно утверждать, что применение механизированной уборки яблок более эффективно при сезонной наработке от 18 до 34 га по сравнению с ручным трудом, а применение однорядного ягодоуборочного комбайна окупается при сезонной наработке более 35 га.

В настоящее время в Беларуси насчитывается более 70 крупных садоводческих организаций (с площадью садов от 100 га и выше), возделывающих плодовые и ягодные культуры [24-25]. Очевидно, что для таких предприятий необходим полный перечень

рассмотренных выше средств механизации.

Для достижения этой цели, на основании полученных результатов исследований, в РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан прицепной ягодоуборочный комбайн КПЯ, предназначенный для уборки ягод смородины, аронии, агрегат самоходный универсальный АСУ-6 для сбора плодов и формирования кроны семечковых культур, комплекс уборки веток КУВ-1,8, предназначенный для утилизации обрезанных веток плодовых деревьев, и технологическая линия ЛСП-4 для сортировки яблок посредством системы технического зрения.

Данные технические средства успешно прошли все испытания и проверки в производственных условиях предприятий Республики Беларусь.



Рисунок 6. График зависимости потерь плодов от затягивания сроков их уборки при различной урожайности яблоневого сада

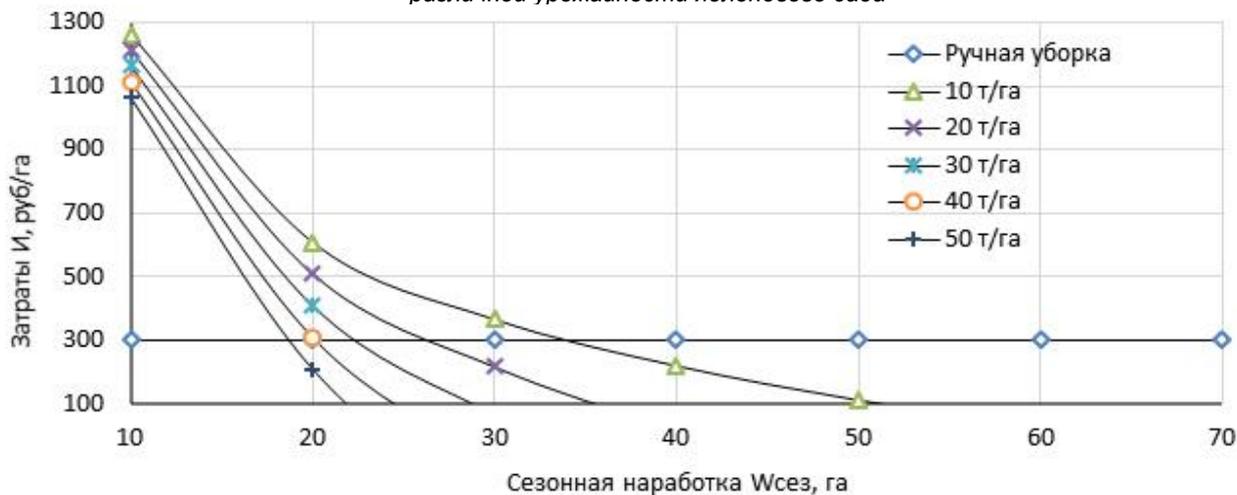


Рисунок 7. График сравнительной эффективности применения различных способов уборки плодов семечковых культур с учетом потерь урожая от нарушения агротехнических сроков уборки

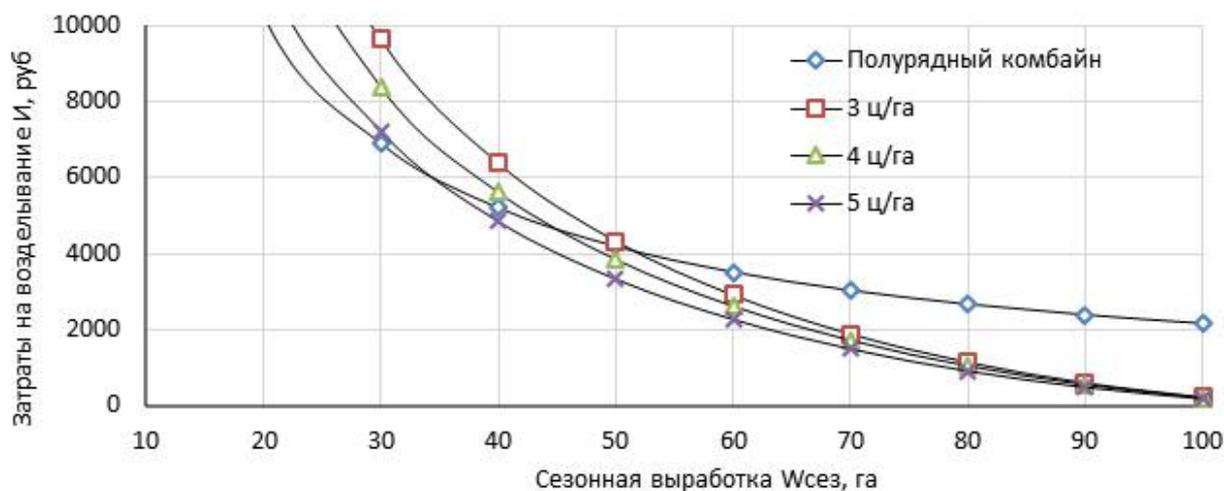


Рисунок 8. График сравнительной эффективности применения различных способов уборки ягод семечковых культур с учетом потерь урожая от нарушения агротехнических сроков уборки

Заключение

1. Технология утилизации обрезанных веток плодовых деревьев непосредственно в междурядье сада посредством валкователя-измельчителя ветвей эффективнее традиционной технологии при любой сезонной выработке агрегата.

2. Эффективность уборки плодов и ягод посредством средств механизации зависит не только от сезонной выработки, но и потерь урожая от несоблюдения агросроков уборочных работ.

3. Установлено, что применение механизированных средств для выполнения уборки плодов, обрезки деревьев и сортировки плодов целесообразнее, чем применение ручного труда при годовой выработке более 18 га, 130 га и 750 т соответственно. Уборка ягод смородины и аронии полуэрядным комбайном эффективна при годовой выработке не более 35 га. При большем годовом объеме работ целесообразно применение однорядного самоходного ягодоуборочного комбайна.

Работа выполнялась в рамках заданий подпрограммы «Белсельхозмеханизация-2025» государственной научно-технической программы «Инновационные агропромышленные и продовольственные технологии» 2021-2025 гг., а также ОНТП «Импортозамещающая продукция» 2010-2015 гг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Новые технологии и технические средства для механизации работ в садоводстве / В.Ф. Воробьев [и др.]; под общ. ред. М.И. Куликова. – М.: Росинформагротех, 2012. – 164 с.

2. Юрин, А.Н. Механизация трудоемких процессов в садоводстве / А.Н. Юрин // Газета «Навука». – 2016. – 15 февр. – С. 4.

3. Развитие технических средств для возделывания многолетних насаждений в садоводстве России и Беларуси / Ю.П. Лобачевский [и др.] // Механизация сельского хозяйства. – 2016. – № 2. – С. 28-37.

4. Казакевич, П.П. Система технического зрения распознавания дефектов яблок: обоснование, разработка, испытание / П.П. Казакевич, А.Н. Юрин, Г.А. Прокопович // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2021. – Т. 59. – №4. – С. 488-500.

5. Казакевич, П.П. Садоводство Республики Беларусь: проблемы и перспективы развития / П.П. Казакевич, А.Н. Юрин // Земледелие и растениеводство. – 2020. – № 6 (133). – С. 3-7.

6. Казакевич, П.П. Интенсивное садоводство: механизация валкования обрезанных веток / П.П. Казакевич, А.Н. Юрин // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2020. – Т. 58. – № 4. – С. 483-494.

7. Пиуновский, И.И. Интенсификация технологических процессов производства кормов из трав механико-химической обработкой: дисс. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / И.И. Пиуновский; Центральный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – Минск, 1992.

8. Матвеев, И.Н. Обоснование выбора технологии и состава машинно-тракторного агрегата с использованием коэффициента энергообеспеченности / И.Н. Матвеев // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Чебоксары. – 2021. – С. 131-136.

9. Щитов, С.В. Влияние энергозатрат на выбор энергетического средства / С.В. Щитов, Н.В. Спириданчук, Е.С. Поликутина // Научное обозрение. – 2014. – № 8-2. – С. 535-538.

10. Щитов, С.В. Оценка полных энергозатрат машинно-тракторных агрегатов на предпосевной обработке почвы / С.В. Щитов, О.П. Митрохина // Научное обозрение. – 2014. – № 2. – С. 38-40.

11. Саклаков, Д.В. Техничко-экономическое обоснование выбора средств механизации / Д.В. Саклаков, М.П. Сергеев. – М.: Колос, 1973. – 200 с.

12. Гаспарский, В.А. Праксеологический анализ проектно-конструкторских разработок / В.А. Гаспарский. – М.: Мир, 1978. – 172 с.

13. Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посадочного материала: сб. отраслевых регламентов / Нац. академия наук Беларуси; Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси; рук. разработ.: В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 520 с.

14. Phil Brown Welding Corp. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://philbrownwelding.com/index.php/new-products>. – Date of access: 17.07.2020.

15. FRUMACO Europe srl. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.frumacoeurope.eu/Apps/WebObjects/RFrumaco.woa/wa/viewFile?id=304&lang=eng>. – Date of access: 17.07.2020.

16. Munchhof Fruit Tech Innovators [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.munchhof.org/machine/pluk-o-trak-senior/>. – Date of access: 17.07.2020.

17. N. BLOSI Manufacturers of agricultural machinery [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.nblo.si.com/en/harvesting_conveyor/harvesting_conveyor.php. – Date of access: 17.07.2020.

18. Feucht fruit technology [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.feucht-obsttechnik.de/en/fruit-harvesting-technology/fruit-harvesting-machines.html>. – Date of access: 17.07.2020.

19. Косилка-валкователь для установки на трактор RX300 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agriexpo.ru/prod/fama/product-175225-49766.html>. – Дата доступа: 22.08.2020.

20. Валкователь для виноградной лозы MAGIC Series [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agriexpo.ru/prod/corbins-agricultural-technology/product-183374-64828.html>. – Дата доступа: 22.08.2020.

21. Heavy duty flail pruning choppers – Series KG en KK [Electronic resource]. – Mode of access: <https://vanwamel.nl/en/products/orchards-vineyards/pruning-choppers/134-kg-kk-heavy-duty-models>. – Date of access: 17.07.2020.

22. Flail mowers and shredders – DRAGONE [Electronic resource]. – Mode of access: <http://weremczukagro.com/en/products/mower-flail-shredder-dragone-2/>. – Date of access: 17.07.2020.

23. Организации и предприятия по производству, переработке и торговле продукцией плодового и научному обеспечению отрасли: адресно-телефонный справочник / РУП «Институт плодового». – Самохваловичи, 2010. – 222 с.

24. Валовой сбор и урожай фруктов и ягод в Республике Беларусь за 2019 год / Национальный статистический комитет Респ. Беларусь. – Минск, 2019. – 14 с.

25. Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года [Электронный ресурс]: постановление Совета министров Респ. Беларусь, 15 дек. 2017 г., № 962 // Бизнес-инфо / ООО «Профессиональные правовые системы». – Минск, 2019.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 02.08.2022

“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 37.091:004

ФОРМИРОВАНИЕ МОТИВАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТРУДОВЫХ ОТНОШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ АПК

Е.М. Бельчина,

ст. преподаватель каф. информационного менеджмента, маркетинга и учета БГАТУ

В статье рассмотрены базовые компоненты организации трудовых отношений в АПК. Предложена мотивационная модель формирования трудовых отношений в условиях цифровизации, в которой выделены потребности организации-нанимателя (заказчика) в персонале и соискателя (абитуриента) в трудоустройстве и определена их взаимосвязь. Обоснована необходимость внедрения электронного реестра целевой подготовки специалистов АПК. Изложен алгоритм его работы и предложена базовая структура веб-сайта сельскохозяйственной организации.

Ключевые слова: сельское хозяйство, мотивационная модель, потребности, целевая подготовка, реестр, агробизнес.

The article considers the basic components of management of labor relations in agribusiness. A motivational model for the formation of labor relations in the context of digitalization has been proposed which highlights the needs of the employing organization (customer) for personnel and the needs of the job seeker (applicant) for employment and defines the interaction between them. The necessity of introducing an electronic register of target training for agribusiness specialists has been proved. The electronic register algorithm is outlined and the basic structure for a website for an agricultural enterprise is proposed.

Key words: agriculture, motivational model, needs, target training, register, agribusiness.

Введение

Недостаточная обеспеченность сельскохозяйственных организаций квалифицированными специалистами обуславливает необходимость выработки новых подходов к процессу мотивации труда как комплексной системе. В целом, вопросам мотивации и стимулирования аграрного труда, подготовке кадров в условиях цифровой трансформации АПК в экономической науке уделяется достаточно много внимания [1-7]. Проведенные исследования показали, что существующие подходы к мотивации труда с целью повышения уровня обеспеченности персоналом в агропромышленных организациях заключаются, преимущественно, в предложениях по совершенствованию системы оплаты и материального стимулирования труда различных категорий работников, в том числе молодых специалистов. При этом мало внимания уделяется таким базовым компонентам мотивационной модели, как организация найма и подготовка (целевая специализация) персонала в аграрном направлении. Невысокий уровень доходов большинства работников сельского хозяйства по сравнению с другими отраслями экономики, а также отсутствие доступной информации о востребованных специальностях и специалистах непосредственно от самих сельскохозяйственных товаропроизводителей не позволяют изучить специфику аграрного труда и популяризировать аграрные профессии.

Научное исследование базировалось на данных Национального статистического комитета Республики Беларусь, учреждений высшего аграрного образования Республики Беларусь, изучении нормативных право-

вых актов в сфере образования и целевой подготовки, обобщении теоретических и практических подходов в мотивации труда, организации трудовых отношений и подготовке специалистов в АПК. Использованы методы системного и сравнительного анализа.

Целью работы является совершенствование организационных аспектов процесса целевой подготовки как базового элемента мотивационной модели специалиста аграрного профиля.

Основная часть

Создание условий для устойчивого и динамичного развития агропромышленного комплекса является одной из задач Государственной программы «Аграрный бизнес» на 2021-2025 гг. [8, с. 7]. Реализация данной задачи должна учитывать не только наличие материальной составляющей в виде стимулирования труда молодых специалистов, но и основываться на эффективной кадровой работе как основополагающем элементе мотивации труда.

Эффективность мотивационной модели включает два аспекта: с одной стороны – удовлетворение потребностей и интересов работника, с другой – потребностей и интересов организации-нанимателя. В современных условиях хозяйствования в аграрной сфере необходимо обеспечить взаимосвязь и корреляцию указанных потребностей и интересов с целью увеличения, как доходов работников, так и финансово-хозяйственных результатов деятельности субъектов хозяйствования.

Изучению потребностей работников как мотивирующих к трудовой деятельности факторов посвящены труды зарубежных исследователей содержатель-

ных теорий мотивации: А. Маслоу, У. Оучи, К. Альдерфер, Д. Мак Клелланд, Ф. Герцберг и др. В своих работах они опираются на то, что потребности работника дифференцируются в зависимости от необходимости их удовлетворения: от физиологических до потребностей роста и самовыражения.

Сторонники же процессуальных теорий мотивации, такие как В. Врум, Дж. Стейси Эдманс, В.Ф. Скиннер, Л. Портер, Э. Лоулер и др. рассматривали мотивацию как процесс, конечной целью которого является получение вознаграждения и удовлетворения от результатов деятельности.

Безусловно, движущей силой трудовой деятельности человека является удовлетворение его потребностей, которое реализуется через «**потребность в трудоустройстве**». Эффективность организации труда и трудовых отношений работника и нанимателя проявляется через взаимное удовлетворение потребности работника в трудоустройстве и потребности организации в персонале.

В целом, в системе организации трудовых отношений, как в одном из компонентов системы мотивации труда, можно выделить следующие основные составляющие:

- характер и особенности найма работников;
- специализация и оценка деятельности (целевая подготовка, обучение на рабочем месте, аттестация работников);
- обучение и развитие персонала (самообразование, повышение квалификации, переподготовка кадров).

Объединив отдельные элементы организации трудовых отношений и необходимость удовлетворения потребностей работника в трудоустройстве и нанимателей в персонале, нами построена мотивационная модель формирования трудовых отношений в АПК (рис. 1). Из нее видно, что выделенные потребности нанимателя в персонале и соискателя (в т. ч. выпускника школы) в трудоустройстве классифицированы на два вида: текущие и перспективные. Удовлетворяя текущую потребность в персонале, организация-наниматель, как правило, размещает информацию о вакансиях путем объявлений в средствах массовой информации (СМИ), на специализированных ресурсах в Интернете, а также изучает возможные предложения соискателей.

Работник, для удовлетворения своей текущей потребности в трудоустройстве, за-

нимается поиском вакансий путем просмотра размещенных объявлений нанимателя, публикует информацию о себе, как о потенциальном соискателе. Далее, при наличии интереса к требуемой вакансии, следует собеседование у нанимателя с целью последующего заключения трудового договора (контракта).

Удовлетворение перспективных потребностей в персонале и трудоустройстве в АПК реализуется, как правило, через систему целевой подготовки [9].

Согласно Кодексу Республики Беларусь об образовании [10, ст. 1, п. 1.39], целевая подготовка специалистов основана на заключении соответствующего договора. Привлечение абитуриентов к заключению договоров о целевой подготовке для последующей работы в системе агропромышленного комплекса Республики Беларусь осуществляется двумя способами:

1. Абитуриенты (их представители) обращаются для оформления договора на целевую подготовку в управления по сельскому хозяйству и продовольствию райисполкомов, комитетов облисполкомов, либо непосредственно в сельскохозяйственные организации (заказчики).

2. Заключение договоров на целевую подготовку осуществляется во время работы приемной комиссии в учреждениях высшего аграрного образования представителями областных комитетов и районных управлений по сельскому хозяйству и продовольствию.

Вместе с тем, как показывает практика, большинство договоров заключается вторым способом, т.е. во время работы приемной комиссии, при этом целевые

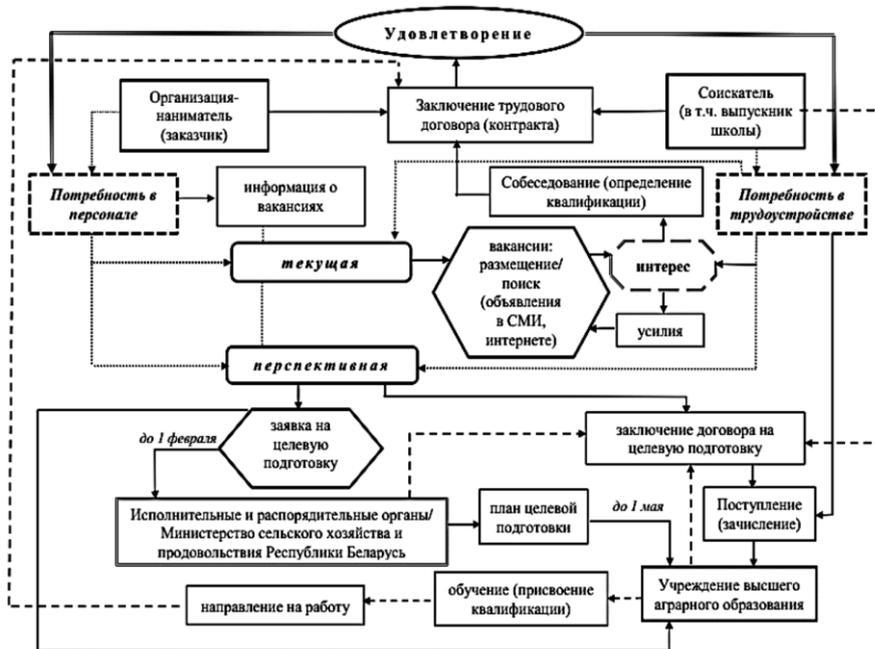


Рисунок 1. Мотивационная модель формирования трудовых отношений в АПК:

- наличие и виды потребностей;
 - действия нанимателя и соискателя для удовлетворения потребностей;
 -► процесс целевой подготовки;
- (выполнен автором на основании собственных исследований).

места по ряду специальностей могут остаться невостребованными. Основными причинами сложившейся ситуации, по мнению автора, являются:

1. Низкая информированность потенциальных абитуриентов (их представителей) о возможности заключения договоров на целевую подготовку.

2. Слабая обеспеченность целевых мест заявками от потенциальных нанимателей (заказчиков).

3. Отсутствие эффективной взаимосвязи и взаимодействия по формуле: «организация-наниматель (заказчик)» – «соискатель (абитуриент)» – «учреждение высшего аграрного образования» – на этапе формирования заявок и заключения договоров на целевую подготовку специалистов.

4. Низкая интернет-активность потенциальных нанимателей (заказчиков) и, практически, отсутствие информации о них в интернет-пространстве (отсутствие официальных веб-сайтов).

Выявленные проблемы подтверждаются следующим. Несмотря на то, что современный период развития общества характеризуется влиянием на него информационных и компьютерных технологий, изучив структуру сайтов профильных ведомств и представленную там информацию, следует отметить, что сведения о профессиональной подготовке будущих

специалистов представлены весьма ограничено [13, табл. 1], а данные о целевых местах присутствуют только на сайтах университетов (табл. 1).

Следует отметить большую разницу в показателях планового набора на целевую подготовку и предложениях организаций для заключения договоров.

Одной из причин сложившейся ситуации является тот факт, что данная информация размещается на веб-сайтах учреждений высшего аграрного образования после того как большинство потенциальных абитуриентов уже являются профессионально сориентированными для поступления в определенные учреждения высшего образования.

Следует также отметить, что договор на целевую подготовку заключается между тремя сторонами: заказчиком, абитуриентом (его представителем) и учреждением высшего аграрного образования.

В настоящее время большинство сельскохозяйственных организаций практически не пользуются интернет-технологиями и не имеют собственных веб-сайтов (табл. 2).

Как видно из таблицы 2, у большинства организаций сельского, лесного и рыбного хозяйства отсутствуют веб-сайты.

С целью упорядочения и упрощения организаци-

Таблица 1. Информация о целевой подготовке специалистов в учреждениях высшего аграрного образования (по состоянию на 13.06.2022 г.)

Учреждение высшего аграрного образования	Плановый набор на целевую подготовку в 2022 г., чел.	Предложения организаций для заключения договоров на целевую подготовку		
		количество организаций	количество целевых мест	
			всего	удельный вес от целевого набора, %
Белорусский государственный аграрный технический университет (БГАТУ)	261	46	104	39,8
Гродненский государственный аграрный университет (ГГАУ)	226	77	269	119,0
Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (БГСХА)	476	45	79	16,6
Витебская государственная академия ветеринарной медицины (ВГАВМ)	329	72	89	27,1
<i>Итого</i>	<i>1292</i>	<i>240</i>	<i>541</i>	<i>41,9</i>

Составлена автором на основании собственных исследований

Таблица 2. Число организаций сельского, лесного и рыбного хозяйства Республики Беларусь, имеющих веб-сайт (по состоянию на 01.01.2021 г.)

Показатель	Республика Беларусь	в том числе по областям и г. Минску						
		Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	г. Минск	Минская	Могилевская
Всего организаций, ед.	5497	1091	760	858	666	82	1274	766
в т.ч. имеют веб-сайт, ед.	380	73	51	54	84	8	78	32
удельный вес в общем количестве, %	6,9	6,7	6,7	6,3	12,6	9,8	6,1	4,2

Составлена автором на основании источников [11, с. 311; 12, с. 70]

является простой и удобной в использовании, имеет достаточный объем информации для ознакомления потенциальных абитуриентов (их представителей) с организацией – будущим нанимателем.

Заключение

В результате проведенных исследований автором предложена мотивационная модель формирования трудовых отношений в условиях цифровой трансформации АПК, в которой выделены потребности организации-нанимателя (заказчика) в персонале и соискателя (абитуриента) в трудоустройстве, определена роль целевой подготовки и учреждений высшего аграрного образования в удовлетворении данных потребностей.

Научной новизной исследования является обоснование необходимости внедрения электронного реестра целевой подготовки специалистов АПК и разработка алгоритма его работы. С целью повышения уровня цифровизации деятельности сельскохозяйственных организаций предложена базовая структура веб-сайта, в которой обязательным блоком является «вакансии и целевая подготовка», где и можно разметить гиперссылку на электронный реестр целевой подготовки специалистов АПК. Реестр также может быть размещен на отдельно выделенном интернет-портале.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пашкевич, О. Взаимосвязь производительности и оплаты труда работников животноводства: принципы, подходы, условия роста / О. Пашкевич, В. Левкина, С. Каган // Аграрная экономика. – 2021. – № 7. – С. 60-73.

2. Рекомендации по повышению мотивации труда, совершенствованию специализации и размещения отраслей животноводства / О.А. Пашкевич [и др.]. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2019. – 55 с.

3. Микулич, А.В. Механизм мотивации труда в сельском хозяйстве в новых условиях: теория, методология, практика / А.В. Микулич. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2011. – С. 185-222.

4. Основные элементы системного управления воспроизводством кадрового потенциала в сельском хозяйстве / Н.С. Яковчик [и др.] // Дополнительное профессиональное образование агропромышленного комплекса: научное обеспечение: материалы II Международ. науч.-практ. конф. «Андреевские чтения»; под ред. И.А. Хлусовой. – Москва: ФГБОУ ДПО РАКО АПК, 2021. – С. 42-53.

5. Яковчик, Н.С. Цифровизация как ключевой фактор инновационного развития АПК Республики Беларусь в современных условиях / Н.С. Яковчик, А.Э. Шибeko // Цифровизация агропромышленного комплекса: сб. ст. II Междунар. науч.-практ. конф. в 2-х т., Тамбов, 21-23 октября 2020 г. – Тамбов: ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. – Т. 2. – С. 501-507.

6. Борисенко, А.О. Мотивация труда управленческого персонала в сельскохозяйственных организациях: теоретические и практические аспекты / А.О. Борисенко; под ред. В.Г. Гусакова. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2015. – С. 101-135.

7. Яковчик, Н.С. Опережающая подготовка кадров как ключевой фактор развития агробизнеса через цифровую трансформацию в АПК / Н.С. Яковчик, Н.Н. Романок, В.Н. Бабин // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26-27 ноября 2020 г. – Минск: БГАТУ, 2020. – С. 44-50.

8. Государственная программа «Аграрный бизнес» на 2021-2025 годы [Электронный ресурс]: утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 01 февраля 2021 г., № 59 (в ред. Постановления Совета Министров Республики Беларусь от 15 марта 2022 г., № 139 // Консультант Плюс. – Дата доступа: 01.06.2022.

9. Положение о целевой подготовке специалистов, рабочих служащих [Электронный ресурс]: утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 22 июня 2011г., № 821 (в ред. постановления Совета Министров Республики Беларусь от 28 января 2020 г., № 50) // Официальный сайт Белорусского государственного аграрного технического университета. – Режим доступа: <https://www.bsatu.by/sites/default/files/field/file/polcelpro.d.pdf>. – Дата доступа: 01.06.2022.

10. Кодекс Республики Беларусь об образовании [Электронный ресурс]: 14 января 2022 г., № 154-3: принят Палатой представителей 21 декабря 2021 г.: одобр. Советом Республики 22 декабря 2021 г. // СИБ «Консультант Плюс». – Минск, 2022.

11. Регионы Республики Беларусь, 2021 [Электронный ресурс]: стат. сборник. – Минск, 2021. – Т. 1 // Официальный сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/920/iaf6y7uv9m88cj9aolkt4sq5s9nxatlmr.pdf>. – Дата доступа: 08.05.2022.

12. Информационное общество в Республики Беларусь, 2021 [Электронный ресурс]: стат. сборник. – Минск, 2021 // Официальный сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь. – Режим доступа : <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/50e/50e0f7e0b7e5875db07fb6c8350e8ec8.pdf>. – Дата доступа : 08.05.2022.

13. Бельчина, Е.М. Совершенствование профориентационной работы и целевой подготовки специалистов / Е.М. Бельчина // Актуальные проблемы и перспективы развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК: сборник научных статей II-й Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 9-10 июня 2022 г.; редкол.: А.В. Миранович [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2022. – С. 514-519.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.06.2022

УДК 004.02:001.895

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В УПРАВЛЕНИИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ОАО «ПТИЦЕФАБРИКА «РАССВЕТ»

Н.Ф. Корсун,

*доцент каф. информационных технологий и моделирования экономических процессов БГАТУ,
канд. экон. наук, доцент*

А.В. Пархимович,

магистрант БГАТУ

Построение комплексного управления инновационной деятельностью в контексте повышения автоматизации бизнес-процессов очень актуально на сегодняшний день. Однако процесс внедрения и совершенствования такой системы относительно сложная и кропотливая задача, затрагивающая широкий круг организационных, методических и информационно-технических вопросов. В статье приводятся результаты анализа типов информационных систем, классификация критериев их выбора с учетом количественных, экономических, физических факторов и обоснование наиболее оптимальной из всех имеющихся информационных систем в управлении инновационной деятельностью предприятия АПК на основе метода анализа иерархий.

Ключевые слова: инновационная деятельность, информационные технологии, оптимизация, управление, эффективность, метод анализа иерархий, критерий, матрица парных сравнений

Building an integrated management of innovation activities in the context of increasing automation of business processes is very relevant today. However, the process of implementing and improving such a system is relatively complex and painstaking task involving a wide range of organizational, methodological and information-technical issues. The article presents the results of the analysis of the types of information systems, the classification of the criteria for their choice subject to quantitative, economic, physical factors and the substantiation of the most optimal of all existing information systems in the management of innovation activities of agribusiness enterprises based on hierarchy analysis method.

Key words: innovation, information technology, optimization, management, efficiency, hierarchy analysis method, criterion, pairwise comparison matrix.

Введение

Внедрение новых компьютерных программ и систем поддержки управленческих решений позволяет повысить эффективность планирования инноваций и обеспечить информационное обеспечение управленческой деятельности [1]. Это имеет большое значение для адаптации системы управления предприятиями АПК к рыночным условиям хозяйствования и даст возможность их руководителям и менеджерам провести следующие мероприятия:

- организовать накопление интеллектуального капитала, данных и процессы его эффективного использования в системе принятия управленческих решений;
- сформировать систему сбора наиболее полной информации для обоснования управленческих решений и применения ее во внутренней деятельности организации;
- разработать методы и модели принятия решений, позволяющие в полной мере задействовать интеллектуальный потенциал работников предприятия;
- организовать систему коммуникаций внутри

организации и обеспечить бесперебойную и эффективную работу всех ее подразделений с целью совершенствования инновационной деятельности;

- разработать бизнес-планы инновационных проектов и прогнозировать их риски [2].

Представленные на рынке системы отличаются по техническим или технологическим характеристикам: от файл-серверных систем до систем с WEB-серверной архитектурой. Однако каждый субъект хозяйствования должен сам определить необходимый баланс между функциональностью и новизной технического решения.

Таким образом, в целях совершенствования управления инновационной деятельностью в ОАО «Птицефабрика «Рассвет» можно предложить следующие меры: внедрение специализированного программного обеспечения, отвечающего современным требованиям автоматизации; единая база данных, ограничение прав доступа к ней, с целью устранения искажения данных.

Цель настоящей работы – определение системы основополагающих критериев и обоснование выбора

информационных технологий для управления инновационной деятельностью предприятий АПК на основе метода анализа иерархий.

Основная часть

Для автоматизации управления инновационной деятельностью в ОАО «Птицефабрика «Рассвет» Гомельского района Гомельской области могут быть использованы различные информационные системы (программы). На практике возникают сложности с выбором наиболее оптимального программного продукта. При выборе альтернативы приходится сталкиваться с необходимостью многокритериального сравнительного анализа потенциальных альтернатив, т.е. сравнивать варианты по совокупности оценочных характеристик (показателей) различной природы (числовые, вербальные, балльные и т.д.) и шкал измерения [3, с. 4].

Характеристика программных продуктов для автоматизации управления инновационной деятельностью в ОАО «Птицефабрика «Рассвет» приведена в таблице 1.

Исследование вопросов совершенствования управления инновационной деятельностью в ОАО «Птицефабрика «Рассвет» целесообразно провести с использованием метода анализа иерархий (МАИ). Этот метод широко применяется в сфере управления качеством и читается в рамках многих специализированных программ, таких как Six Sigma, Lean Six Sigma и QFD. Оценки потенциальных сценариев развития проектов, полученные с помощью данного метода, учитывают целый ряд факторов и потому более корректны [4, с. 42].

Построим иерархию альтернатив для выбора компьютерной программы (рис. 1).

Из представленного выше иерархического представления задачи видно, что на первом уровне распо-

Таблица 1. Характеристика программных продуктов для управления инновационной деятельностью в ОАО «Птицефабрика «Рассвет»

Наименование	Характеристика
1С: Предприятие (Фирма «1С»)	Аналитическая компьютерная программа для анализа результатов деятельности предприятия на основании данных отчетности
PROPHIX (Компания «Ксема»)	Является комплексным и целостным решением по управлению внутренней деятельностью компании, которое предоставляет пользователям возможности составления проектов, бюджетов, планирования, прогнозирования, составления управленческих отчетов, финансовой консолидации, кадрового планирования и финансового анализа.
SAP Business Objects Enterprise (АО «Терн»)	В ПО сочетаются возможности обеспечения конечных пользователей всеми необходимыми средствами анализа и создания отчетности с возможностями гибкого управления системой, что позволяет внедрять решения и решать задачу стандартизации BI-средств.
Система финансового планирования на базе Microsoft Dynamics NAV (Intersoft Lab)	Интегрированная система управления предприятием. Позволяет повысить качество планирования инноваций благодаря более прозрачной, легко контролируемой, прогнозируемой и обоснованной системе управления и, как следствие, помогает в экономии средств, получении дополнительной прибыли и контролю за деятельностью предприятия, в том числе осуществления инновационной деятельности.

Примечание. Составлена авторами на основании собственных исследований.



Рисунок 1. Иерархия выбора программы автоматизации управления инновационной деятельностью в ОАО «Птицефабрика «Рассвет» (выполнен авторами на основании собственных исследований)

ложены основные факторы, влияющие на выбор программного продукта, на втором — критерии, характеризующие факторы, а на третьем — альтернативы, из которых выбирается оптимальная. Далее необходимо построить матрицы парных сравнений, используя метод попарного сравнения элементов иерархии относительно элементов более высокого уровня [5].

Шкала относительной важности представлена в таблице 2 [6; 7, с. 91]. Таким образом, на основе метода анализа иерархий авторами предлагается провести анализ по выбору наиболее оптимальной программы для автоматизации управления инновационной деятельностью в ОАО «Птицефабрика «Рассвет».

Примечание. Составлена авторами на основании собственных исследований.

Рассмотрим матрицы парных сравнений факторов (табл. 3).

Матрицы парных сравнений обладают свойством обратной симметрии. В соответствии с алгоритмом метода анализа иерархий сравнивается относительная важность левых элементов матрицы с элементами сверху. Если элемент слева важнее элемента сверху относительно выбранного критерия, то в клетку матрицы заносится целое число от 1 до 9, в противном случае записывается обратное число.

Для каждой матрицы рассчитаем нормированный вектор приоритетов (W_i), собственный вектор матрицы

(Z), собственное число матрицы (λ_{max}), индекс согласованности (ИС) и отношение согласованности (ОС) [6].

Далее определяется наиболее важный из критериев, характеризующий количественные факторы (табл. 4).

Затем выясним, какой критерий в наибольшей степени влияет на физические факторы (табл. 5).

Для определения наиболее значимого критерия по экономическому фактору используем данные матрицы парных сравнений критериев, характеризующих физический фактор (табл. 6).

На следующем этапе целесообразно построить матрицы парных сравнений альтернатив по критериям количественного фактора. В таблице 7 представлен расчет матрицы парных сравнений альтернатив по критерию «работа с шаблонами».

Матрица парных сравнений альтернатив по критерию «потребность в обучении для работы» представлена в таблице 8.

Далее строим матрицы парных сравнений альтернатив по критериям физического фактора (табл. 9).

Матрица парных сравнений альтернатив относительно критерия «автоматизация операций» представлена в таблице 10.

Матрица парных сравнений альтернатив по критерию «возможность работы в сети» представлена в таблице 11.

Таблица 2. Шкала относительной важности

Оценка	Словесное определение уровня важности
0	варианты не сравнимы
1	равная важность
3	умеренное превосходство одного над другим
5	существенное или сильное превосходство
7	значительное превосходство
9	очень сильное превосходство
2,4,6,8	промежуточные решения между двумя соседними

Примечание. Составлена авторами на основании собственных исследований.

Таблица 3. Матрица парных сравнений факторов

Выбор программы	Количественные	Физические	Экономические	Z_1	W_1
Количественные	1,00	0,50	0,33	0,55	0,16
Физические	2,00	1,00	0,33	0,87	0,25
Экономические	3,00	3,00	1,00	2,08	0,59
Итого	6,00	4,50	1,66	3,50	1,00
L (Лямбда)	0,940	1,120	0,987		
λ_{max}	3,05				
ИС	0,02				
ОС	4,04				

Примечание. Составлена авторами на основании собственных исследований.

Таблица 4. Матрица парных сравнений критериев по количественному фактору

Количественный фактор	Работа с шаблонами	Потребность в обучении	Z_2	W_2
Работа с шаблонами	1	0,11	0,33	0,10
Потребность в обучении	9	1	3,00	0,90
Итого	10,00	1,11	3,33	1,00
L (Лямбда)	0,995	1,000		
λ_{max}	1,99			
ИС	0,00			
ОС	0,00			

Примечание. Составлена авторами на основании собственных исследований.

Таблица 5. Матрица парных сравнений критериев по физическому фактору

Физический фактор	Интерфейс	Автоматизация	Работа в сети	Z ₃	W ₃
Удобство интерфейса	1,00	0,25	0,50	0,50	0,14
Автоматизация операций	4,00	1,00	3,00	2,29	0,63
Возможность работы в сети	2,00	0,33	1,00	0,87	0,24
Итого	7,00	1,58	4,50	3,66	1,00
L (Лямбда)	0,956	0,988	1,070		
Lmax	3,02				
ИС	0,01				
ОС	1,30				

Примечание. Составлена авторами на основании собственных исследований.

Таблица 6. Матрица парных сравнений критериев по экономическому фактору

Экономический фактор	Стоимость	Скидка	Z ₄	W ₄
Стоимость программы	1	9	3,00	0,90
Скидка за комплект	0,11	1	0,33	0,10
Итого	1,11	10,00	3,33	1,00
L (Лямбда)	1,000	0,995		
Lmax	1,99			
ИС	0,00			
ОС	0,00			

Примечание. Составлена авторами на основании собственных исследований.

Таблица 7. Матрица парных сравнений альтернатив по критерию «работа с шаблонами»

Работа с шаблонами	1С-АФСП	PROPHIX	MD NAV	SAP BOE	Z ₅	W ₅
1С-АФСП	1	0,5	5	3	1,65	0,31
PROPHIX	2	1	4	6	2,63	0,50
MD NAV	0,2	0,25	1	4	0,67	0,13
SAP BOE	0,33	0,17	0,25	1	0,34	0,06
Итого	3,53	1,92	10,25	14	5,30	1
L (Лямбда)	1,10	0,95	1,29	0,91		
Lmax	4,26					
ИС	0,09					
ОС	9,6					

Примечание. Составлена авторами на основании собственных исследований.

Таблица 8. Матрица парных сравнений альтернатив по критерию «потребность в обучении для работы»

Потребность в обучении	1С-АФСП	PROPHIX	MD NAV	SAP BOE	Z ₆	W ₆
1С-АФСП	1	0,33	0,25	2	0,64	0,13
PROPHIX	3	1	2	5	2,34	0,48
MD NAV	4	0,5	1	2	1,41	0,29
SAP BOE	0,5	0,2	0,5	1	0,47	0,10
Итого	8,5	2,03	3,75	10	4,86	1
L (Лямбда)	1,11	0,98	1,09	0,97		
Lmax	4,15					
ИС	0,05					
ОС	5,6					

Примечание. Составлена авторами на основании собственных исследований.

Таблица 9. Матрица парных сравнений альтернатив по критерию «удобство интерфейса»

Удобство интерфейса	1С-АФСП	PROPHIX	MD NAV	SAP BOE	Z ₇	W ₇
1С-АФСП	1	2	2	0,5	1,19	0,27
PROPHIX	0,5	1	0,5	0,33	0,54	0,12
MD NAV	0,5	2	1	0,5	0,84	0,19
SAP BOE	2	3	2	1	1,86	0,42
Итого	4	8	5,5	2,33	4,43	1
L (Лямбда)	1,07	0,97	1,04	0,98		
Lmax	4,07					
ИС	0,02					
ОС	2,5					

Примечание. Составлена авторами на основании собственных исследований.

**Таблица 10. Матрица парных сравнений альтернатив по критерию
«автоматизация операций»**

Автоматизация операций	1С-АФСП	PROPHIX	MD NAV	SAP BOE	Z ₈	W ₈
1С-АФСП	1	3	0,2	0,25	0,62	0,12
PROPHIX	0,33	1	0,5	0,14	0,39	0,07
MD NAV	5	2	1	0,5	1,50	0,29
SAP BOE	4	7	2	1	2,74	0,52
Итого	10,33	13	3,7	1,89	5,24	1
L (Лямбда)	1,23	0,97	1,06	0,99		
Lmax	4,23					
ИС	0,08					
ОС	8,7					

Примечание. Составлена авторами на основании собственных исследований.

**Таблица 11. Матрица парных сравнений альтернатив по критерию
«возможность работы в сети»**

Работа в сети	1С-АФСП	PROPHIX	MD NAV	SAP BOE	Z ₉	W ₉
1С-АФСП	1	3	0,33	0,25	0,71	0,13
PROPHIX	0,33	1	0,17	0,2	0,33	0,06
MD NAV	3	6	1	0,5	1,73	0,33
SAP BOE	4	5	2	1	2,51	0,48
Итого	8,33	15	3,5	1,95	5,28	1
L (Лямбда)	1,11	0,93	1,15	0,93		
Lmax	4,12					
ИС	0,04					
ОС	4,3					

Примечание. Составлена авторами на основании собственных исследований.

Аналогично рассчитываем матрицы парных сравнений альтернатив по критериям «стоимость программы АРМ» и «скидка за комплект», характеризующие экономический фактор.

Результаты расчетов представлены в таблице 12

и таблице 13.

Матрицы парных сравнений альтернатив по критерию «скидка за комплект» представлена в таблице 13.

Вектор приоритетов альтернатив по количественному фактору (W_k) определяется путем пере-

**Таблица 12. Матрица парных сравнений альтернатив по критерию
«стоимость программы АРМ»**

Стоимость программы	1С-АФСП	PROPHIX	MD NAV	SAP BOE	Z ₁₀	W ₁₀
1С-АФСП	1	3	0,5	0,33	0,84	0,17
PROPHIX	0,33	1	0,5	0,2	0,43	0,09
MD NAV	2	2	1	0,5	1,19	0,25
SAP BOE	3	5	2	1	2,34	0,49
Итого	6,33	11	4	2,03	4,79	1
L (Лямбда)	1,11	0,98	0,99	0,99		
Lmax	4,07					
ИС	0,02					
ОС	2,5					

Примечание. Составлена авторами на основании собственных исследований.

**Таблица 13. Матрица парных сравнений альтернатив по критерию
«скидка за комплект»**

Скидка за комплект	1С-АФСП	PROPHIX	MD NAV	SAP BOE	Z ₁₁	W ₁₁
1С-АФСП	1	2	0,25	0,5	0,71	0,16
PROPHIX	0,5	1	0,5	0,33	0,54	0,12
MD NAV	4	2	1	0,5	1,41	0,31
SAP BOE	2	3	2	1	1,86	0,41
Итого	7,5	8	3,75	2,33	4,52	1
L (Лямбда)	1,17	0,95	1,17	0,96		
Lmax	4,26					
ИС	0,09					
ОС	9,5					

Примечание. Составлена авторами на основании собственных исследований.

множения значений векторов приоритетов альтернатив W_5, W_6 относительно критериев количественного фактора на вектор W_2 , который показывает значимость этих критериев (таблица 14).

Аналогично определяются векторы приоритетов альтернатив относительно физического фактора (W_ϕ), экономического фактора (W_ε) и фокуса иерархии. Вектор приоритетов альтернатив относительно физического фактора представлен в таблице 15.

Аналогичным образом, определяем вектор приоритетов альтернатив относительно экономического фактора, используя следующую формулу:

$$(W_\varepsilon) = [W_{10}, W_{11}] \times W_4 \quad (1)$$

Вектор приоритетов альтернатив относительно экономического фактора выбора автоматизированной

системы управления инновациями в ОАО «Птицефабрика «Рассвет» отражен в таблице 16.

И на заключительном этапе определим результирующий вектор приоритетов альтернатив, рассчитанный по формуле:

$$(W_\phi) = [W_k, W_\phi, W_\varepsilon] \times W_1 \quad (2)$$

Результирующий вектор приоритетов альтернатив имеет вид (табл. 17)

По результирующему вектору видно, что оптимальной является программа SAP Business Objects Enterprise.

Для наглядности отобразим выбор программы для совершенствования системы управления инновациями в ОАО «Птицефабрика «Рассвет» методом МАИ на гистограмме (рис. 2).

Таблица 14. Вектор приоритетов альтернатив с учетом количественного фактора

W_5	W_6	x	W_2	=	W_k
0,312	0,131		0,1		0,149
0,497	0,481		0,9		0,483
0,126	0,291				0,275
0,065	0,097				0,094

Примечание. Составлена авторами на основании собственных исследований.

Таблица 15. Вектор приоритетов альтернатив с учетом физического фактора

W_7	W_8	W_9	W_3	W_ϕ
0,269	0,119	0,134	0,136	0,14
0,121	0,075	0,062	0,625	0,08
0,19	0,285	0,328	0,238	0,28
0,42	0,521	0,476		0,50

Примечание. Составлена авторами на основании собственных исследований.

Таблица 16. Вектор приоритетов альтернатив с учетом экономического фактора

W_{10}	W_{11}	W_4	W_ε
0,175	0,156	0,9	0,17
0,089	0,119	0,1	0,09
0,248	0,313		0,25
0,488	0,412		0,48

Примечание. Составлена авторами на основании собственных исследований.

Таблица 17. Результирующий вектор приоритетов альтернатив

Количественный W_k	Физический W_ϕ	Экономический W_ε	W_1	$W_{\text{факт}}$	Программы
0,149	0,14	0,17	0,16	0,162	1С-АФС
0,483	0,08	0,09	0,249	0,150	PROPHIX
0,275	0,28	0,25	0,594	0,265	MD NAV
0,094	0,50	0,48		0,424	SAP BOE

Примечание. Составлена авторами на основании собственных исследований.

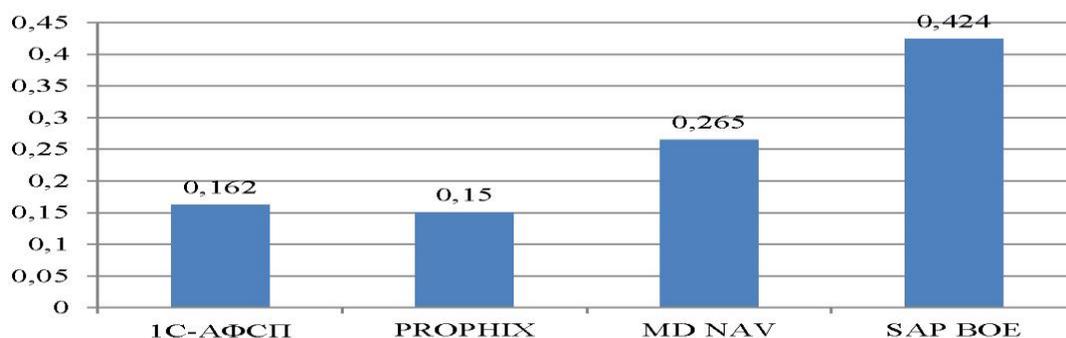


Рисунок 2. Выбор программы для внедрения в ОАО «Птицефабрика «Рассвет» методом анализа иерархий (выполнен авторами на основании собственных исследований)

Заключение

Таким образом, для внедрения в ОАО «Птицефабрика «Рассвет» предлагается программный комплекс SAP Business Objects Enterprise. Расчеты показали, что результирующий вектор приоритета данной информационной системы имеет максимальное значение. Это свидетельствует о значительном превосходстве ее над другими альтернативами с учетом совокупности отобранных авторами разносторонних факторов и критериев и весовых коэффициентов их значимости. Количественный фактор выбора оптимальной программы характеризуется критериями «работа с шаблонами» и «потребность в обучении»; физический фактор характеризуется критериями «удобство интерфейса», «автоматизация операций», «возможность работы в сети»; экономический фактор – критериями «стоимость программы» и «скидка за комплект». SAP Business Objects Enterprise по большинству критериев в большей степени превосходит другие рассматриваемые выше программные продукты.

SAP — один из ведущих мировых производителей программного обеспечения для оптимизации бизнес-процессов и принятия эффективных управленческих решений, требующих анализа и обработки большого объема информации в масштабе всего предприятия. SAP Business Objects Enterprise предоставляет гибкую, масштабируемую бизнес-аналитику (BI), которая позволяет находить и обмениваться данными из разных источников и дает возможность бизнес-пользователям самостоятельно решать задачи, используя обширный набор BI-инструментов на единой платформе.

Предложенная авторами методика выбора оптимальной компьютерной программы позволяет избежать субъективных и неэффективных управленческих решений, неудачных внедрений информационных технологий, ведущих к неоправданным затратам. Оценки потенциальных альтернатив, полученные с помощью данной методики, основаны на строгом математическом аппарате метода анализа иерархий, учитывают множество разноплановых критериев и потому наиболее достоверны.

Научная новизна проведенных исследований состоит в совершенствовании методики анализа и выбора оптимальной информационной системы для автоматизации управления инновационной деятельностью предприятия АПК с помощью метода анализа иерархий.

Авторская методика позволяет дать комплексную и релевантную оценку программного продукта с

учетом количественных, экономических и физических факторов.

Проведенные авторами исследования представляют научный и практический интерес для работников агропромышленного комплекса и могут быть использованы для принятия и обоснования результативных управленческих решений, совершенствования инновационной деятельности предприятий АПК.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анисифоров, А.Б. Методики оценки эффективности информационных систем и информационных технологий в бизнесе: учеб. пособие / А.Б. Анисифоров, Л.О. Анисифорова. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2014. – 96 с.

2. Бахметьева, Е.С. Концептуальные основы интеллектуальной поддержки управленческих решений в системе малого бизнеса / Е.С. Бахметьева // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2009. – № 5. – Санкт-Петербург, 2009. – С. 267-277.

3. Системный анализ и принятие решений в проектной и управленческой деятельности: учеб.-метод. пособие / Б.В. Никульшин [и др.]. – Минск: БГУИР, 2021. – 72 с.

4. Кулакова, О.А. Использование метода анализа иерархий для обоснования выбора сценария развития проекта / А.О. Кулакова, Т.Г. Максимова, С.В. Скорых // Инновации. – 2019. – № 2. – Санкт-Петербургский ГЭУ «ЛЭТИ»: ООО «Трансфер-Инновации». – С. 42-48.

5. Саати, Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий // Т.Л. Саати. – Москва: Радио и связь, 1993. – 278 с.

6. Андрейчиков, А.В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – Издательство: «Финансы и статистика». – 2004. – 203 с.

7. Корсун, Н.Ф. Моделирование и оптимизация в агропромышленном комплексе. Практикум: учеб.-методич. пособие / Н.Ф. Корсун, А.С. Марков, М.М. Кондровская. – Минск: БГАТУ, 2019. – 252 с.

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 желательнее продолжение перенести на следующую строчку;

б) буквы латинского алфавита, обозначающие переменные, постоянные, коэффициенты, индексы и т.д., набираются курсивом;

в) элементы, обозначаемые буквами греческого и русского алфавитов, набираются шрифтом прямого начертания;

г) цифры набираются шрифтом прямого начертания;

д) аббревиатуры функций набираются прямо;

е) специальные символы и элементы, обозначаемые буквами греческого алфавита, использованные при наборе формул, вставляются в текст только в редакторе формул Microsoft Equation.

ж) пронумерованные формулы пишутся в отдельной от текста строке, а номер формулы ставится у правого края.

Нумеруются лишь те формулы, на которые имеются ссылки в тексте.

3. Рисунки, графики, диаграммы необходимо выполнять с использованием электронных редакторов и вставлять в файл документа Word. Изображение должно быть четким, толщина линий более 0,5 пт, размер рисунка по ширине: 5,6 см, 11,5 см, 17,5 см и 8,5 см.

4. Цифровой материал должен оформляться в виде таблиц. Каждая таблица должна иметь заголовок и номер (если таблиц несколько). Рекомендуется установить толщину линии не менее 1 пт. В оформлении таблиц и

графиков не следует применять выделение цветом, заливку фона.

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

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

индекс УДК;

название статьи;

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

аннотацию на русском и английском языках;

ключевые слова на русском и английском языках;

введение;

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

заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;

список цитированных источников;

дату поступления статьи в редакцию.

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

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

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

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

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

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

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

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

9. Плата за опубликование научных статей не взимается.

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

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

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

Система управления электроприводом дробилки зерна

Предназначена для автоматизированного управления загрузкой дробилки зерна по измеренной мощности электродвигателя.

Применение системы управления электроприводом позволяет автоматизировать технологический процесс дробления по загрузке электродвигателя. Система управления корректирует режим работы электропривода в зависимости от исходной влажности зерна.



Основные технические данные

Диапазон регулирования загрузки дробилки зерна	20... 100 %
Диапазон контролируемой влажности зерна	9... 40 %
Погрешность измерения влажности, не более	0,5 %
Мощность электродвигателя дозатора	до 3 кВт
Контроллер имеет унифицированный аналоговый выход 4-20 мА и интерфейс RS-485	

