



ISSN 2078-7138

АГРОПАНОРАМА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

№ 2
апрель
2017

Эксплуатационная оценка широкозахватного пахотного агрегата на базе трактора «БЕЛАРУС 4522С»

Влияние физико-химических свойств районированных в Республике Беларусь сортов картофеля на технологические процессы производства сушеного картофеля

Расчет статических характеристик асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в двигательном и генераторном режимах при частотном управлении скоростью и стабилизации потока возбуждения

Расчет потерь электроэнергии в параллельно работающих трансформаторах



**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Уважаемые коллеги!

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

«Формирование организационно-экономических условий эффективного функционирования АПК»»,

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

25 - 26 мая 2017 г.

Основные направления работы конференции:

- Повышение конкурентной устойчивости организаций АПК на основе инновационной модернизации производства***
- Информационное обеспечение и системные методы в инновационной деятельности АПК***
- Современные направления менеджмента и маркетинга в условиях развития интеграционных процессов***

***г. Минск, пр-т Независимости, 99, корпус 1
Контактные телефоны: (+ 375 17) 267-60-64, 267-51-83
E-mail: Konf_2017@mail.ru
www.batu.edu.by***

АГРОПАНОРАМА 2 (120) апрель 2017

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

Иван Николаевич Шило

Заместитель главного редактора
Михаил Александрович Прищепов

Редакционная коллегия:

И.М. Богдевич	П.П. Казакевич
Г.И. Гануш	Н.В. Казаровец
Л.С. Герасимович	А.Н. Карташевич
С.В. Гарник	Л.Я. Степук
В.Н. Дашков	В.Н. Тимошенко
Е.П. Забелло	А.П. Шпак

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

*Компьютерная верстка
В.Г. Леван*

Адрес редакции:

Минск, пр-т Независимости, 99/1, к. 220
Тел. (017) 267-47-71 Факс (017) 267-41-16

Прием статей и работа с авторами:

Минск, пр-т Независимости, 99/5, к. 602, 608
Тел. (017) 385-91-02, 267-22-14
Факс (017) 267-25-71
E-mail: AgroP@batu.edu.by

БГАТУ, 2017.

Формат издания 60 x 84 1/8.

Подписано в печать с готового оригинала-макета 21.04.2017 г. Зак. № 370 от 17.04.2017 г.

Дата выхода в свет 28.04.2017 г.

Печать офсетная. Тираж 100 экз.

Статьи рецензируются.

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

ЛП № 02330/316 от 30.01.2015 г.

Выходит один раз в два месяца.

Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884.

Стоимость подписки на журнал на 1-ое п/г 2017 г.:

для индивидуальных подписчиков - 17,61 руб.;

ведомственная - 19,29 руб.;

Цена журнала в киоске БГАТУ - 5,19 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

- А.В. Новиков, Д.А. Жданко, Т.А. Непарко, Ф.И. Назаров, Н.Д. Лепешкин**
Эксплуатационная оценка широкозахватного пахотного агрегата на базе трактора «БЕЛАРУС 4522С».....2
- А.В. Кудина, В.С. Ивашко**
Снижение качества деталей машин и технологического оборудования в животноводстве при наводороживании металла техногенной биосредой.....8
- В.М. Капцевич, В.К. Корнеева, Т.А. Богданович**
Проницаемые материалы из медных кабельных отходов, полученные одноосным прессованием.....12

Технологии производства продукции растениеводства и животноводства. Зоотехния

- В.А. Люндышев, В.Ф. Радчиков Е.О. Гливанский**
Отходы сахарного производства в кормлении лактирующих коров.....18

Технологии переработки продукции АПК

- А.М. Мазур**
Влияние физико-химических свойств районированных в Республике Беларусь сортов картофеля на технологические процессы производства сушеного картофеля.....22

Энергетика. Транспорт

- М.А. Прищепов, Е.М. Прищепова, Д.М. Иванов**
Расчет статических характеристик асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в двигательном и генераторном режимах при частотном управлении скоростью и стабилизации потока возбуждения.....26
- Г.И. Янукович, Н.Г. Королевич**
Расчет потерь электроэнергии в параллельно работающих трансформаторах.....37
- М.А. Прищепов, И.А. Цубанова**
К тепловому расчету кожухотрубчатых теплоутилизаторов в системах вентиляции.....39

Аграрное образование

- А.И. Попов, В.М. Синельников, Л.Е. Процко**
Формирование готовности технических специалистов АПК к инновационной деятельности.....43

УДК 631.312

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ШИРОКОЗАХВАТНОГО ПАХОТНОГО АГРЕГАТА НА БАЗЕ ТРАКТОРА «БЕЛАРУС 4522С»

А.В. Новиков,

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

Д.А. Жданко,

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

Т.А. Непарко,

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

Ф.И. Назаров,

ассистент каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ,

Н.Д. Лепешкин,

*заведующий лаб. почвообработки и посева РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,
канд. техн. наук, доцент*

В статье представлены основные эксплуатационные показатели широкозахватного пахотного агрегата в производственных условиях. Дана сравнительная оценка с эксплуатационными показателями других пахотных агрегатов.

Ключевые слова: трактор, плуг, приставка, вспашка, почвообработка, эксплуатационные показатели, пахотный агрегат, расход топлива, производительность.

The article presents the main operational characteristics of a wide-arable aggregate in production conditions. A comparative estimate with the performance of other arable units is given.

Keywords: tractor, plow, attachment, plowing, soil cultivation, exploitation indicators, arable unit, fuel consumption, productivity..

Введение

Дальнейшее увеличение производства продукции растениеводства в крупных сельскохозяйственных предприятиях возможно только на основе применения инновационных технологий и специализированной высокопроизводительной, надежной и конкурентоспособной техники. Для этого в ближайшие 5 лет в растениеводстве предусматривается использовать 379 приоритетных машин и оборудования, из которых 63 машины необходимо освоить в производстве [1]. Всего за пятилетку наряду с другой техникой сельхозпроизводителю республики для технического переоснащения предусматривается поставить 1200 плугов и 1500 тракторов [2], в том числе 1000 тракторов с мощностью двигателя более 250 л. с.

Основная часть

На почвообработку расходуется в среднем около 45 % энергозатрат от общих затрат на производство сельскохозяйственной продукции, в том числе до 25 % приходится на вспашку [3-5]. Высокая энергоемкость вспашки требует тщательного подхода к выбору и комплектованию агрегатов и организации их работы

в поле. С целью снижения затрат на проведение операций почвообрабатывающие агрегаты составляют таким образом, чтобы максимально загружать энергетическое средство. Рациональная загрузка обеспечивается подбором технологических показателей: рабочей скорости, ширины захвата, глубины обработки и массы сельскохозяйственной машины.

Самой энергозатратной операцией является основная обработка почвы, так как в ходе ее выполнения плугу необходимо подрезать, перемешать, измельчить и перевернуть почвенный пласт. Отказ от проведения основной обработки ввиду сильной засоренности почв республики сорняками, на данный момент невозможен, поэтому возрастает актуальность повышения ее эффективности и снижения затрат на проведение.

С целью рациональной загрузки энергетических средств, повышения качества основной обработки и снижения энергетических затрат на выполнение последующих почвообрабатывающих операций в конструкциях плугов широко применяются различные дополнительные устройства для поверхностной обработки почвенных пластов. Они обеспечивают разрушение комков и предотвращение образования глыб,

более компактное размещение почвенных агрегатов, увеличение капиллярной пористости, создание более однородного состояния обрабатываемого слоя, частичное выравнивание поверхности почвы и сохранение накопленной влаги. С агротехнической точки зрения, применение дополнительных устройств в конструкциях плугов позволяет оптимально использовать время, обеспечить требуемое качество подготовки почвы к посеву и совместить агротехнические приемы для борьбы с потерями почвенной влаги [4-14].

В настоящее время существует несколько способов агрегатирования катковых приставок в пахотных агрегатах (рис. 1.): навешиваемые спереди трактора (рис. 1а); навешиваемые на раму плуга (рис. 1б); прицепные (рис. 1в) и комбинированные (сочетание различных способов агрегатирования двух и более приставок).

В 2016 году в Республике Беларусь прошел испытания трактор «Беларус- 4522С» [15] и оборотный плуг ПО-(8+4)-40 с тремя катковыми приставками, навешенными на его раму [16]. Трактор «Беларус-4522С» представляет собой трактор общего назначения тягового класса 8 с колесной формулой 4 К4. Он предназначен для выполнения энергоемких сельскохозяйственных работ в тяговом и тягово-приводном режимах. На нем установлен 6-цилиндровый дизельный двигатель GaterpillarC13 номинальной мощностью 317 кВт (431 л.с.) [15]. Эксплуатационная масса трактора – 14785 кг, максимальный (номинальный) расход топлива – 62,7 кг/ч, расход топлива на холостом ходу двигателя – 27,3 кг/ч, максимальная мощность двигателя может достигать 342,7 кВт (466 л.с.).

Оборотный плуг ПО-(8+4)-40 (рис. 2) предназначен для гладкой вспашки различных почв, в том числе засоренных камнями и другими препятствиями, с удельным сопротивлением до 0,09 МПа на глубину до 0,27 м. Он агрегируется с трактором «Беларус-4522С» и его зарубежными аналогами. Плуг состоит из рамы 1, тяговой балки 2, навески 3, механизма оборота 4, корпусов 5 с предохранителями, колесного хода 6, гидросистемы 7, опорного колеса 8 и электрооборудования 9. Плуг оснащен тремя приставками 10 для дополнительной обработки почвы. Кроме того, плуг может комплектоваться уширителем борозды, предплужниками, передними опорными колесами и датчиком глубины пахоты. Каждая из приставок 10 представляет собой конструкцию, включающую набор кольчато-шпоровых (кольчато-прутковых) катков, установленных на общей оси и предназначенных для дробления глыб и уплотнения верхних слоев почвы. Плуг может использоваться как с приставками, так и без них.

Характеристика плуга ПО-(8+4)-40 представлена в табл. 1.

В 2016 году проведены испытания опытного образца плуга в производственных условиях (рис. 3). Испытания проводились на полях ОАО «1-я Минская птицефабрика», КУП «Минская овощная фабрика» Минского района, СПФ «Агрострой», ОАО



а)



б)



в)

Рисунок 1. Схемы установки катковых приставок на пахотных агрегатах:
а, б – навешиваемые; в – прицепные

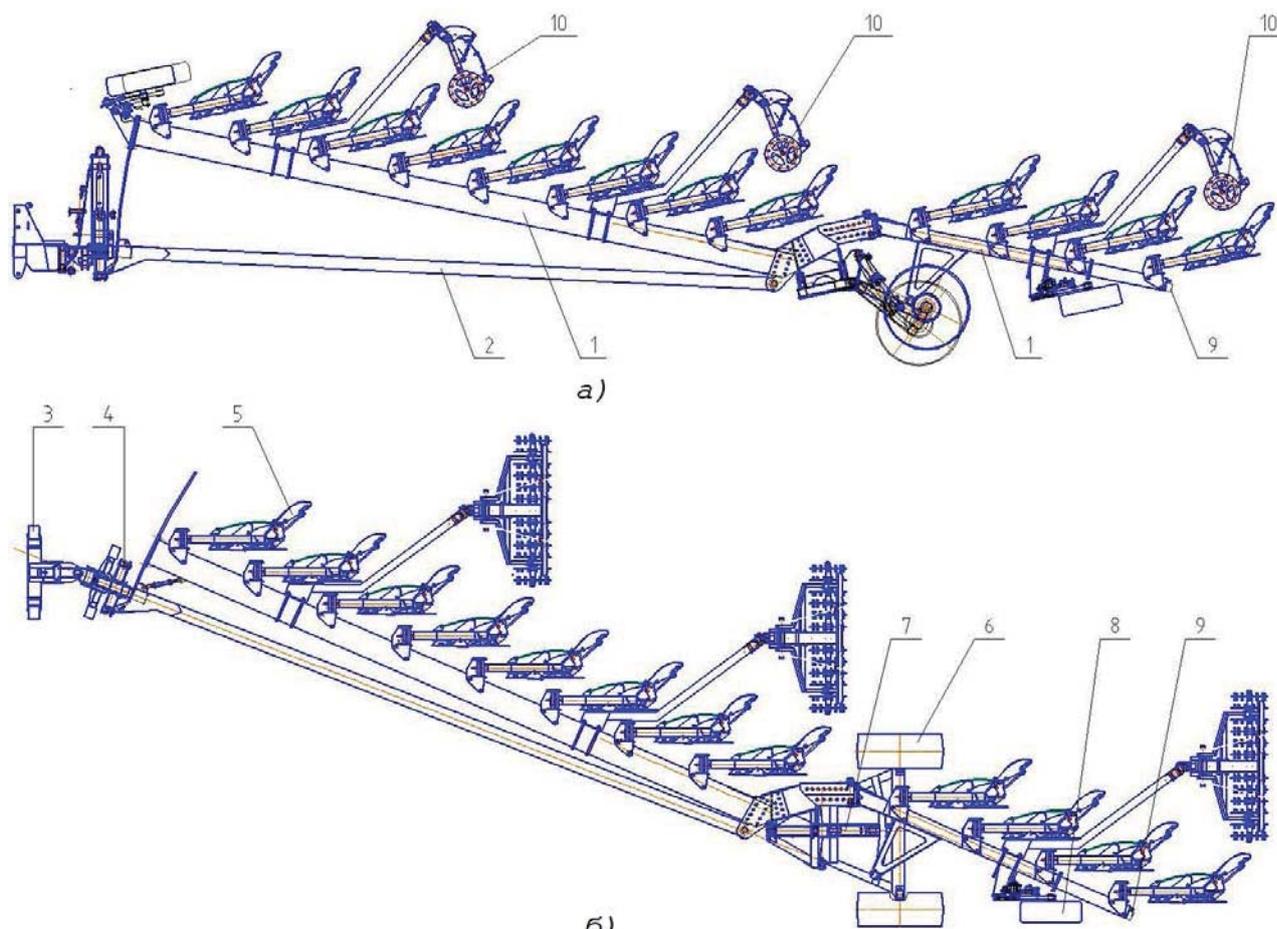


Рисунок 2. Плуг 12-ти корпусный оборотный ПО-(8+4)-40 в транспортном (а) и рабочем (б) положении: 1 – рама; 2 – тяговая балка; 3 – навеска; 4 – механизм оборота; 5 – корпус; 6 – колесный ход; 7 – гидросистема; 8 – опорное колесо; 9 – электрооборудование; 10 – приставки для дополнительной обработки почвы.

«Минскжелезобетон» Червенского района Минской области и РСУП «Совхоз «Лидский» Лидского района Гродненской области. Плуг агрегатировался с тракторами «Беларус-4522С» и «Беларус-3522С».

Испытания плуга ПО-(8+4)-40 проводились с приставками и без них на вспашке поля со стерней кукурузы (агрофон 1, табл. 2), а также с приставками на вспашке многолетних трав (агрофон 2, табл. 2).

В табл. 2 приведены результаты испытаний плуга ПО-(8+4)-40.

При проведении эксплуатационно-технологической оценки установлено, что производительность плуга ПО-(8+4)-40 в агрегате с трактором «Беларус 4522С» на вспашке поля с многолетними травами, соответственно с приставками и без них, составила: за один час основного времени – 4,82 и 4,87 га, за один час сменного – 3,34 и 3,38 га, а за час эксплуатационного – 3,25 и 3,38 га [16].

Удельный расход топлива за один час сменного времени при работе плуга с приставками составил 16,6 кг/га, а без них – 16,6 кг/га. Коэффициенты использования сменного времени составили 0,69 и 0,71. Снижение коэффициента использова-



а)



б)

Рисунок 3. Испытания опытного образца плуга ПО-(8+4)-40: а – в заводских условиях; б – в полевых условиях

ния сменного времени объясняется в основном значительными затратами времени на повороты, переезды, проведение ежесменного технического обслуживания и регламентированными затратами времени в течение смены.

По известному гектарному расходу топлива θ (кг/га) можно определить расход G_t (кг/ч) топлива

за один час сменного времени по следующей формуле [17]:

$$G_t = \theta \cdot W_{\text{ч}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{ч}}$ – производительность пахотного агрегата за один час сменного времени, га/ч. По результатам испытаний $W_{\text{ч}} = 3,34-3,48$ га/ч [16].

При изменении гектарного расхода топлива с 16,6 до 16,8 кг расход топлива за один час сменного времени согласно (1) изменяется с 55,44 до 58,46 кг.

Известно, что загрузка двигателя η_e трактора может быть определена по следующему уравнению [17]:

$$\eta_{ei} = \frac{G_{ti} - G_{\text{хд}}}{G_{\text{тн}} - G_{\text{хд}}} \cdot 100, \%, \quad (2)$$

где G_{ti} – часовой расход топлива, соответствующий нагрузке двигателя η_{ei} , кг/ч;

$G_{\text{хд}}$, $G_{\text{тн}}$ – соответственно максимальный расход топлива на холостом ходу двигателя и при номинальном режиме, кг/ч. Для двигателя трактора «Беларус 4522С» $G_{\text{хд}} = 27,3$ кг/ч, $G_{\text{тн}} = 62,7$ кг/ч.

Подставив приведенные значения величин в зависимость (2), находим, что средняя загрузка двигателя широкозахватного пахотного агрегата составляет от 79,5 до 88,0 %.

Мощность двигателя $N_{e_{\text{xx}}}$ (кВт) при холостом ходе пахотного агрегата на горизонтальном участке можно определить как [17]

$$N_{e_{\text{xx}}} = \frac{(G_{\text{тр}} \cdot f_{\text{тр}} + G_{\text{пл}} \cdot f_{\text{пл}}) v_x}{\eta_{\text{мг}} \cdot \eta_{\delta}}, \quad (3)$$

где $G_{\text{тр}}$ и $G_{\text{пл}}$ – соответственно эксплуатационный вес трактора и вес плуга, кН. $G_{\text{тр}} = 145$ кН, $G_{\text{пл}} = 73,2$ кН без приставок и $G_{\text{пл}} = 82,0$ кН с приставками;

$f_{\text{тр}}$ и $f_{\text{пл}}$ – соответственно коэффициент сопротивления качению трактора и плуга. На вспашке поля по стерне кукурузы осенью $f_{\text{тр}} = 0,07$, $f_{\text{пл}} = 0,12$ [17];

v_x – скорость холостого хода агрегата, м/с. Обычно v_x принимают равной рабочей v_p скорости.

По результатам испытаний $v_p = 8-10$ км/ч, что составляет 2,22-2,78 м/с;

$\eta_{\text{мг}}$ – механический КПД трансмиссии. Для колесных тракторов может быть принят равным 0,85 [17];

Таблица 1. Характеристики плуга ПО-(8+4)-40 [16]

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение
Конструктивная ширина захвата плуга	м	4,8
Рабочая ширина захвата агрегата	м	5,04–5,13
Масса плуга:	кг	
без катковых приставок		7460
с катковыми приставками		8360
Габаритные размеры плуга: в рабочем положении:	м	
длина		15,55
высота		2,12
ширина без катковых приставок		4,55
ширина с катковыми приставками		5,60
Расстояние между корпусами:	м	
по раме		1,0
между 8 и 9		2,45
Диаметр катков приставки	м	0,45
Рабочая скорость	км/ч	8-10
Минимальный радиус поворота	м	14

Таблица 2. Результаты испытаний ПО-(8+4)-40 [16]

Наименование показателя	Ед. изм.	ПО-(8+4)-40		
		Без приставок (агрофон 1)	С приставками	
			агрофон 1	агрофон 2
Глубина вспашки	м	0,21	0,22	0,22
Отклонение фактической глубины от заданной	м	-0,01	0	+0,01
Отклонение от конструктивной ширины захвата	м	6,4	6,4	4,8
Глубина заделки растительных и пожнивных остатков	м	12	13	11
Полнота заделки растительных и пожнивных остатков	%	98,4	98,8	98,6
Гребнистость поверхности пашни	м	0,04	0,03	0,03
Крошение пласта на фракции размером до 50 мм	%	78,7	81,5	82,9
Производительность за час времени:	га			
основного		4,87	4,82	нет данных
сменного		3,48	3,34	нет данных
эксплуатационного		3,28	3,25	нет данных
Удельный расход топлива за сменное время	кг/га	16,6	16,8	нет данных
Коэффициент использования сменного времени		0,71	0,69	нет данных

η_{δ} – коэффициент полезного действия буксования при допустимом буксовании движителей колесного трактора в 15 %. $\eta_{\delta} = 0,85$.

Подставив исходные данные в уравнение (3), находим, что мощность $N_{e_{xx}}$ двигателя при холостом

ходе агрегата на горизонтальном участке составляет от 58,16 до 76,92 кВт. Тогда при максимальной мощности двигателя в 342,7 кВт загрузка двигателя $\eta_{e_{xx}}$ трактора на холостом ходу пахотного агрегата составит $\eta_{e_{xx}} = 17 \dots 22 \%$.

Представим уравнение (2) в следующем виде:

$$G_{T_{xx}} = G_{xд} + (G_{T_n} - G_{xд})\eta_{e_{xx}}, \quad (4)$$

где $\eta_{e_{xx}}$ – загрузка двигателя на холостом ходу пахотного агрегата, равная $\eta_{e_{xx}} = 0,17 \dots 0,22$.

Тогда часовой расход топлива $G_{T_{xx}}$ на холостом ходу двигателя составит 33,3 ... 35,1 кг/ч.

Анализ эксплуатационных показателей пахотного агрегата «Беларус 4522С» + ПО-(8+4)-40 с катковыми приставками в сравнении с другими агрегатами показывает следующие результаты.

Широкозахватный пахотный агрегат не уступает по производительности и расходу топлива агрегату в составе того же трактора «Беларус 4522С» и импортного аналога 12-ти корпусного оборотного плуга РW100-12 фирмы «Kvernelad» [16].

Пахотный агрегат «Беларус 3022» + ППО-8–40К имеет расход топлива за сменное время – 17,2 кг/га при производительности за один час сменного времени – 2,1 га [18]. В сравнении с данным агрегатом использование опытного широкозахватного пахотного агрегата позволяет увеличить производительность на 38 % и в 1,04 раза снизить расход топлива. Коэффициенты использования сменного времени остаются практически одинаковыми.

Заключение

1. Современный широкозахватный пахотный агрегат на базе трактора «Беларус 4522С» по эксплуатационным показателям не уступает пахотному агрегату при агрегатировании с зарубежным 12-ти корпусным оборотным плугом.

2. Средняя загрузка двигателя трактора на пахоте находится в пределах от 79,5 до 88,0 %, а при холостом ходе пахотного агрегата не более 17...22 %.

3. При нормативной годовой загрузке плуга 150 ч выработка пахотного агрегата может составить более 500 га. При этом использование дополнительных приспособлений для дополнительной обработки поч-

венных пластов позволит не только повысить качество основной обработки почвы, но и сэкономить на годовом объеме работ до 100 кг топлива.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция системы машин и оборудования для реализации инновационных технологий производства, первичной переработки и хранения основных видов сельскохозяйственной продукции до 2015 г. и на период до 2020 г. (рекомендации по применению). – Минск: НАН Беларуси, 2014. – 138 с.

2. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 гг. – Минск, 2016. – 59 с.

3. Технология производства продукции растениеводства / И.П. Фирсов [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1989. – 432 с.

4. Навесной оборотный плуг с регулируемой шириной захвата для обработки не засоренных камнями почв / И.С. Крук [и др.] // Агропанорама, 2009. – № 6. – С. 9-12.

5. Тимошенко, В.Я. Как эффективнее использовать тракторы на пахоте / В.Я. Тимошенко, А.В. Новиков, Л.Ю. Дудко // Агропанорама, 2004. – № 2. – С. 17-18.

6. Назаров, Ф.И. Повышение эффективности использования катковых приставок в комбинированных пахотных агрегатах / Ф.И. Назаров // Весці Нац. акадэміі навук Беларусі: в 5 ч. Молодежь в науке – 2014 (прилож. к журналу). – Минск: Беларуская навука, 2015. – Ч. 5. – С. 125-128.

7. Крук, И.С. Совмещение операций основной и поверхностной обработки почвы / И.С. Крук, Ю.В. Чигарев, Ф.И. Назаров // Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь: сб. тезисов II Всеукраїнської науково-практич. конф., Житомир, 7-8 квітня 2016 року. – Житомир, 2016. – С. 10-12.

8. Повышение эффективности использования дополнительных устройств для поверхностной обработки почвенного пласта в пахотных агрегатах / И.С. Крук [и др.] // The 8th International Research and Development Conference of Central and Eastern European Institutes of Agricultural Engineering: сб. статей, Poznan, Puszczkowo, Poland, June 25-28, 2013. – С. 13-17.

9. Крук, И.С. Обеспечение требуемого качества подготовки почвы под посев культур при использовании дополнительных почвообрабатывающих устройств в пахотных агрегатах / И.С. Крук, Ф.И. Назаров // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. научн.-практ. конф., Минск, 28-30 ноября 2013 г./ Белор. гос. аграрн. технич. ун-т. – Минск: БГАТУ, 2013. – С. 279-282.

10. Крук, И.С. Повышение эффективности использования катковых приставок в комбинированных пахотных агрегатах / И.С. Крук, Ю.В. Чигарев, Ф.И. Назаров // Материалы XVI Międzynarodowa konferencja naukowa «Trendy w inżynierii rolniczej – energia odnawialna» z cyklu «Problemy inżynierii rolniczej». – Międzyzdroje, Poland, 4-6 czerwca 2014. – С. 50-53.

11. Крук, И.С. Обеспечение требуемого качества обработки почвы при использовании оборотных плугов с катковыми приставками / И.С. Крук, Ф.И. Назаров // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК: материалы Междунар. научн.-практ. конф., Минск, 4-6 июня 2014 г.: в 2 ч./ Белор. гос. аграрн. технич. ун-т. – Минск.: БГАТУ. – Ч. 2. – С. 273-277.

12. Крук, И.С. Особенности использования почвообрабатывающих катков в конструкциях современных сельскохозяйственных агрегатов / И.С. Крук, Ф.И. Назаров, П.В. Косовский // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы Междунар. научн.-практич. конф., Минск, 23-24 октября 2014 г.: в 2 ч. / Белор. гос. аграрн. технич. ун-т. – Минск.: БГАТУ, 2014. – Ч. 1 – С. 201-203.

13. Дополнительные орудия для повышения эффективности основной обработки почвы оборотными плугами / О.В. Гордеенко [и др.] // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы Междунар. научн.-практич. конф., Минск, 8-9 июня 2016 г. / Белор. гос. аграрн. технич. ун-т. – Минск: БГАТУ. – С. 122-128.

14. Результаты экспериментальных исследований воздействия уплотняющих элементов почвообрабатывающего рабочего органа катковой приставки на почву / И.С. Крук [и др.] // Агропанорама, 2015. – № 4 (110). – С. 2-5.

15. BELARUS-4522 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belarus-tractor.com/catalog/newitems/belarus-4522/>. – Дата доступа: 15.02.2017.

16. Протокол № 093Б 1/2 – 2016 ИП приемочных испытаний опытного образца плуга 12-корпусного оборотного ПО-(8+4)-40. Пос. Привольный Минского района: ИЦ ГУ «Белорусская МИС», 2016. – 75 с.

17. Техническое обеспечение производства продукции растениеводства. Практикум: учебное пос. / А.В. Новиков [и др.]; под ред. А.В. Новикова. – Минск: БГАТУ, 2011. – 408 с.

18. Самосюк, В.Г. Насколько эффективен 500-сильный трактор в условиях Беларуси? / В.Г. Самосюк, А.В. Ленский [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agriculture.By/articles/tehnira-i-tehnologii/naskolko-jeffektiven-500silnyj-tractor-v-uslovijah-belarusi>. – Дата доступа: 16.02.2017.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 28. 02.2017

СНИЖЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ ПРИ НАВОДОРОЖИВАНИИ МЕТАЛЛА ТЕХНОГЕННОЙ БИОСРЕДОЙ

А.В. Кудина,

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

В.С. Ивашко,

заведующий каф. технической эксплуатации автомобилей БНТУ, докт. техн. наук, профессор

Водород является одним из самых распространенных химических элементов в природе. Молекулярный водород вступает в реакции с немногими химическими элементами, но, превращаясь в радикал, взаимодействует со многими. Насыщение металла водородом приводит к наводороживанию и разрушению. Приводится хронология и раскрывается сущность процессов механизма наводороживания, водородного изнашивания и разрушения металла, которые разработаны на основе анализа результатов научных исследований и экспериментов.

Ключевые слова: металлоповерхность, водород, микроструктура, наводороживание, водородное растрескивание.

Hydrogen is one of the most common chemical elements in nature. Molecular hydrogen reacts with few chemical elements, but, turning into a radical, interacts with many. Saturation of the metal with hydrogen leads to hydrogenation and destruction. A chronology is given and the essence of the processes of the hydrogenation mechanism, hydrogen wear and metal destruction, developed on the basis of analysis of the results of scientific research and experiments, is revealed.

Keywords: metal surface, hydrogen, microstructure, hydrogenation, hydrogen cracking.

Введение

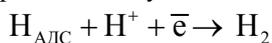
В странах с высокоразвитым промышленным животноводством особенную опасность для деталей машин и механизмов технологического оборудования представляли и представляют отходы животноводческих предприятий промышленного типа, так называемая рабочая техногенная биосреда. Именно на примере отходов крупных животноводческих комплексов (навоза) можно легко проследить роль микроорганизмов в биокоррозионном разрушении деталей машин и механизмов, контактирующих с этими техногенными биосредами. Известно, что в биохимический состав навоза входит множество микроорганизмов и органохимических элементов, которые активно способствуют биохимическим превращениям, образуя в процессе метаболизма химически активные радикалы и водород. Водород, являясь одним из основных химических элементов в составе живых микроорганизмов, как биогенный элемент занимает важное место в метаболизме бактерий. В одних случаях он является продуктом их жизнедеятельности, а в других окисляется, давая энергию и обеспечивая в окружающем пространстве протекание и развитие биологических и биосинтетических процессов. Известно, что большое значение для метаболизма водородообразующих микроорганизмов имеет обеспечение их железом. При дефиците этого элемента выделение водорода резко снижается или вообще не происходит. В зави-

симости от особенностей микроорганизмов и окружающей их среды клетки по-разному выделяют водород во внешнее пространство [1, 2]. Водород растворяется в окта- и тетрапорах кристаллической решетки металлов в ионизированном состоянии, накапливается в кавернах, трещинах и других дефектах металла в молекулярной форме, вступает в химическое взаимодействие с различными элементами и фазами, имеющимися в металлах и сплавах. Он адсорбируется внутри дефектов металла на поверхностях микротрещин и микрополостей, чем способствует развитию сегрегации кристаллов и созданию неоднородности химического состава металлов и сплавов, наводороживая контактирующую поверхность и проникая внутрь металла. В зависимости от природы металла и условий его насыщения водородом, формируются разные формы его состояния, между которыми существует динамическое равновесие. Такое состояние водорода в стали подтверждено результатами исследований по определению фракционного состава газа в металлах. В обычных условиях молекулярный водород вступает в реакции лишь с немногими элементами, но при нагревании, превращаясь в радикал, взаимодействует со многими [2, 3].

Цель настоящей работы – раскрыть причины и механизм интенсивного изнашивания трибоповерхностей деталей машин и технологического оборудования промышленного животноводства, снижающих качество их узлов и механизмов.

Основная часть

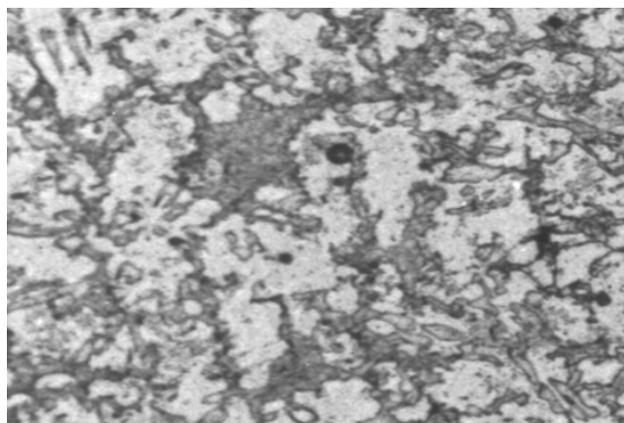
Процессы наводороживания металла начинаются с взаимодействия его поверхностей с сопрягаемыми микроэлементами и микрочастицами, находящимися в окружающей среде. В результате взаимодействия ненасыщенных силовых полей твердого тела с силовыми полями молекул газа, движущихся к твердой поверхности, или взаимодействия жидкости, соприкасающейся с твердым телом, поверхность последнего покрывается пленкой веществ, содержащихся в окружающей среде: газов, паров воды и других жидкостей. Кроме того, в пленке находятся микрочастицы различных веществ и микроорганизмов из окружающего пространства, соприкасающегося с поверхностью твердого тела. Характер взаимодействий образующихся пленок с металлом определяется как свойствами самого металла, так и воздействием на него окружающей среды в поверхностях раздела фаз, а также интенсивностью физических и химических процессов, протекающих как в металлоповерхностях, так и в самом разделяющем слое [3-6]. Поверхность металла, взаимодействуя с химическими соединениями, свободными радикалами, а также с микроорганизмами из окружающей среды (биофакторами) и продуктами их метаболизма, подвергается структурному разупрочнению и повреждению, что инициирует и ускоряет процессы электрохимической, химической и биологической коррозии, способствующие выделению водорода. Образовавшиеся атомы водорода адсорбируются трибоповерхностью детали, проникают внутрь металла и накапливаются в дефектах его структуры. Результаты проведенных исследований показали [7], что металлические детали сельхозтехники, подвергшиеся биокоррозионному разрушению, содержат повышенное количество водорода: от 12×10^{-3} – до 38×10^{-3} % мас. Такое количество водорода в металле можно объяснить только результатом адсорбционного взаимодействия изнашиваемой поверхностью детали, как с окружающим пространством, так и с композиционным составом техногенной среды, при котором протекают физические, трибохимические и биохимические процессы с выделением водорода и последующим поглощением его металлом. Адсорбированный водород внутри металла преобразуется в молекулярный по следующей зависимости:



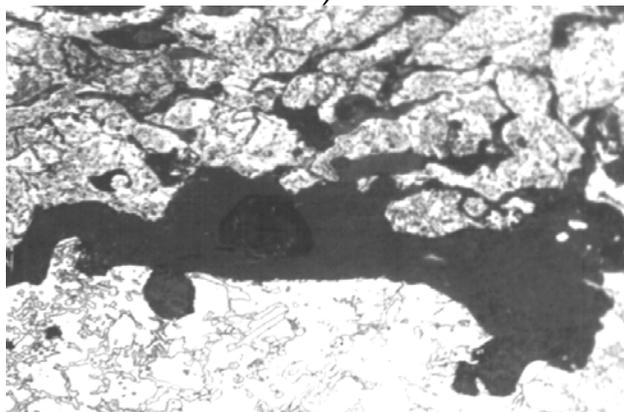
Исследования структуры поверхностного слоя детали узла трения скребкового транспортера для уборки навоза сельскохозяйственных животных до и после биокоррозионного разрушения показали (рис. 1), что структура поверхности детали заводского изготовления (рис. 1а) является цельной и однородной без каких бы то ни было внутренних дефектов, а вот в структуре поверхностного слоя металла аналогичной детали, выработавшей ресурс (рис. 1б), отчетливо видны следы биокоррозионного разрушения поверхностного слоя. Они представляют собой суб- и микротрещины, раковины и каверны, в которых легко

накапливаются выделяющиеся при коррозии химически активные радикалы, метаболиты и газы, в т.ч. и адсорбционный водород [7], который, накапливаясь в межкристаллитном пространстве, осуществляет наводороживание поверхностного слоя металла и создает высокие удельные давления в местах его концентрации по всему объему материала.

Наводороживанию подвергается относительно тонкий поверхностный слой, имеющий специфическое напряженно-деформированное состояние. Этот слой образуется в результате механической или термической обработки металла и значительно отличается от глубинных слоев по своей микроструктуре. Максимальное наводороживание приходится на слой толщиной около 40 мкм, но при возникновении растягивающих напряжений в металле, не только увеличивается количество водорода в нем, но и смещается максимум наводороживания и содержание его по глубине [3, 6]. Накопление дислокаций и растягивающие внутренние напряжения благоприятствуют возникновению суб- и микроколлекторов, которые заполняются атомарным водородом, превращающим-



а)



б)

Рисунок 1. Структура металлоповерхности детали узла трения транспортера, х 500:

а - поверхность детали заводского изготовления (до биоразрушения);

б - поверхность детали, выработавшая ресурс (после биокоррозии).

ся в молекулы. Кроме коллекторов, заполненных молекулярным водородом, атомарный (диффузионно-подвижный) водород попадает в ловушки внутренней структуры металла (вакансии, дислокации, области объемного растяжения кристаллической решетки), обусловленные полями внутренних локальных микронапряжений, где он также превращается в молекулы. Накопление повреждений в структуре поверхностного слоя металла и аномально высокое насыщение его водородом, при циклическом деформировании, приводят к структурному разупрочнению, разрыхлению и разрушению поверхностного слоя с последующим его наводороживанием. Наводороживание металла неразрывно связано с разрушением структуры и потерей физико-механических свойств, поэтому его следует рассматривать как начальный этап водородного износа и разрушения, т.е. процессов водородного изнашивания, охрупчивания и растрескивания металла.

Насыщение металла водородом происходит благодаря его диссоциации на поверхности металла при образовании различных химических комплексов и радикалов, а также при деструкции клеток живых микроорганизмов. В работах [1-7] отмечено, что одним из существенных источников образования водорода являются процессы микробиологического синтеза, протекающие на поверхности металла при наличии биологического фактора, который инициирует биокоррозионные процессы. На рис. 2 представлена структура поверхностного слоя металла, подвергнутого биокоррозионному разрушению и наводороживанию. В верхней части поверхностного слоя, толщиной 0,075...0,20 мм, отчетливо виден поврежденный биокоррозией тонкий поверхностный слой металла с характерными повреждениями и разрушениями структуры. Под биоповрежденным поверхностным

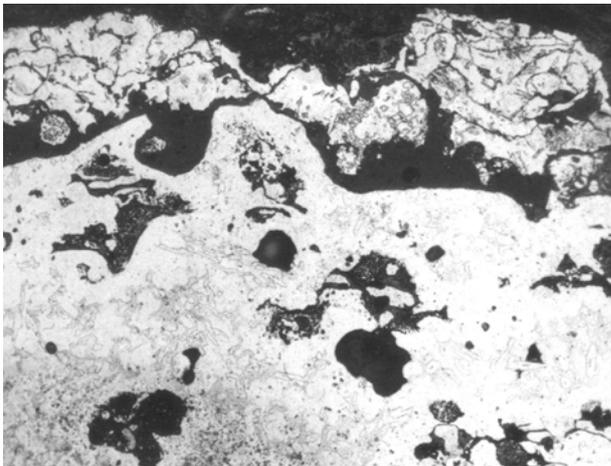


Рисунок 2. Структура поверхностного слоя стального образца, подвергнутого коррозионному разрушению и наводороживанию, x 500

слоем формируются локальные очаги разрушения целостности структуры основного металла в виде внутренних микродефектов (трещины, пустоты, поры, коллекторы и пр.), в которых происходит

накопление водорода. Известно [8, 9], что трещины зарождаются в зоне максимальных растягивающих напряжений, в вершинах микродефектов, расположенных у поверхности металла по границам зерен.

Развитие трещин приводит к образованию микропустот и их соединению (слиянию) с другими внутренними микродефектами, в которых накопление водорода создает высокие удельные давления, происходит формирование макро- и микроскопических трещин. Характерной особенностью этих трещин является межкристаллический вид разрушения, причем, они образуются вдоль направления роста столбчатых кристаллов.

Во всех подобных случаях растрескивание металла вызывают атомы водорода, проникающие внутрь его, либо в результате коррозионных реакций, либо при катодной поляризации. Водород, проникая внутрь металла, получает доступ к новым внутренним поверхностям дефектов его структуры и, при их резком увеличении, активно взаимодействует с ними, способствуя интеркристаллитному растрескиванию металла. Накопление повреждений структуры металла и аномально высокое насыщение его водородом приводит к сильному ухудшению таких механических характеристик металла, как выносливость при циклическом деформировании [9]. Одной из основных причин этого является наводороживание металла с формированием поверхностного водородонасыщенного слоя. Знакопеременное деформирование насыщенного водородом слоя приводит к некоторому перераспределению водорода по глубине металла, толщина водородонасыщенного слоя увеличивается, максимум водородосодержания сглаживается, но затем происходит движение водорода вглубь объема материала, сопровождающееся микрорастрескиванием. Механизм растрескивания металла объясняется развитием внутреннего давления, вызванного скоплением в пустотах и других благоприятных местах газообразного водорода, образующегося при слиянии атомарного водорода, растворенного в кристаллической решетке. Кроме того, диффузия и адсорбция водорода в вершинах трещин снижают поверхностную энергию атомов напряженного металла. Особенностью водородного растрескивания является специфическая задержка в появлении трещин после приложения нагрузки. Задержка перед появлением трещин связана с тем, что для диффузии водорода к специфическим участкам вблизи ядра трещины и для достижения достаточной для разрушения концентрации требуется время. Эти специфические участки окружены дефектами, возникающими в результате пластической деформации металла. Атомы водорода из кристаллической решетки, диффундируя к дефектам, переходят в более низкое энергетическое состояние. Трещина распространяется прерывисто, так как каждому последующему шагу ее роста предшествует пластическая деформация, затем диффузия водорода к дефектам. Любые факторы, снижающие растворение водорода в стали, повышают ее устойчивость к растрескиванию. Например, сплавления металла с небольшими количествами платины или палладия катализируют образование моле-

кулярного водорода на поверхности стали, а легирование металла медью, алюминием и кальцием тормозят коррозионные процессы за счет образования пленок сульфидов и патины, что повышает стойкость металла к наводороживанию [3, 9, 10].

Заключение

На снижение качества и надежности деталей, как машин, так и технологического оборудования промышленного животноводства, существенное влияние оказывают процессы биокоррозии, наводороживания, интенсивного изнашивания и разрушения металлов. Эти процессы неразрывно связаны с накоплением водорода в дефектах, как поверхностного слоя металла, так и внутри его, которое приводит к созданию высоких внутренних напряжений в местах концентрации водорода и образованию микро- и макротрещин. Кинетика механизмов изнашивания поверхностей трения деталей машин, а также результаты выполненных исследований, позволяют заключить, что механизм разрушения металлов водородом протекает по следующей закономерности:

1. Образование на металлоповерхностях тонких пленок из водородосодержащих химических соединений и водородообразующих микроорганизмов с питательной средой; адгезия молекул химических соединений, микроорганизмов и продуктов их метаболизма с поверхностью металла и образование на ней зон (пятен) коррозионной активности.

2. Биоценоз и синтрофизм микроорганизмов в зонах коррозионной активности, зарождение и протекание электрохимических, химических и биохимических реакций, деструкция клеток и молекул соединений под воздействием физических, химических и биологических факторов с образованием химически активных элементов и свободных радикалов, в том числе и водорода.

3. Разрыхление структуры поверхностного слоя металла, нарушение ее целостности и однородности, изменение микро- и макрогеометрии, рост и увеличение ультрамикроскопических дефектов поверхности в виде трещин и раковин, количество которых постоянно возрастает в результате воздействий коррозионных и химических процессов, что создает систему дефектов – слабых мест поверхности металла, так называемых, очагов повреждений.

4. Образование очагов повреждений поверхности, усиление адсорбции металлом водорода и свободных радикалов, проникновение их вглубь металла в межкристаллитное пространство и кристаллическую решетку, способствуют зарождению и развитию внутренних суб-микро- и макротрещин, распространяющихся по всему объему металла.

5. Адсорбированный металлом водород в образовавшихся трещинах и дефектах структуры накапливается, превращаясь в молекулы. Накопление молекулярного водорода в ограниченном пространстве металла приводит к созданию в нем высоких локальных внутренних напряжений, которые разрушают атомные связи и

структуру кристаллической решетки, чем инициируется трещинообразование.

6. Насыщение металла ионами водорода и их концентрация вблизи узлов кристаллической решетки приводит к разрыхлению структуры металла: она теряет свои прочностные характеристики, происходит водородное охрупчивание, а дальнейшее насыщение металла водородом, при одновременном воздействии растягивающих напряжений, приводит к водородному растрескиванию. Трещины при водородном растрескивании в основном транскристаллитные.

Разработанный механизм разрушения металлов водородом позволяет расширить представление о физике процессов изнашивания и разрушения металлов, глубже понять причины и механизмы потери работоспособности узлов и деталей машин, работающих в контакте с техногенными биокоррозионными и водородосодержащими средами, и на основе их анализа находить оптимальные технические решения по повышению качества и надежности машин и технологического оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивашко, В.С. Разрушение микроорганизмами материалов деталей машин и механизмов по производству и переработке сельхозпродукции / В.С. Ивашко, В.В. Кураш, А.В. Кудина // Агропанорама, 2007. – №2. – С. 36-40.

2. Кондратьева, Е.Н. Молекулярный водород в метаболизме микроорганизмов / Е.Н. Кондратьева, И.Н. Гоготов. – М: Наука, 1981. – 344 с.

3. Шелег, В.К. Водородостойкие защитные материалы для деталей трения машин и оборудования, работающих в техногенных водородосодержащих средах / В.К. Шелег, А.Ф. Присевко // Вестник Белорусского национального технического университета, 2007. – № 3. – С. 15-22.

4. Кураш, В.В. Исследование состава коррозионно-стойких металлопокрытий с низкой водородопроницаемостью, сформированного методом наплавки / В.В. Кураш, А.В. Кудина, Н.К. Лисай, А.Н. Лисай // Агропанорама, 2011. – №2. – С. 35-39.

5. Ивашко, В.С. Теоретические аспекты кинетики изнашивания поверхностей деталей машин и механизмов / В.С. Ивашко, В.В. Кураш, А.В. Кудина // Вестник Белорусского национального технического университета, 2005. – № 5. – С. 59-63.

6. Гаркунов, Д.Н. Виды трения, изнашивания и эксплуатационные повреждения деталей машин / Д.Н. Гаркунов, П.И. Корник, Э.Л. Мельников // Ремонт, восстановление, модернизация. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – № 7. – С. 43-49.

7. Кураш, В.В. Исследование наводороживания металлоповерхностей деталей рабочих органов машин, агрегатов и сборочных единиц сельскохозяйственной техники / В.В. Кураш, Ю.И. Титов, А.В. Кудина // Агропанорама, 2010. – №3. – С. 39-42.

8. Чичинадзе, А.В. Трение, износ и смазка (Трибология и триботехника) /А.В. Чичинадзе, Э.М. Браун; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

9. Панасюк, В.В. Механика разрушений и прочность материалов: справоч. пос. в 4-х т.; под общей ред. В.В. Панасюка / Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов. – Киев: Наукова думка, 1990. – Т. 4. – 680 с.

10. Спиридонов, Н.В. Коррозионная стойкость медесодержащих металлопокрытий, наплавленных с применением ультразвуковых колебаний / Н.В. Спиридонов, В.В. Кураш, А.В. Кудина // Вестник Полоцкого государственного университета: серия В. Промышленность. Прикладные науки. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – №8. – С.73-76.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.03.2017

УДК 621.762

ПРОНИЦАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ МЕДНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ, ПОЛУЧЕННЫЕ ОДНООСНЫМ ПРЕССОВАНИЕМ

В.М. Капцевич,

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

В.К. Корнеева,

ст. преподаватель каф. технологии металлов БГАТУ

Т.А. Богданович,

студент БГАТУ

Исследованы свойства переработанных медных кабельных отходов и закономерности их уплотнения. Исследованы структурные и гидродинамические свойства проницаемых материалов из медных кабельных отходов, полученных одноосным прессованием в стальной пресс-форме. Доказана возможность использования медных кабельных отходов, разделенных на фракции, в качестве исходного сырья для производства проницаемых волоконных материалов.

Ключевые слова: медные кабельные отходы, гранулометрический состав, плотность насыпки, плотность утряски, уплотняемость, прессуемость, волоконные проницаемые материалы, структурные и гидродинамические свойства.

Properties of recycled copper cable waste are investigated. Regularities of their seals were investigated. Structural and hydrodynamic properties of permeable materials from copper cable wastes obtained molding in a steel mold, investigated. The possibility of using copper cable waste separated into fractions, as a feedstock for the production of permeable fibrous materials, proven.

Keywords: Copper cable waste, particle size distribution, application phase density, tapped density, compressibility, compressibility, of fiber permeable materials, structural and hydrodynamic properties.

Введение

Современная сельскохозяйственная техника представляет собой дорогостоящие высокотехнологичные изделия, производство и обслуживание которых требуют значительной технической культуры. Эффективность, а зачастую даже область применения мобильной техники, в большой мере определяется качеством вспомогательных систем, которые должны обеспечить, при интенсивной эксплуатации, функционирование силовых агрегатов в оптимальных режимах. Известно [1-4], что системы фильтрования можно отнести к наиболее значимым вспомогательным системам такого рода, поскольку как минимум 75 % неисправностей и 50 % простоев автотракторной и сельскохозяйственной техники обусловлено наличием загрязняющих частиц в топливе, масле, гидрожидкости и воздухе.

Для очистки жидкостей и газов используют порошковые, волоконные и ячеистые проницаемые мате-

риалы, которые являются традиционными объектами разработок и исследований в области порошковой металлургии. Проницаемые волоконные материалы (ПВМ) по сравнению с порошковыми материалами обладают рядом существенных преимуществ [5, 6]: большей пористостью, проницаемостью, прочностью, упругостью и пластичностью. Фильтры на их основе работают в режиме глубинного фильтрования, обладают высокой производительностью, задерживающей способностью, грязеемкостью, сроком службы и способностью к многократной регенерации. Однако дороговизна исходного сырья и в ряде случаев сложность технологии изготовления самих волокон сдерживают процессы создания проницаемых материалов на их основе.

В качестве исходного сырья для изготовления ПВМ несомненный интерес представляют медные кабельные отходы (МКО). В БГАТУ впервые предложено их использовать в качестве исходного мате-

риала для изготовления ПВМ, которые до настоящего времени использовались лишь как вторичное сырье в цветной металлургии при производстве катодной меди и отливок из медных сплавов [7-9].

Целью настоящей работы является исследование технологических свойств переработанных МКО и установление взаимосвязи структурных и эксплуатационных свойств получаемых на их основе проникаемых волоконных материалов, доказывающих возможность их использования для производства фильтров.

Основная часть

При рассмотрении исходного сырья (МКО) были выделены основные группы присутствующих дисперсных элементов, что позволило предложить следующую их классификацию:

- элементы волоконного строения – непосредственно волокна, характеризуемые различными группами диаметров, от 100 до 800 мкм и длин, от 2,0 до 25 мм;

- изогнутые волокна (крючки) и закрученные волокна (свертыши);

- элементы неволоконного строения – расплюснутые волокна, лепестки и гранулы (рис. 1).

Для определения гранулометрического состава использовался ситовый метод разделения дисперсных элементов на фракции $(-0,2...+0,1)$, $(-0,315...+0,2)$, $(-0,4...+0,315)$, $(-0,63...+0,4)$, $(-0,8...+0,63)$ и $(-1,0...+0,8)$ мм (рис. 2).

Для каждой из выделенных фракций дисперсных элементов определяли морфологические характеристики, текучесть, насыпную плотность, плотность утряски, прессуемость и спекаемость.

Для морфологического анализа дисперсные элементы, присутствующие в каждой фракции, разбивались на размерные классы (четыре – семь классов в

каждой фракции), характеризуемые однотипностью объектов. Волокна разных классов, как правило, отличались друг от друга длинами (l) или диаметрами (d), или формой поперечного сечения, или степенью искривленности. Массовая доля дисперсных объектов (m) рассматриваемых фракций каждого класса, а также отношение длины волокна к его диаметру (l/d) представлены в таблице 1. Классы, представленные крючками и свертышами, обозначены ξ , а классы объектов неволоконного строения (лепестки и гранулы) – χ .

Анализ гранулометрического состава и морфологии дисперсных элементов МКО позволил разделить их на две группы фракций:

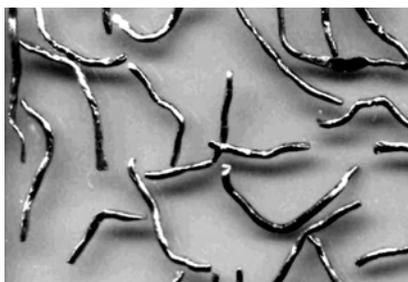
- первая группа – $(-0,2...+0,1)$, $(-0,315...+0,2)$, $(-0,4...+0,315)$ и $(-0,63...+0,4)$ мм;

- вторая группа – $(-0,8...+0,63)$ и $(-1,0...+0,8)$ мм.

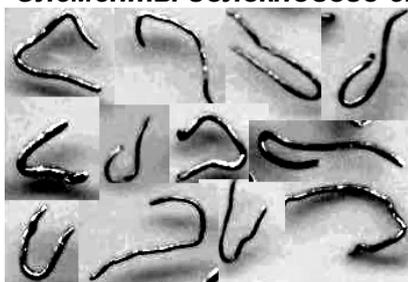
Дисперсные элементы всех фракций первой группы, в отличие от фракций второй группы, характеризуются близкими значениями диаметров и различными длинами. Последние отличают МКО отходы от традиционного волоконного сырья. Во всех фракциях первой группы за исключением $(-0,2...+0,1)$ мм содержатся в массовом количестве (3-5 %) дисперсные элементы, представляющие собой изогнутые волокна диаметром 100 мкм, которые могут служить активаторами спекания. Величина l/d для фракций второй группы составит менее 20, что нехарактерно для традиционных волоконных объектов. Присутствие во фракциях второй группы в значительном количестве крючков и свертышей, объектов неволоконного строения (лепестки и гранулы) также существенно отличает рассматриваемые объекты от традиционного волоконного материала.

Текучесть дисперсных элементов каждой фракции определяли по ГОСТ 20899-98, плотность насыпки — по ГОСТ 19440-94 (рис. 3), а плотность утряски

Элементы волоконного строения



Волокна



Крючки

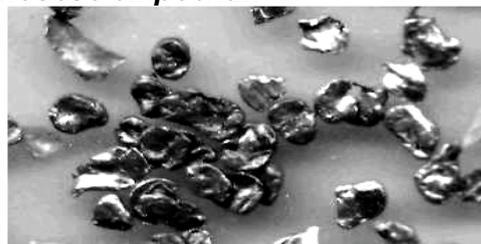


Свертыши

Элементы неволоконного строения



Расплюснутые волокна



Лепестки и гранулы

Рисунок 1. Классификация дисперсных элементов МКО

Таблица 1. Морфологические характеристики дисперсных элементов

Фракция, мм	№ класса. (l, мм)	d, мм	m, %	l/d	Фракция, мм	№ отряда (l, мм)	d, мм	m, %	l/d
(-0,2...+0,1)	ξ (-)	-	-	-	(-0,4...+0,315)	ξ (4...8)	0,1	3	-
	I (<2)	-	-	-		I (<2)	0,4	8	3
	II (2...4)	0,1	18	30		II (2...4)	0,35	10	9
	III (4...6)	0,1	50	50		III (4...6)	0,35	44	14
	IV (6...10)	0,1	24	80		IV (6...10)	0,35	29	23
	V (>10)	0,1	8	100	V (>10)	0,25	6	60	
(-0,315...+0,2)	ξ (5...12)	0,1	5	-	(-0,63...+0,4)	ξ (6...10)	0,1	5	-
	I (<2)	0,3	2	3		I (<2)	0,6	2	2
	II (2...4)	0,25	27	12		II (2...4)	0,5	13	6
	III (4...6)	0,25	24	20		III (4...6)	0,5	25	10
	IV (6...10)	0,2	34	40		IV (6...10)	0,5	39	16
	V (>10)	0,15	8	100	V (>10)	0,25	16	68	
(-0,8...+0,63)	ξ (8...12)	0,1-0,25	21	-	(-1,0...+0,8)	ξ (8...12)	0,1-0,25	27	-
	χ (-)	-	2	-		χ (-)	-	11	-
	I (<2)	0,8	6	1		I (<2)	0,9	7	1
	II (2...4)	0,7	29	4		II (2...4)	0,9	27	3
	III (4...6)	0,7	20	7		III (4...6)	0,9	16	6
	IV (6...10)	0,7	16	11		IV (6...10)	0,9	5	9
	V (>10)	0,6	6	20	V (>10)	0,7	7	17	

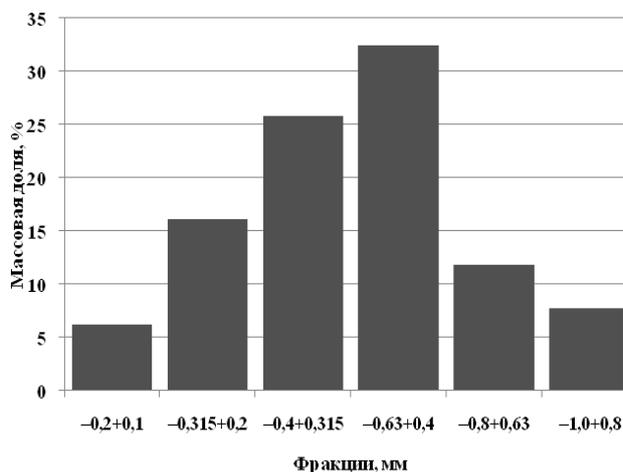


Рисунок 2. Гранулометрический состав МКО по фракциям

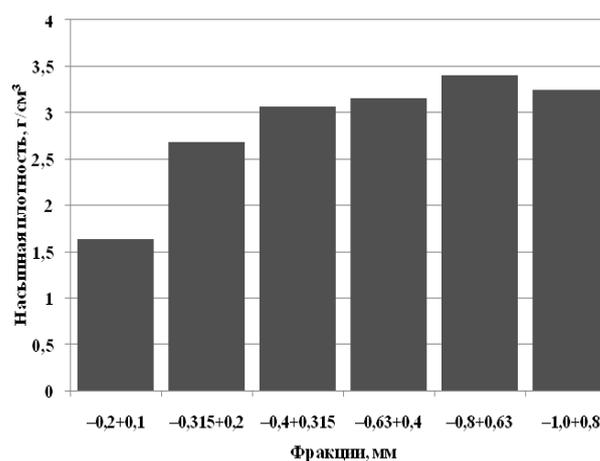


Рисунок 3. Зависимость насыпной плотности дисперсных элементов от гранулометрического состава

– по ГОСТ 25279-93 (рис. 4).

Установлено, что дисперсные элементы каждой фракции обладают нулевой текучестью, а насыпная плотность и плотность утряски возрастают с ростом размеров дисперсных элементов.

Для исследования характеристик прессуемости – уплотняемости и формуемости, отоженные ($T = 850 \pm 10$ °C) дисперсные элементы каждой фракции подвергали одноосному прессованию в стальной пресс-форме с внутренним диаметром 30 мм. Уплотнение осуществляли на универсальной испытательной машине УИМ-40 ТН в диапазоне давлений 20–275 МПа.

Исследование формуемости дисперсных элементов каждой фракции (табл. 2) показало низкую формуемость дисперсных элементов 2-й группы фракций.

Для определения уплотняемости для каждой фракции были определены зависимости давления прессова-

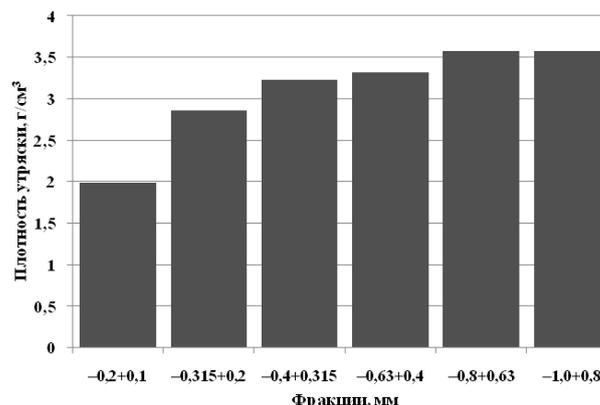


Рисунок 4. Зависимость плотности утряски дисперсных элементов от гранулометрического состава

Таблица 2. Формуемость дисперсных элементов

Фракции, мм	(-0,2...+0,1)	(-0,315...+0,2)	(-0,4...+0,315)
Формуемость, МПа	20	20	40
Фракции, мм	(-0,63...+0,4)	(-0,8...+0,63)	(-1,0...+0,8)
Формуемость, МПа	40	80	125

ния P от величины $(1 - \Pi)$, где Π – пористость. На основе полученных экспериментальных данных методом наименьших квадратов для прессовок из МКО различных фракций, определены значения коэффициентов K и m , входящие в уравнение прессования Ю.Г. Дороева для волоконных материалов [10]:

$$P = K \sigma_{\tau 0} (1 - \Pi)^m,$$

где K, m – постоянные;

$\sigma_{\tau 0}$ – предел текучести материала волокон, Мпа.

Полученные результаты представлены в табл. 3.

Сравнительный анализ полученных значений (табл. 3) коэффициента m , которые находятся в диапазоне 3,59-4,22 показал, что они согласуются с литературными данными [5, 11] для медных волокон.

На основании полученных экспериментальных данных были построены зависимости пористости Π от давления прессования P для рассмотренных выше двух групп фракций (рис. 5).

Приведенные графические зависимости доказывают существенное различие в характере уплотнения этих групп фракций: для получения прессовок одной и той же пористости при одноосном прессовании в стальной

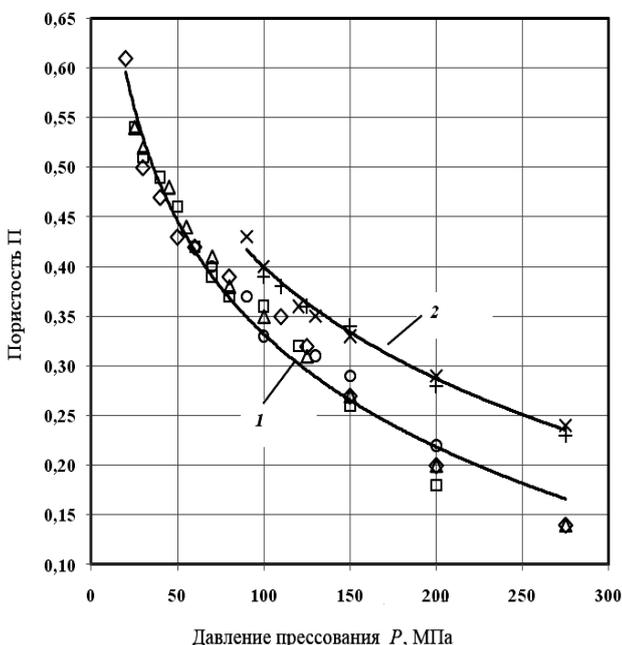


Рисунок 5. Зависимость пористости Π от давления прессования P прессовок из волоконных отходов двух групп фракций: первой (1) – (-0,2...+0,1), (-0,315...+0,2), (-0,4...+0,315), (-0,63...+0,4); второй (2) – (-0,8...+0,63), (-1,0...+0,8) мм

пресс-форме значения давления прессования для первой группы фракций на 50 % меньше, чем для второй.

Для оценки возможности изготовления ПВМ из МКО были изготовлены экспериментальные образцы из дисперсных элементов каждой фракции диаметром 30 мм и толщиной 5 мм методом одноосного прессования в стальной пресс-форме при давлениях прессования $P = 20-300$ МПа. Спекание образцов производили в электропечи в

Таблица 3. Значение коэффициентов K, m , входящих в уравнение прессования МКО различных фракций при одноосном прессовании

Фракции, мм	K	m
-0,2+0,1	7,51	3,59
-0,315+0,2	7,63	3,7
-0,4+0,315	8,14	3,76
-0,63+0,4	8,36	3,81
-0,8+0,63	13,73	4,22
-1,0+0,8	10,67	3,6

атмосфере эндогаза при температуре спекания 1010 ± 10 °С. Время выдержки образцов в шахтной печи составляло 1,5 ч.

Спекаемость дисперсных элементов МКО оценивали, проводя механические испытания на срез. Полученные значения предела прочности при срезе $\sigma_{ср}$ в зависимости от пористости Π составили 80-130 МПа (рис. 6), что соответствует литературным данным для медных волокон [12]. Это позволило обосновать режимы спекания для МКО.

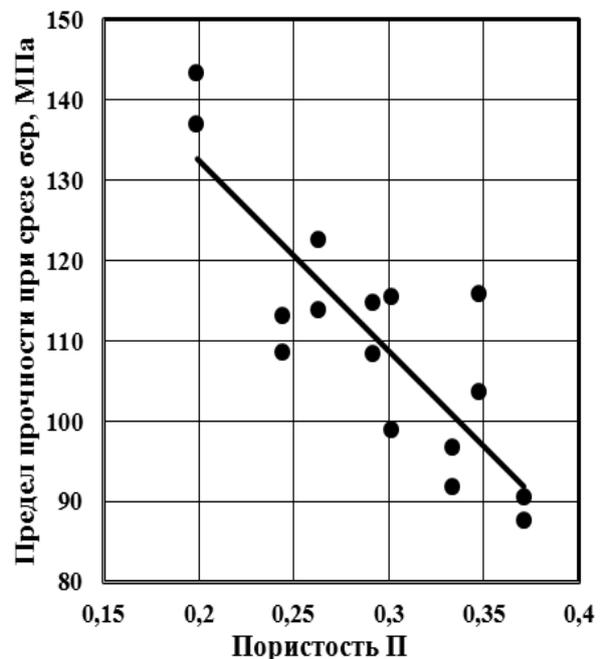


Рисунок 6. Зависимость предела прочности при срезе $\sigma_{ср}$ от пористости Π

Исследованы структурные (пористость Π по ГОСТ 18898-89, максимальные $d_{п\ max}$ и средний $d_{п\ ср}$ размеры пор по ГОСТ 26849-93) и гидродинамические (коэффициент проницаемости k по ГОСТ 25283-93) свойства экспериментальных образцов, а также определены параметры, характеризующие пористую структуру экспериментальных образцов: параметр равномерности порораспределения $A = d_{п\ ср} / d_{п\ max}$ и параметр эффективности $E_1 = \sqrt{k} / d_{п\ ср}$.

На рис. 7 представлена взаимосвязь структурных (пористости Π , максимальных $d_{п\ max}$ и средних $d_{п\ ср}$ размеров пор) и гидродинамических (коэффициента проницаемости k) свойств экспериментальных образцов МКО различных фракций, а на рис. 8 – зависимости параметров, характеризующих пористую структуру (параметра равномерности порораспределения A и параметра эффективности E_1) от пористости Π .

Заключение

Впервые исследованы свойства переработанных МКО. Установлено, что МКО, разделенные на фракции, характеризуются присутствием дисперсных элементов волоконного строения с близкими значениями диаметров волокон, различными длинами и волоконных элементов меньшего диаметра в виде крючков и свертышей, а также элементов неволоконного строения в виде расплюснутых волокон и гранул, последние из которых оказывают негативное влияние на значения прессуемости, параметра эффективности и равномерности порораспределения, что доказало возможность использования МКО фракций $(-0,2...+0,1)$,

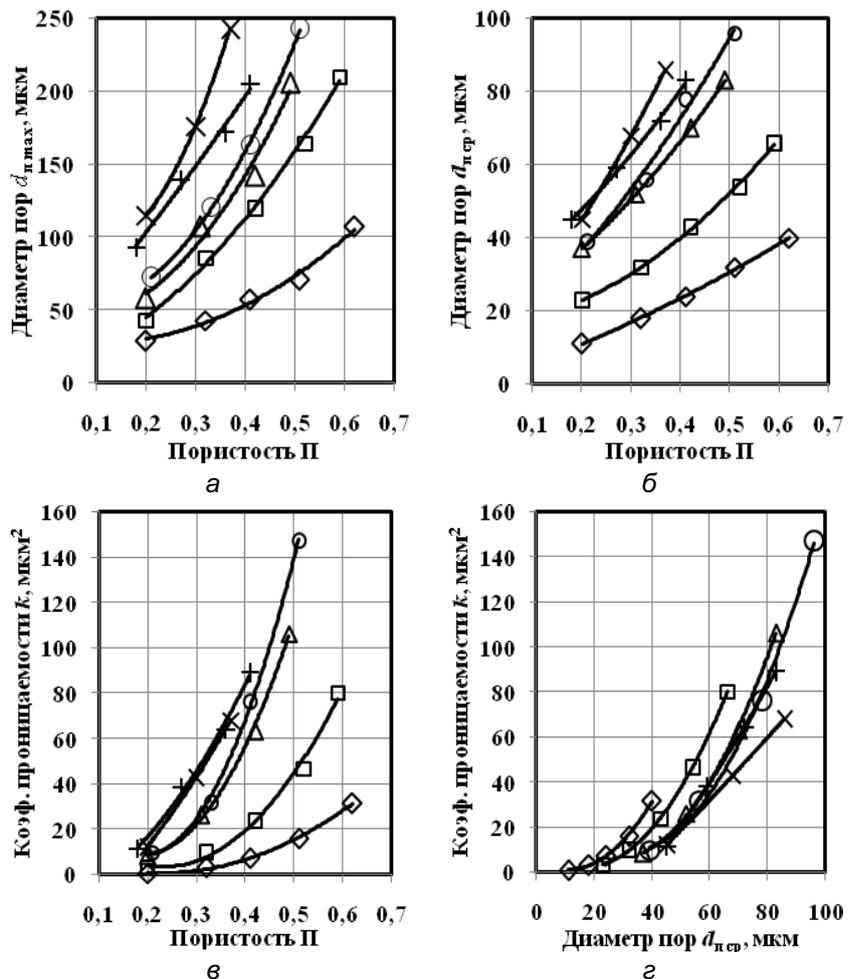


Рисунок 7. Зависимость максимальных $d_{п\ max}$ (а) и средних $d_{п\ ср}$ (б) диаметров пор, коэффициента проницаемости k (в) от пористости Π , коэффициента проницаемости k (г) от средних $d_{п\ ср}$ диаметров пор экспериментальных образцов из МКО фракций: \diamond — $(-0,2...+0,1)$; \square — $(-0,315...+0,2)$; Δ — $(-0,4...+0,315)$; \circ — $(-0,63...+0,4)$; $+$ — $(-0,8...+0,63)$; \times — $(-1,0...+0,8)$ мм

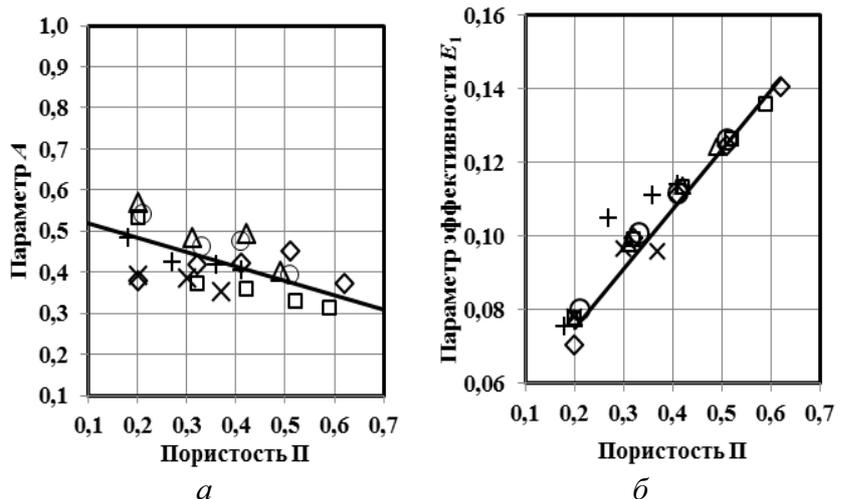


Рисунок 8. Зависимость параметра равномерности порораспределения A (а) и параметра эффективности E_1 (б) от пористости Π экспериментальных образцов из МКО фракций: \diamond — $(-0,2...+0,1)$; \square — $(-0,315...+0,2)$; Δ — $(-0,4...+0,315)$; \circ — $(-0,63...+0,4)$; $+$ — $(-0,8...+0,63)$; \times — $(-1,0...+0,8)$ мм

(-0,315...+0,2), (-0,4...+0,315) и (-0,63...+0,4) мм для производства ПВМ, которые могут быть использованы для изготовления фильтров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваленко, В.П. Очистка нефтепродуктов от загрязнений / В.П. Коваленко, В.Е. Турчанинов. – Москва: Недра, 1990. – 160 с.
2. Коваленко, В.П. Загрязнения и очистка нефтяных масел / В.П. Коваленко. – Москва: Химия, 1978. – 304 с.
3. Бродский, Г.С. Фильтры и системы фильтрации для мобильных машин / Г.С. Бродский // Горная промышленность. – М.: НПК «ГЕМОС ЛТД.», 2003. – 360 с.
4. Бутов, Н.П. Научные основы проектирования малоотходной технологии переработки и использования отработанных минеральных масел / Н.П. Бутов. – зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2000. – 410 с.
5. Косторнов, А.Г. Проницаемые металлические волокнистые материалы / А. Г. Косторнов. – Киев: Техника, 1983. – 123 с.

6. Пористые проницаемые материалы: справочник / С.В. Белов [и др.] – М.: Металлургия, 1987. – 333 с.
7. Колобов, Г.А. Сбор и обработка вторичного сырья цветных металлов: учебник для вузов / Г. А. Колобов, В. Н. Бредихин, В. М. Чернобаев. – М.: Металлургия, 1992. – 288 с.
8. Белый, Д.И. Современные технологии производства медной катанки для кабельной промышленности / Д. И. Белый // Наука и техника, 2011. – № 5. – С. 29-33.
9. Герасин, В.А. Как спасти полимерметаллические отходы / В.А. Герасин // The Chemical Journal, июль – август, 2008. – С. 10-13.
10. Дорофеев, Ю.Г. Динамическое горячее прессование пористых материалов / Ю.Г. Дорофеев. – М.: Наука, 1968. – 120 с.
11. Косторнов, А.Г. Материаловедение дисперсных и пористых материалов и сплавов / А.Г. Косторнов. – Киев: Наук. думка, 2002. – Т. 2. – 552 с.
12. Косторнов, А.Г. Материаловедение дисперсных и пористых материалов и сплавов / А.Г. Косторнов. – Киев: Наук. думка, 2002. – Т. 1. – 572 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 03.03.2017

Навесной оборотный плуг ПНО-3-40/55



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

Преимущества разработки:

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

Производство плугов освоено на ДП «Минойтовский ремонтный завод».

Изготовлено 37 плугов.

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 636.2.033

ОТХОДЫ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В КОРМЛЕНИИ ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ

В.А. Люндышев,

доцент каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ, канд. с.-х. наук, доцент

В.Ф. Радчиков,

заведующий лабораторией кормления и физиологии питания крупного рогатого скота РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству»

Е.О. Гливанский,

науч. сотр. лаборатории кормления и физиологии питания крупного рогатого скота РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству»

Разработаны нормы ввода кормового дефеката из побочных продуктов переработки вторичного сырья в составе комбикормов для дойных коров в середине лактации в количестве до 3,0 %, оказывающие положительное влияние на потребление кормов, морфобioхимический состав крови, молочную продуктивность и экономическую эффективность.

Ключевые слова: комбикорм, дефекат, коровы, кровь, удой, прибыль.

The standards of input feed of the lime of the by-products of the processing of secondary raw materials in compound feeds for dairy cows in mid-lactation in the amount of up to 3.0 %, has a positive effect on the feed intake, morphobiochemical blood composition, milk production and economic efficiency are developed.

Keywords: feed, defecate, cows, blood, milk yield, profit.

Введение

В связи со строительством в республике молочнотоварных и откормочных комплексов возрастает необходимость в увеличении производства кормов для животных.

Наряду с увеличением количественного и качественного состава травяных кормов большая роль отводится вторичным отходам свеклосахарного производства (дефекат), совершенствованию способов их приготовления, поскольку при безотходной технологии можно получить значительное количество ценных кормов, позволяющих повысить полноценность рационов по питательным и биологически активным веществам.

Важным источником образования вторичных сырьевых ресурсов, таких как свекловичный жом, меласса, фильтрационный осадок (дефекат), рафинадная патока, свекловичный бой и др., является свеклосахарное производство. На свеклосахарных заводах республики ежегодно производится около 120 тыс. тонн дефеката, который используется в основном в растениеводстве в качестве удобрения, а в животноводстве он используется в небольшом количестве, поэтому исследования, проведенные в этом плане, являются актуальными, поскольку позволяют расширить ассортимент кормовых добавок и решать экологические проблемы на данных предприятиях [1, 3].

Дефекат является побочным продуктом сахарной промышленности, он образуется в процессе очистки диффузионного сока, включающем предварительную и основную дефекацию, I и II сатурации, сульфита-

цию и промежуточные фильтрации сока. Фильтрационный осадок получается при взаимодействии несахаров диффузионного сока с известью и диоксидом углерода и состоит, главным образом, из углекислого кальция: 33-38 % в расчете на чистый кальций; 46-53 % в пересчете на CaO; 82-92 % в пересчете на CaCO₃ (мел).

В фильтрационном осадке содержится также до 8 % органических веществ, в том числе сахар – 2-8 %, сырой протеин – 4-5 %, фосфор – 1-2 %, калий – 0,5-1 %, а также микро- и ультра- микроэлементы. Фильтрационный осадок в настоящее время не используется как кормовой компонент вследствие его физико-химических свойств. Высокая влажность (около 30-35 %) исключает возможность его хранения и может привести к повышению влажности в готовом продукте (комбикорме), полидисперсионный состав (от пыли до крупных комьев) не позволит организовать процесс дозирования осадка и равномерного смешивания его в составе комбикормов [2].

Количество образующегося фильтрационного осадка зависит от массы вводимой в производство извести и составляет 8-12 % от массы перерабатываемого сырья (сахарной свеклы).

В республике годовая потребность в кормовом меле составляет 55-60 тыс. тонн, общей стоимостью около 70 млрд. руб.

Учитывая, что и мел, и дефекат содержат практически одинаковое количество CaCO₃, а также то, что цена мела на сегодняшний день составляет около 640 тыс. руб. за 1 тонну, а дефекат является отходом производства, не имеющим начальной стоимости, эф-

фективность замены кормового мела дефекатом очевидна.

Исследований по использованию дефеката в рационах сельскохозяйственных животных проведено недостаточно и полученные данные противоречивы. Поэтому для широкого масштабного использования кормового продукта необходима обработка норм его скармливания в составе комбикормов для сельскохозяйственных животных, чему и посвящена данная работа.

Основная часть

С целью подтверждения результатов, полученных в научно-хозяйственном опыте, в ГП «Жодино-АгроПромЭлита» Смоленского района была проведена производственная проверка продолжительностью 90 дней в зимнее–стойловый период на лактирующих коровах, находящихся на 5-7 месяце лактации, молочной продуктивностью 5000 кг.

Различия в кормлении заключались в том, что коровы контрольной группы получали в составе рациона (силос, сенаж, сено) комбикорм собственного производства, в которой был включен мел кормовой в количестве 1,0 % (по массе). Различия между опытными группами и контролем состояли в том, что в комбикорма II и III опытных групп вводили 2,0 и 3,0 % (по массе) дефеката.

Количество животных в каждой группе составляло 50 голов. Условия содержания коров при проведении исследований были одинаковыми, способ содержания – привязной, с пассивным моционом на выгульных площадях, доение – трехразовое в молокопровод.

В процессе исследований изучены следующие показатели:

- количество заданных кормов и их остатков – методом контрольного кормления;
- химический состав и питательность кормов – путем общего зоотехнического анализа. Отбор проб осуществлялся в начале и в конце производственной проверки;
- молочная продуктивность изучалась путем контрольных доек – 1 раз в месяц;
- морфо-биохимический состав крови. Кровь для исследований брали из яремной вены через 2,5-3 часа после утреннего кормления;
- экономическая оценка использования кормового дефеката в составе комбикормов для молочного стада.

В крови определяли содержание эритроцитов и лейкоцитов, а также гемоглобина с использованием автоматического анализатора «Medonic CA 620». В сыворотке крови определяли количество общего белка, глюкозы, мочевины, общего кальция, фосфора неорганического – на автоанализаторе «Ассент 200». Взятие крови осуществляли от 3 коров из группы.

Материалы исследований обработаны биометрически. В исследованиях на молочных коровах использованы: сенаж разнотравный, силос кукурузный, сено злаковое.

Результаты исследований показали, что значительных различий в структуре кормов между группами не установлено. Использование в рационах дойных коров комбикормов с вводом кормового дефеката в количестве 2,0 и 3,0 % по массе не повлияло на поедаемость кормов и энергетическую ценность рационов (табл. 1).

Концентрация обменной энергии в сухом веществе рациона в середине лактации составила в I и II группе 9,2 и 9,1 МДж, в III – 9,1 МДж соответственно. Содержание клетчатки при скармливании комбикорма с вводом мела находилась на уровне 23 %, а с включением дефеката кормового – 22,6-22,7 %.

Таблица 1. Рацион коров по фактически съеденным кормам

Корма и питательные вещества	Группа					
	I		II		III	
	кг	% по питат.	кг	% по питат.	кг	% по питат.
Комбикорм	5,0	34,4	5,0	33,6	5,0	33,1
Сенаж разнотравный	16,0	28,3	16,0	28,1	16,5	31,5
Силос кукурузный	16,0	34,1	16,5	35,6	16,0	32,0
Сено злаковое	1,2	3,2	1,0	2,7	1,3	3,4
В рационе содержится:						
ОКЕ (овс. к.ед.), кг	13,5		13,6		13,7	
обменной энергии, МДж	149,4		151,3		153,7	
ЭКЕ (энерг. к.ед.), кг	14,9		15,1		15,4	
сухого вещества, кг	16,3		16,7		16,8	
сырого протеина, г	2110		2120		2190	
расщепляемого протеина, г	1372		1399		1489	
нерасщепляемого протеина, г	738		721		701	
переваримого протеина, г	1350		1339		1331	
сырого жира, г	430		440		447	
сырой клетчатки, г	3760		3781		3801	
крахмала, г	2241		2264		2199	
сахара, г	1100		1094		1090	
кальция, г	100,4		106,3		110,2	
фосфора, г	68,8		69,2		71,3	
магния, г	25,4		25,8		26,0	
калия, г	230,7		231,2		233,7	
серы, г	29,5		30,2		30,6	
железа, мг	1100		1120		1195	
меди, мг	120,5		124,9		123,1	
цинка, мг	780,5		784,5		785,8	
марганца, мг	770,3		760,4		765,9	
кобальта, мг	8,6		8,8		9,0	
йода, мг	9,9		9,9		10,0	
каротина, мг	674,8		686,4		702,6	
витамина D, тыс. МЕ	15,7		15,6		15,8	
витамина E, мг	571		600		595	

Потребление сухих веществ коровами всех групп составило 16,3-16,8 кг.

На одну энергетическую кормовую единицу при скармливании комбикормов с включением мела и дефеката кормового приходилось 93-97 г переваримого протеина. Сахаро-протеиновое отношение равнялось 0,8. Отношение кальция к фосфору при скармливании коровам минеральных добавок составило в I контрольной группе 1,45:1, во II и III опытной группе – 1,53-1,55:1.

Для оценки состояния здоровья животных, в зоотехнической науке и практике широко используются морфологические и биохимические показатели крови. Кровь поддерживает тесную и постоянную связь между различными частями организма и является своеобразной внутренней средой, в которой определенным образом находят отражение динамика жизненных процессов, протекающих в организме, и восприимчивость его к колебаниям внешней среды. Омывая все клетки организма, кровь дает им возможность потреблять кислород и питательные вещества. Кроме того, она удаляет из клеток продукты обмена, освобождая их от различных шлаков и вредных веществ [3].

Протекание обменных процессов у коров, получавших рационы с разным уровнем дефеката кормового, определяли по биохимическому составу крови (табл. 2).

Таблица 2. Морфо-биохимический состав крови подопытных животных

Показатель	Группа		
	I	II	III
Эритроциты, 10^2 /л	6,5±0,27	6,7±0,33	6,8±0,31
Лейкоциты, 10^9 /л	10,5±0,08	11,0±0,18	11,3±0,24
Гемоглобин, г/л	95,2±3,0	98,0±2,9	98,9±3,1
Общий белок, г/л	72,5±0,43	74,7±0,41	75,6±0,47
Мочевина, ммоль/л	3,9±0,31	4,2±0,18	4,3±0,19
Глюкоза, ммоль/л	3,5±0,33	3,7±0,30	3,9±0,32
Щелочной резерв, мг%	473±29,1	485±30,2	496±32,0
Кальций, ммоль/л	2,9±0,23	3,0±0,11	3,1±0,15
Фосфор, ммоль/л	1,8±0,12	1,9±0,04	1,9±0,05

Изменение концентрации компонентов в крови зависит не только от физиологического состояния и возраста животных, но и от кормления и содержания. В то же время, все изучаемые показатели крови у всех подопытных животных находились в пределах физиологической нормы, с некоторыми межгрупповыми различиями. Так, содержание гемоглобина увеличилось во II и III группах на 2,9-3,9 %, что свидетельствует о более высоком уровне интенсивности обмена веществ. У животных, получавших рационы с разным вводом дефеката кормового, отмечено увеличение количества белка в крови на 3,0-4,3 %, что также указывает на более интенсивные обменные процессы в организме.

Установлены незначительные колебания концентрации глюкозы, указывающие на более эффективное использование энергии рационов подопытными животными II и III групп.

Щелочной резерв крови подопытных коров в исследованиях соответствовал физиологической норме.

Более высокий показатель щелочного резерва крови в III группе, по-видимому, связан с тем, что уровень дефеката кормового в дозе 3 % (по массе) позволил удовлетворить физиологические потребности коров, в результате чего восстановление щелочных резервов в их организме проходило на более высоком уровне.

Определение в крови эритроцитов дает, прежде всего, представление о состоянии здоровья животного, уровне активности некоторых энзимных процессов.

Следует также отметить, что в крови дойных коров II и III опытных групп, потреблявших дефекат кормовой, отмечено увеличение количества эритроцитов на 3,0-4,6 %. В цельной крови дойных коров опытных групп, по сравнению с аналогами, увеличилось содержание кальция на 3,4-6,9 % и фосфора – на 5,6 %, что соответствует естественному состоянию организма в середине лактации.

Исходя из полученных данных, можно заключить, что балансирование рационов подопытных коров по минеральным веществам за счет дефеката кормового способствовало усилению обменных процессов в организме животных.

В результате исследований по изучению эффективности использования и введения в рацион коров дефеката кормового в составе комбикормов установлено увеличение потребления кормов (силос кукурузный, сенаж разнотравный, сено злаковое) с рационом в опытных группах, что положительно отразилось на их продуктивности (табл. 3).

Таблица 3. Молочная продуктивность и затраты кормов

Показатель	Группа		
	I	II	III
Среднесуточный удой натурального молока, кг	17,0±0,30	17,5±0,28	17,8±0,25
Среднесуточный удой при базисной жирности, кг	17,5±0,24	18,3±0,33	18,2±0,40
Содержание жира, %	3,70±0,02	3,76±0,03	3,69±0,02
Надой натурального молока за 90 дней лактации, кг	1530	1575	1602
Надой при базисной жирности за 90 дней лактации, кг	1575	1647	1638
Затрачено кормовых единиц за опыт, к. ед.	1215	1224	1233
Затрачено переваримого протеина за опыт, кг	135	134	133
Затрачено на 1 кг фактически полученного молока:			
кормовых единиц, кг	0,79	0,78	0,77
переваримого протеина, г	86	84	85
Затрачено на 1 кг молока при базисной жирности:			
кормовых единиц, кг	0,77	0,74	0,74
переваримого протеина, г	86	81	81

Исследованиями установлено, что за период проведения опыта среднесуточный удой натурального мо-

лока у животных контрольной группы составил 17,0 кг, а у коров II и III опытных групп – 17,5 и 17,8 кг соответственно. Продуктивность при базисной жирности молока (3,6 %) у животных контрольной группы составила 17,5 кг, а у опытных – 18,3 и 18,2 кг. В целом за период опыта основного периода лактации надой у контрольных животных составил 1530 кг молока, а в опытных группах – 1575 и 1602 кг, что по сравнению с контролем выше на 2,9 и 4,7%. Содержание жира в молоке животных II опытной группы было на 0,06 и 0,07 п.п. больше, чем I и III.

Заключение

Проведенные исследования свидетельствуют о целесообразности использования дефеката в рационах дойных коров в период первых 2/3 лактаций, исключив при этом кормовой мел, также возможно использовать в кормлении коров комбикорма с включением 2 % по массе дефеката, что способствует повышению удоя молока жирностью 3,6 % на 4,6 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

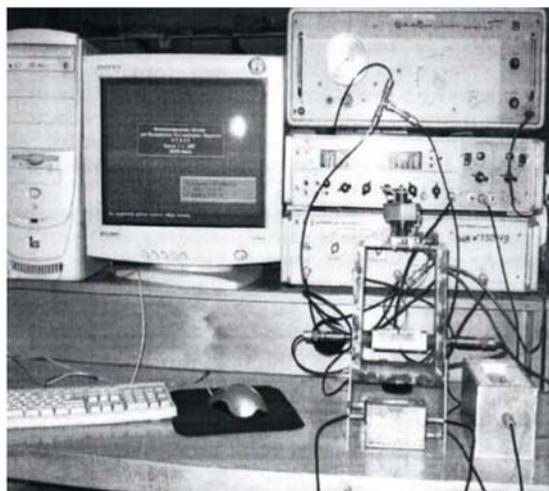
1. Божкова, С.Е. Новое в кормлении высокопродуктивных молочных коров / С.Е. Божкова, В.Ф. Радчиков, И.М. Демидова // Зоотехническая наука Беларуси: сб. науч. тр. – Жодино: РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», 2015. – Т. 50, ч. 1. – С. 213-220.
2. Использование вторичных продуктов перерабатывающих предприятий в кормлении молодняка крупного рогатого скота: монография / В.А. Люндышев и [др.]. – Минск: БГАТУ, 2014. – 168 с.
3. Рукшан, Л.В. Перспективы утилизации побочных продуктов переработки свеклы / Л.В. Рукшан, А.А. Ветошина // Белорусское сельское хозяйство, 2009. – №9. – С. 54-56.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 06.01.2017

Информационная измерительная система для измерений физических, геометрических, структурных характеристик материалов

Предназначена для исследования и тестирования состояния материалов и сред на основе анализа закономерностей параметрического воздействия изменяющихся во времени характеристик на частотно-фазовые соотношения зондирующих акустических и электрических колебаний.

Измерительная система успешно применена для изучения свойств и состояния магнитных и немагнитных металлов, полимерных композитов, включая кинетику их перехода к твердому состоянию.



Основные технические данные

Измеряемая величина	Диапазон измерения	Погрешность
Электрическая емкость	20... 1000 пФ	$3 \cdot 10^{-2}$ пФ
Индуктивность	10...1000 мкГн	$3 \cdot 10^{-2}$ мкГн
Удельная электрическая проводимость	$10^5 \dots 5 \cdot 10^7$ См/м	10^{-3} См/м
Диэлектрическая проницаемость	1...20	10^{-3}
Избыточная температура	100...500 К	10^{-3} К
Относительные изменения скорости ультразвука	300...6000 м/с	10^{-5}
Малые перемещения	0...1 мм	1 мкм

УДК 664.884.2

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАЙОНИРОВАННЫХ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРОИЗВОДСТВА СУШЕНОГО КАРТОФЕЛЯ

А.М. Мазур,

профессор каф. технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

Исследовано влияние физико-химических свойств районированных в Республике Беларусь сортов картофеля на технологические процессы хранения, очистки и качественные показатели при производстве сушеного картофеля.

Ключевые слова: сухие вещества, паровая очистка, сушеный картофель.

Influence of physical and chemical properties of districted in the Republic of Belarus sorts of potato on the technological processes of storage, cleaning and a quality index at the production of the dried potato is investigated.

Keywords: dry substances, steam cleaning, dried potato.

Введение

Основной целью промышленной переработки картофеля является массовый выпуск широкого ассортимента продуктов питания хорошего качества с высокой пищевой и биологической ценностью при низких затратах труда, материалов, энергии, т.е. с высокими технико-экономическими показателями производства, которые обеспечивают относительно низкую себестоимость продуктов. Одним из таких продуктов является сушеный картофель, который выпускается:

- в виде кубиков, равномерно нарезанных, с размером сторон от 5 до 10 мм в восстановленном виде;
- пластин, равномерно нарезанных, толщиной не более 4 мм, длиной и шириной не более 15 мм в восстановленном виде;
- столбиков, равномерно нарезанных, толщиной 10 мм в восстановленном виде.

Массовая доля продукта – 8-12 %, консистенция твердая, хрупкие частицы светло-желтого цвета, запах и вкус свойственны сухому картофелю, развариваемость в течение 10-15 мин., коэффициент набухания – 2,9-3,1, содержание витамина С – 16-23 мг/г [1].

Производство сушеного картофеля за последние годы в Республике Беларусь снизилось с 7 тыс. тонн в год до 200-300 тонн, а потребность его только в Российской Федерации в настоящее время составляет более 3 тыс. тонн в год для закрытых и военных учреждений [2].

Качественные показатели сырья играют определенную роль при переработке картофеля и влияют на рентабельность производства и качество готового продукта.

Высокое содержание сухих веществ в картофеле обеспечивает повышение выхода продукции, а также экономию энергоресурсов при переработке [3].

Цвет мякоти клубней влияет на цвет сушеных продуктов. Потребители стремятся получить продукт приятного светло-желтого цвета, без белого и серого оттенка.

К сожалению, до настоящего времени глубоких исследований по определению влияния технологических свойств картофеля на качество готового продукта при выработке сушеного картофеля не проводилось. Поэтому целью настоящей работы является:

- изучение влияния содержания сухих веществ в клубнях на качество сушеного картофеля, в том числе сортов Здабытак и Веснянка;
- исследование содержания редуцирующих сахаров в картофеле при температуре хранения 6-8 °С;
- определение экономичности парового и механического способа очистки картофеля по потерям витаминной активности.

Основная часть

В лабораторных и производственных условиях ОАО «Машпищепрод» (г. Марьина Горка, Минская область), где выпускается данный продукт, проведены исследования по влиянию органолептических и физико-химических свойств сортов картофеля, районированных в Беларуси, на процессы хранения, очистки и качественные показатели при производстве сушеного картофеля.

Отбор проб, подготовку и проведение испытаний проводили общепринятыми и специальными органолептическими, физико-химическими и микробиологическими методами оценки и анализа свойств сырья и готовой продукции. Содержание крахмала определяли по методу Эверса, содержание общих и редуцирующих сахаров – методом Бертрана.

Совокупность полученных результатов исследований характеризовали среднеарифметическим значением, которое определяли из трех параллельных опытов при трех – пятикратном повторении измерений. Экспериментальные данные обрабатывали методами математической статистики с использованием стандартных компьютерных программ.

Из 8 сортов картофеля, выращиваемого в Республике Беларусь, – Астерикс, Блакит, Зарница, Темп, Выток, Синтез, Здабытак, Веснянка для производства сушеного картофеля пригодны такие сорта, как Темп, Синтез, Здабытак, Веснянка, имеющие округло-овальную форму, отличающиеся неглубоким залеганием глазков на поверхности, желтым цветом мякоти, а также содержанием сухих веществ – 21,5-25,3 % [4].

Исследовали влияние сухих веществ в клубнях картофеля на качество выработанного из него сушеного картофеля. Оценку клубней и сушеного картофеля проводили по балльной шкале таблицы Вагенингера [5]: 9 – очень хороший, 8 – хороший, 7 – удовлетворительный, ниже 7 – неудовлетворительный. Полученные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1. Влияние содержания сухих веществ в клубнях на качество полученного из него сушеного картофеля

Наименование показателей	Сорт картофеля с содержанием в нем сухих веществ, %			
	Темп 21,5	Синтез 23,2	Здабытак 25,3	Веснянка 23,8
Картофель:				
внешний вид	8	8	9	9
цвет	7	8	9	8
чистота цвета	7	8	9	9
Сушеный картофель:				
внешний вид	6	7	8	7
цвет	6	7	8	7
чистота цвета	7	8	9	8
запах	7	7	8	7
вкус	7	7	8	8

Из табл. 1 видно, что при увеличении содержания сухих веществ, в клубнях улучшаются органолептические показатели, как исходного картофеля, так и сушеного продукта. Лучшее качество сушеного картофеля получается из сортов Здабытак и Веснянка, с высоким содержанием сухих веществ – 25,3 и 23,8 % соответственно.

Таблица 2. Содержание редуцирующих сахаров в клубнях и качество сушеного картофеля в зависимости от сорта и срока хранения при температуре 6-8 °С

Сорт картофеля	Сентябрь-октябрь		декабрь		март		июнь	
	Содержание редуцирующих сахаров, %	Качество сушеного картофеля, балл	%	балл	%	балл	%	балл
Синтез	0,10	7	0,15	7	0,20	6	0,21	6
Темп	0,20	7	0,24	6	0,28	6	0,29	6
Здабытак	0,15	8	0,19	8	0,21	8	0,23	8
Веснянка	0,20	8	0,23	8	0,25	7	0,30	7

Исследовали влияние содержания редуцирующих сахаров выбранных сортов картофеля (Темп, Синтез, Здабытак, Веснянка) на качество кубиков и пластин сушеного картофеля в зависимости от сорта и срока хранения сырья при температуре 6-8 °С. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, содержание редуцирующих сахаров в указанных сортах картофеля изменяется незначительно при температуре хранения 6-8 °С в сравнении с первоначальным содержанием. Переработка такого сырья дает продукцию хорошего и высокого качества, как по цвету, так и по консистенции.

Исследовали способы очистки картофеля при производстве сушеного продукта, которые играют существенную роль, исходя из экономики производства и качества готового продукта, учитывая, что стоимость сырья составляет до 50 % от себестоимости вырабатываемого продукта. При этом потери сырья при разных способах очистки картофеля достигают 30-35 % [6].

Наиболее широкое распространение получили механический и паровой способы очистки картофеля. Сущность механической очистки заключается в истирании наружных тканей картофеля шероховатыми абразивными или ножевыми поверхностями для удаления кожицы, глазков и частей клубней с различными дефектами. При этом изменяется только анатомическое строение клубней без существенного изменения их химического состава и коллоидных свойств. Продолжительность механической очистки картофеля зависит от качества и размеров клубней, а также конструктивных особенностей очистительной машины и составляет 1-3 минуты.

В результате разрушения клеточного наружного слоя картофеля в процессе механической очистки и реакции окисления образуется темноокрашенное вещество, типа меланинов, которые ухудшают внешний вид и другие товарные качества продукта. Для предотвращения потемнения очищенного картофеля клубни помещают в воду или обрабатывают сернистыми соединениями. В связи с тем, что механическая очистка не обеспечивает максимального удаления с поверхности клубня кожицы, глазков и других различных дефектов, а отходы картофеля достигают 30-40 %, она заменяется паровым

способом очистки. Паровой способ основан на кратковременной обработке клубней паром высокого давления с последующим удалением кожуры водой в моечно-очистительной машине. При этом происходит интенсивное неглубокое разваривание и ополаскивание поверхностного слоя ткани картофеля. Резкий перепад давления при выгрузке картофеля из аппарата создает эффект взрыва и усиливает отделение поверхностного слоя клубня. Давление пара при этом составляет 0,4-0,8 мПа, продолжительность процесса – 15-60 с, глубина обработки – 0,9-1,5 мм, отходы – не более 5-6 %.

В ходе исследований также изучали влияние способа очистки картофеля на химический состав анатомических тканей картофеля и изменение массовой доли аскорбиновой кислоты и ее форм [7]. Полученные данные приведены в табл. 3.

Выявлено (табл. 3) неравномерное распределение химических веществ в массе клубней, и с целью

их максимального сохранения рекомендовано учитывать это при технологической обработке. Клубни, очищенные паром, характеризуются наиболее высокой витаминной активностью – потери аскорбиновой кислоты колеблются от 3-4,5 %, тиамин – 18-20 %, ниацин – 5-6 %.

В табл. 4 показано изменение форм аскорбиновой кислоты в процессе механической и паровой очистки картофеля.

Минимальное разрушение восстановленной формы аскорбиновой кислоты характерно для парового способа очистки картофеля, что дает возможность рекомендовать данный способ как наиболее эффективный.

Заключение

Установлено, что увеличение содержания сухих веществ в клубнях улучшает цвет и вкус сушеного продукта, полученного из данного вида картофеля.

Таблица 3. Химический состав анатомических тканей картофеля

Показатели массовой доли на сухое вещество	Концентрация в тканях картофеля					
	коре	внешней сердцевине	внутренней сердцевине	коре	внешней сердцевине	внутренней сердцевине
	Здабытак			Веснянка		
Сухое вещество, %	26,2	24,3	18,5	24,5	22,5	15,9
Усваиваемые углеводы, %	84,1	78,3	81,6	81,4	78,9	80,6
в т. числе:						
– крахмал	77,5	69,4	67,6	75,1	70,3	68,2
– редуцируемые сахара	0,16	0,21	0,30	0,20	0,29	0,38
Белок, %	2,7	4,1	8,3	4,0	7,5	10,1
Витамины, 10 ⁻³ %						
– аскорбиновая кислота (С)	57,1	43,4	34,1	59,2	49,1	46,2
– тиамин (В ₁)	0,57	0,85	1,49	0,37	0,65	1,22
– ниацин (РР)	3,71	2,89	2,11	3,62	2,91	1,98

Таблица 4. Влияние способа очистки картофеля на изменение массовой доли аскорбиновой кислоты и ее форм

Способ очистки картофеля	Массовая доля аскорбиновой кислоты и ее форм, 10 ⁻³ % на сырую массу					
	всего	% к исходному сырью	восстановленной формы	% к исходному сырью	связанной формы	% к исходному сырью
	Здабытак					
Картофель (до очистки)	13,60	100,00	10,25	75,38	0,68	5,00
механической	12,17	89,46	10,20	75,00	0,49	3,60
паровой	13,19	96,88	10,23	75,22	0,68	5,00
	Веснянка					
Картофель (до очистки)	14,35	100,00	10,89	75,86	0,72	5,00
механической	12,98	90,50	10,43	72,70	0,60	4,20
паровой	13,81	95,42	10,61	76,12	0,51	4,80

Сушеный картофель лучшего качества получается из клубней сортов Здабытак и Веснянка, выращиваемых в Республике Беларусь, с высоким содержанием сухих веществ – 25,3 % и 23,8 % соответственно.

Содержание редуцируемых сахаров в указанных сортах картофеля изменяется незначительно при температуре хранения 6-8 °С, а переработка такого картофеля позволяет получить продукцию высокого качества.

Паровой способ очистки картофеля в сравнении с механическим характеризуется минимальными потерями витаминной активности и рекомендуется для производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Картофель сушеный. Технические условия: ГОСТ 28432-90. – Введен 01.01.91.
2. Мазур, А.М. Исследование органолептических и физико-химических показателей картофеля, выращиваемого в Республике Беларусь / А.М. Мазур // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: материалы II Междунар. науч.-практич.

конф., Минск, 26-27 марта 2015 г. / Белор. гос. аграрн. технич. ун-т. – Минск: БГАТУ. – С. 60-61.

3. Мазур, А.М. Научно-практические основы технологии сухого картофельного пюре / А.М. Мазур // Вестник МГУП, 2013. – № 1(14). – С. 8-13.

4. Турко, С.А. Сорта и технологии производства картофеля для промышленной переработки / С.А. Турко. – Мн.: РУП «Научно-практич. центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству», 2008. – С. 5-13.

5. Путц, Б. Переработка картофеля / Б. Путц, Ф. Ребере, П. Ветцольд // Пищевая промышленность, 1978. – С. 60.

6. Переработка картофеля – стратегический путь развития картофелеводства России / ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха. – М., 2006. – С. 153.

7. Горун, Е.Г. Научные основы технологии консервирования продуктов питания из картофеля: автореферат дисс. докт. техн. наук / Е.Г. Горун; Одесса, 1988. – С. 15-16.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 17.01.2017

Измерители-регуляторы МТ2

Предназначены для измерения и регулирования температуры (в комплекте с датчиками температуры), а также других неэлектрических величин (давление, уровень, влажность и т.д.)



Измерители-регуляторы МТ2 являются универсальными цифровыми программируемыми микропроцессорными устройствами. Они могут быть использованы при создании систем автоматического контроля и регулирования различных параметров технологических процессов в промышленности и сельском хозяйстве.

Основные технические данные

Напряжение питания	230 В ± 10%, 50 Гц
Потребляемая мощность, не более	4 ВА
Масса, не более	0,4 кг
Габаритные размеры	120х96х48 мм
Входной сигнал (измерительный преобразователь)	Термопреобразователь сопротивления: ТСП50П, ТСП100П, ТСМ50М, ТСМ100М; Термопара типа: «L», «J», «K»; Унифицированный токовый сигнал: 0...5 мА, 0...20 мА, 4...20 мА
Предел основной приведенной погрешности измерения	±0,5 %
Закон регулирования	позиционный, ПИД

УДК 621.313.33:004

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ В ДВИГАТЕЛЬНОМ И ГЕНЕРАТОРНОМ РЕЖИМАХ ПРИ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ СКОРОСТЬЮ И СТАБИЛИЗАЦИИ ПОТОКА ВОЗБУЖДЕНИЯ

М.А. Прищепов,

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

Е.М. Прищепова,

ст. преподаватель каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ

Д.М. Иванов,

аспирант, каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ

В статье рассмотрены вопросы, касающиеся частотно-регулируемого асинхронного электропривода. Приведены основные статические законы частотного управления. Для наиболее широко распространенных законов стабилизации потокосцепления статора, ротора, взаимоиנדукции разработаны детальные алгоритмы расчета статических характеристик АД и проведено их сравнение.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, частотно-регулируемый электропривод, искусственные характеристики, стабилизация потока возбуждения, алгоритм расчета.

The article deals with questions relating to variable-frequency electric drive. The main static laws of frequency control are given. For the most widespread laws of stabilization of the stator-rotor, mutual induction, detailed algorithms for calculating the static characteristics of an induction motor and their comparison have been developed and compared.

Keywords: induction motor, variable frequency drives, artificial characteristics, stabilization of the flow excitation, the calculation algorithm.

Введение

Различают два основных способа управления асинхронными электроприводами, использующими полупроводниковые преобразователи частоты: модульное или скалярное и векторное. При этом модульное или скалярное управление в литературе, как правило, называют просто частотным. В настоящее время, несмотря на интенсивное развитие векторного способа управления, частотное управление довольно широко распространено, так как позволяет решать многие технические задачи просто и эффективно. Это относится в первую очередь к приводам с малым диапазоном регулирования (диапазон регулирования скорости – не более 50) и низкими требованиями к динамике привода. Модульное или скалярное управление базируется на изменении модулей или скаляров величин, определяющих электромагнитный момент асинхронных двигателей (АД) (частоты, напряжения, токов и магнитных потоков).

Основная часть

При частотном управлении в электроприводе реализуется один из статических законов частотного управления [1-4]:

$$1) \frac{U_1}{f_1} = \frac{U_{1H}}{f_H} = const; \quad (1)$$

$$2) \frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = \frac{U_{1H}}{\sqrt{f_H}} = const; \quad (2)$$

$$3) \frac{U_1}{f_1^2} = \frac{U_{1H}}{f_H^2} = const; \quad (3)$$

4) оптимальный закон Костенко:

$$\frac{U_1}{U_{1H}} = \frac{f_1}{f_H} \cdot \sqrt{\frac{M_c}{M_H}}; \quad (4)$$

5) закон постоянства потокосцепления статора:

$$\Psi_1 = const; \text{ или } \frac{E_s}{f_1} = const; \text{ или } IR \text{ компенсации;}$$

6) закон постоянства потокосцепления цепи намагничивания:

$$\Psi_m = const \text{ или } \frac{d\Psi_m / dt}{f_1} = const \text{ или } \frac{E_1}{f_1} = const;$$

7) закон постоянства потокосцепления ротора:

$$\Psi_2 = const \text{ или } \frac{d\Psi_2 / dt}{f_1} = const \text{ или } \frac{E_2'}{f_1} = const;$$

8) закон постоянства абсолютного скольжения:

$$s_a = s \cdot a = const \text{ или } s_a = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} \cdot \frac{\omega_1}{\omega_{1н}} = const,$$

9) минимизация тока статора $I_1 \rightarrow min$;

10) закон максимальной эффективности $\eta \rightarrow \max$ ($P_1 \rightarrow \min$) и другие,

где ω_1, f_1 – синхронная угловая скорость электромагнитного поля и соответствующая ей частота питающего напряжения статора АД, рад/с, Гц;

U_1 – значение питающего напряжения статора АД, В;

$\omega_{1н}, f_{1н}$ – номинальная угловая скорость электромагнитного поля и соответствующая ей номинальная частота питающего напряжения статора АД, Гц;

$U_{1н}$ – номинальное напряжение питания статора, В;

M_c – статический момент на рабочем валу механизма, Н·м;

M_H – номинальный момент на рабочем валу механизма при номинальной угловой скорости, Н·м;

ω – угловая скорость ротора, рад/с;

Ψ_1, Ψ_2, Ψ_m – потокосцепления, соответственно, статора, ротора и взаимоиנדукции, В·с;

E_s, E_1, E_2 – ЭДС, соответственно, статора, взаимоиנדукции и ротора, приведенная к обмотке статора, В;

$\alpha = f_1 / f_H$ – относительное значение частоты питающего напряжения;

s – скольжение АД, о.е.;

s_a – абсолютное скольжение АД, о.е.;

I_1 – текущий ток статора, А;

P_1 – потребляемая мощность АД, Вт;

η – КПД двигателя.

Формирование закона может выполняться как в разомкнутом, так и в замкнутом контуре управления.

Область применения разомкнутых систем управления ограничивается механизмами с небольшим диапазоном регулирования скорости и механизмами с известной механической характеристикой, т.е. зависимостью статического момента M_c на рабочем валу механизма от угловой скорости ω $M_c = f(\omega)$. В частности, жесткое задание зависимости $U_1 = f(\omega_1)$ хорошо подходит для управления механизмами насосно-вентиляторной группы.

Если механическая характеристика нагрузки $M_c = f(\omega)$ известна, то расчет зависимости $U_1 = f(\omega_1)$ может быть выполнен на основе статической модели АД с учетом выбранного закона частотного управления. Пока закон частотного управления не задан, задача расчета $U_1 = f(\omega_1)$ по $M_c = f(\omega)$ решается неоднозначно.

Если механическая характеристика нагрузки заранее неизвестна (например, имеет случайный характер), то формирование выбранного закона частотного управления (за исключением закона $U_1 / f_1 = U_{1н} / f_{1н} = const$) осуществляется в замкнутом контуре с помощью введения обратных связей по переменным двигателя, хотя и

при этом динамические характеристики привода остаются невысокими.

Таковыми переменными двигателя могут быть ток и ЭДС статора (I_1, E_s), основной магнитный поток АД (Φ), угловая скорость ротора (ω) или абсолютное скольжение (s_a). Наиболее простым и доступным сигналом является ток статора, именно он используется в большинстве приводов широкого применения при частотном управлении.

Из замкнутых систем частотного управления АД наиболее широкое распространение получили системы стабилизации потокосцепления: статора $\Psi_1 = const$, взаимоиנדукции $\Psi_m = const$, ротора $\Psi_2 = const$ [5, 6]. Каждый из этих законов частотного управления обеспечивает определенные электромеханические свойства и энергетические показатели АД.

Для анализа этих свойств и показателей авторами публикации были разработаны детальные алгоритмы расчета параметров схемы замещения, механических и электромеханических характеристик АД при указанных законах стабилизации потокосцепления.

При управлении АД по закону стабилизации $\Psi_1 = const$ непрерывно устраняется или компенсируется влияние на электромагнитные процессы в АД падения напряжения на сопротивлении статора r_1 схемы замещения (СЗ) АД, поэтому этот закон частотного управления называют также законом управления с IR-компенсацией.

Рассматривая частотное управление АД по закону $\Psi_1 = const$ на основании общеизвестного соотношения между действующими значениями ЭДС E , потокосцепления Ψ и угловой скорости ω $E = \omega \Psi$, можно записать пропорцию [5, 6]:

$$\frac{E_s}{\omega_1} = \frac{E_{s,н}}{\omega_{1н}} = const, \quad (5)$$

где $E_{s,н}$ – номинальное значение ЭДС статора, В.

Из нее же можем найти и действующее значение ЭДС статора:

$$E_s = E_{s,н} \cdot \frac{\omega_1}{\omega_{1н}} = \alpha \cdot E_{s,н} \quad (6)$$

Механическая характеристика будет выражаться параметрическим уравнением:

$$M = \frac{2 \cdot M_k}{\left. \begin{aligned} & \frac{s_a}{s_{ak}} + \frac{s_{ak}}{s_a} \\ & \omega = \omega_{0н} \cdot (\alpha - s_a) \end{aligned} \right\}}, \quad (7)$$

где M_k – критический момент двигателя,

$$M_k = \frac{3 \cdot E_{s,н}^2}{2 \cdot \omega_{0н} \cdot x'_{к,ном}}, \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (8)$$

$\omega_{0н}$ – синхронная угловая скорость магнитного поля статора АД при номинальной частоте переменного тока питающей сети, рад/с;

$x'_{к,ном}$ – индуктивное номинальное сопротивление обмоток статора и ротора АД при номинальной частоте питающего напряжения для режима короткого замыкания (при неподвижном роторе), Ом;

s_a – абсолютное скольжение, $s_a = s_a \cdot s$;
 s_{ak} – абсолютное критическое скольжение

$$s_{ak} = \pm \frac{r_2''}{x_{к.ном}} \quad (9)$$

r_2'' – активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, для Г-образной схемы замещения, Ом;

Параметрическое уравнение электромеханической характеристики $I_1=f(\omega)$ имеет вид:

$$I_1 = \frac{E_{с.н}}{\sqrt{R_{B,A}^2 + (x_1 + X_{B,A})^2}} \left. \begin{array}{l} \\ \omega = \omega_{0н} \cdot (\alpha - s_a) \end{array} \right\} \quad (10)$$

где $R_{B,A}$ – «внутреннее» активное сопротивление АД при номинальной частоте и данном значении абсолютного скольжения s_a , Ом;

$X_{B,A}$ – «внутреннее» индуктивное сопротивление АД при номинальной частоте и данном значении абсолютного скольжения s_a , Ом;

x_1 – индуктивное сопротивление рассеяния фазы статора, Ом;

Уравнение электромеханической характеристики $I_2=f(\omega)$:

$$I_2' = \frac{E_{с.н}}{\sqrt{\left(\frac{r_2''}{s_a}\right)^2 + x_{к.ном}'^2}} \left. \begin{array}{l} \\ \omega = \omega_{0н} \cdot (\alpha - s_a) \end{array} \right\} \quad (11)$$

При реализации этого закона частотного управления необходимо обеспечивать на обмотке статора АД напряжение:

$$U = \alpha \cdot E_{с.н} \cdot \frac{Z'_{АД}}{\sqrt{R_{B,A}^2 + (x_1 + X_{B,A})^2}} \quad (12)$$

где $Z'_{АД}$ – полное сопротивление цепи АД при данном абсолютном скольжении s_a и относительной частоте α , Ом.

Алгоритм расчета характеристик АД по представленной выше методике согласно работ [5, 6] рассматривался авторами ранее в работе [7], где результаты расчета сравнивались с аналогичными результатами, полученными по методике, представленной в работе [8]. При этом в обоих случаях расчет параметров СЗ АД ($r_1, r_2', x_1, x_2', x_n$) проводился по алгоритму, приведенному в работе [9]. Имеющееся несовпадение механических и электромеханических характеристик в диапазоне угловых скоростей от критической и меньшей критической угловой скорости для двигательного режима и от критической и больших критической угловой скорости для генераторного режима, рассчитанных по указанным методикам, объясняется тем, что ЭДС статора E_s в методике [5, 6] рассчитывалась из векторной диаграммы геометрически, а в методике [8] из выражения через действующие значения ее параметров.

Для частотного управления при стабилизации потокосцепления по закону $\Psi_m=const$, запишем пропорцию [5, 6]:

$$\frac{E_1}{\omega_1} = \frac{E_{1.н}}{\omega_{1н}} = const \quad (13)$$

Тогда действующее значение ЭДС взаимоиндукции:

$$E_1 = \alpha \cdot E_{1.н} \quad (14)$$

Номинальное значение ЭДС взаимоиндукции $E_{1.н}$ находим из выражения:

$$E_{1.н} = \sqrt{\left(U_n \cdot \sqrt{(1 - \cos^2 \varphi_n)} - I_{1н} \cdot x_1\right)^2 + \left(U_n \cdot \cos \varphi_n - I_{1н} \cdot r_1\right)^2} \quad (15)$$

где $\cos \varphi_n$ – номинальный коэффициент мощности, о.е.

Механическая характеристика АД при частотном управлении по закону $\Psi_m=const$ определяется параметрическим уравнением (7).

Критический момент будет равен:

$$M_k = \frac{3 \cdot E_{1.н}^2}{2 \cdot \omega_{0н} \cdot x_{2.н}'^2} \quad (16)$$

где $x_{2.н}'$ – индуктивное сопротивление рассеяния фазы ротора СЗ АД, при номинальной частоте, Ом.

Абсолютное критическое скольжение:

$$s_{ak} = \pm \frac{r_2''}{x_{2.н}'^2} \quad (17)$$

Уравнение электромеханической характеристики $I_1=f(\omega)$ имеет следующий вид:

$$I_1 = \frac{E_{1.н}}{\sqrt{R_{B,A}^2 + X_{B,A}^2}} \left. \begin{array}{l} \\ \omega = \omega_{0н} \cdot (\alpha - s_a) \end{array} \right\} \quad (18)$$

Уравнение электромеханической характеристики $I_2=f(\omega)$:

$$I_2' = \frac{E_{1.н}}{\sqrt{\left(\frac{r_2''}{s_a}\right)^2 + x_{2.н}'^2}} \left. \begin{array}{l} \\ \omega = \omega_{0н} \cdot (\alpha - s_a) \end{array} \right\} \quad (19)$$

Необходимая величина действующего значения напряжения при частотном управлении по закону $\Psi_m=const$, исходя из эквивалентной СЗ АД, может быть вычислена по формуле:

$$U = \alpha \cdot E_{1.н} \cdot \frac{Z'_{АД}}{Z_{B,A}} \quad (20)$$

Алгоритм подпрограммы вычисления параметров $s_a, M, \omega, R_{B,A}, X_{B,A}, Z'_{АД}, Z_{B,A}, I_1, I_2, U$ в алгоритме расчета механических и электромеханических характеристик АД при частотном регулировании для $\Psi_m=const$ по методике [5, 6] представлен на рисунке 1.

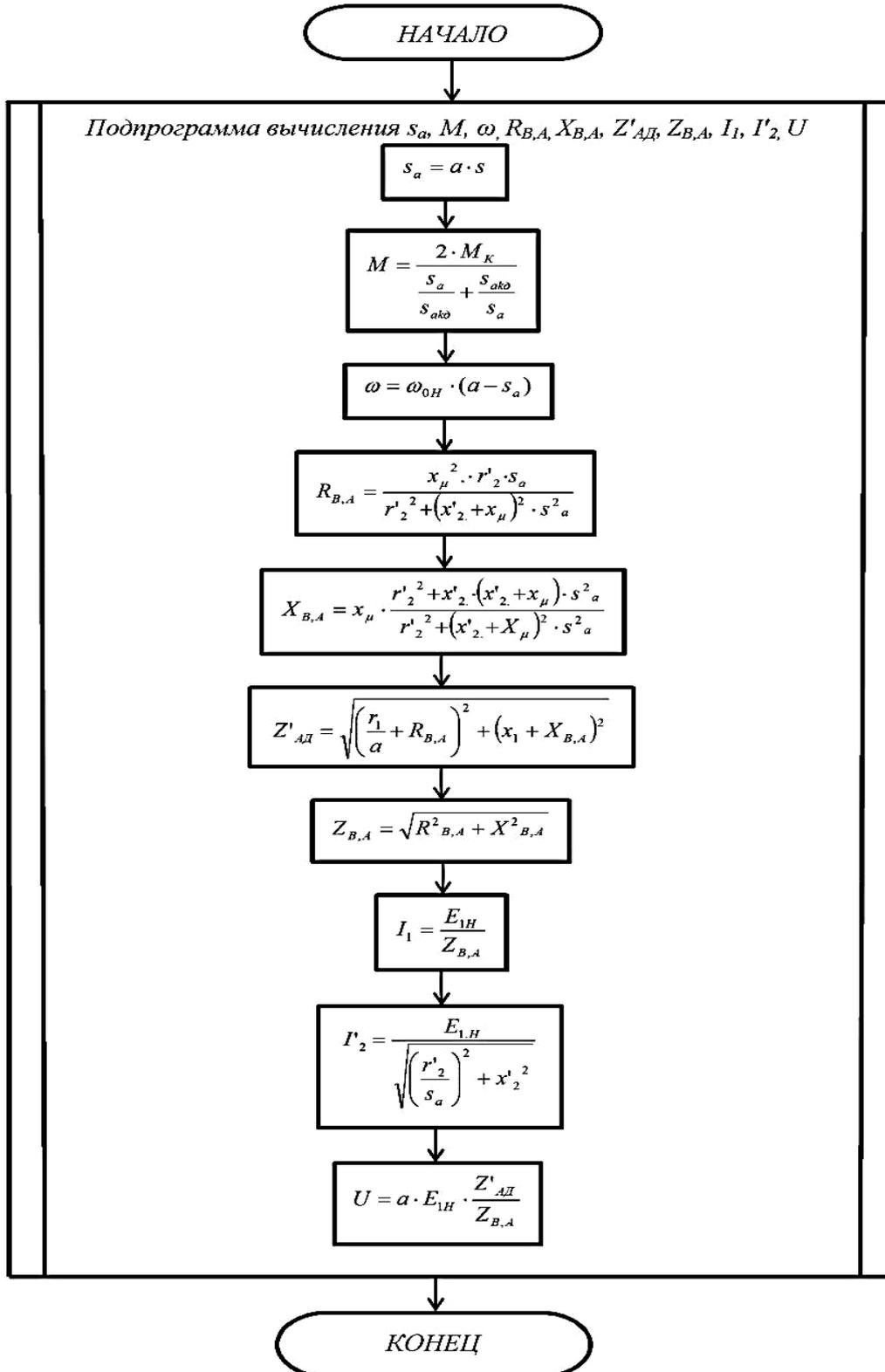


Рисунок 1. Алгоритм подпрограммы вычисления параметров $s_a, M, \omega, R_{B,A}, X_{B,A}, Z'_{AD}, Z_{B,A}, I_1, I'_2, U$ в алгоритме расчета механических и электромеханических характеристик АД при частотном регулировании для $\Psi_m = \text{const}$ по методике [5, 6]

Указанный алгоритм расчета механических и электромеханических характеристик АД при частотном регулировании для $\Psi_m = const$ будет аналогичен основному алгоритму расчета, представленному на рисунке 8, при $\Psi_l = const$ работы [7].

Для частотного управления АД при стабилизации потокосцепления по закону $\Psi_2 = const$ запишем пропорцию:

$$\frac{E'_2}{\omega_1} = \frac{E'_{2H}}{\omega_{1H}} = const, \quad (21)$$

где E'_2 – приведенное значение ЭДС, индуктированной потокосцеплением ротора, В;

E'_{2H} – приведенное значение ЭДС ротора при номинальной угловой скорости $\omega_{1H} = 2\pi f_{H}$, В.

Тогда

$$E'_2 = E'_{2H} \cdot \frac{\omega_1}{\omega_{1H}} = a \cdot E'_{2H}, \quad (22)$$

Принимая во внимание, что $E'_{2H} = \omega_{1H} \cdot \Psi_{2H}$, тогда действующее значение номинального потокосцепления ротора определим из потокосцепления взаимной индукции Ψ_{mn} при максимальной нагрузке:

$$\Psi_{2H} = \Psi_{mn} \cdot \cos \varphi_2 = \Psi_{mn} \cdot \frac{S_{ак}}{\sqrt{S_{ак}^2 + S_H^2}}, \quad (23)$$

где $S_{ак} = \frac{r'_2}{x'_2}$ – абсолютное критическое скольжение, о.е.

Соответственно

$$\Psi_{mn} = \frac{E_{1H}}{\omega_{1H}} \quad (24)$$

Значение тока статора:

$$I_1 = E'_{2H} \cdot \sqrt{s_a^2 \cdot \left[\frac{1}{r'_2} + \frac{1}{(x'_\mu \cdot s_{ак})^2} + \frac{2}{x'_\mu \cdot s_{ак} \cdot r'_2} \right] + \frac{1}{x'^2_\mu}} \quad (25)$$

ротора:

$$I'_2 = s_a \cdot \frac{E'_{2H}}{r'_2}. \quad (26)$$

Тогда электромагнитный момент трехфазного АД:

$$M = \frac{3 \cdot I'^2_2 \cdot r'_2}{\omega_0 \cdot s} = \frac{3 \cdot I'^2_2 \cdot r'_2}{\omega_{0H} \cdot s_a}. \quad (27)$$

Выразив из выражения приведенного тока ротора I'_2 абсолютное скольжение s_a и подставив его в выражение электромагнитного момента, получим:

$$M = 3 \cdot \frac{E'_{2H}}{\omega_{0H}} \cdot I'_2. \quad (28)$$

Учитывая, что $\omega_{0H} = \frac{\omega_{1H}}{p}$, а $\frac{E'_{2H}}{\omega_{1H}} = \Psi_{2H}$,

получим

$$M = 3 \cdot p \cdot \Psi_{2H} \cdot I'_2 = c \cdot I'_2, \quad (29)$$

где;

p – число пар полюсов обмотки статора.

Подставив в выражение момента M (28) выражение тока ротора I'_2 (26), получим:

$$M = 3 \cdot p \cdot \Psi_{2H} \cdot \frac{E'_{2H}}{r'_2} \cdot s_a = 3 \cdot p \cdot \Psi_{2H} \cdot \frac{E'_{2H}}{r'_2} \cdot \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_{0H}} = 3 \cdot p \cdot \Psi_{2H} \cdot \frac{E'_{2H}}{r'_2} \cdot \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_{0H}} \cdot p = \frac{3 \cdot (p \cdot \Psi_{2H})^2}{r'_2} \cdot (\omega_0 - \omega). \quad (30)$$

Обозначив $\beta = \frac{3 \cdot (p \cdot \Psi_{2H})^2}{r'_2}$ и выразив $\omega_0 = \alpha \cdot \omega_{0H}$,

получим окончательное уравнение механической характеристики АД при частотном управлении по закону $\Psi_2 = const$:

$$\omega = \alpha \cdot \omega_{0H} - \frac{M}{\beta}, \quad (31)$$

где β – модуль жесткости механической характеристики.

При постоянной жесткости β , механическая характеристика АД становится линейной, аналогичной двигателю постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ) и ограничивается режимом насыщения магнитопровода ($\approx 1,5 \dots 2 M_H$).

Необходимая величина действующего значения напряжения, подаваемого на фазную обмотку статора АД, при частотном управлении по закону $\Psi_2 = const$ рассчитывается из эквивалентной Т-образной СЗ АД по формуле:

$$U = \omega_{1H} \cdot \Psi_{2H} \cdot \frac{s_a}{r'_2} \cdot \sqrt{R^2(\alpha, s_a) + X^2(\alpha, s_a)}, \quad (32)$$

где

$$R(\alpha, s) = \frac{r_1}{k_r} + \frac{\alpha \cdot r'_2}{k_s \cdot s_a} - \text{активное сопротивление АД при данном абсолютном скольжении } s_a \text{ и относительной частоте } \alpha, \text{ Ом;}$$

индуктивное сопротивление АД при данном абсолютном скольжении s_a и относительной частоте α , Ом;

$$X(\alpha, s_a) = \alpha \cdot \left(x'_{к.ном} + \frac{x'_{к.ном}}{x'_\mu} \right) - \frac{r'_1}{x'_\mu} \cdot \frac{r'_2}{s_a} -$$

коэффициент магнитной связи ротора;

$$k_r = \frac{x'_\mu}{x_2 + x'_\mu} - \text{коэффициент магнитной связи статора;}$$

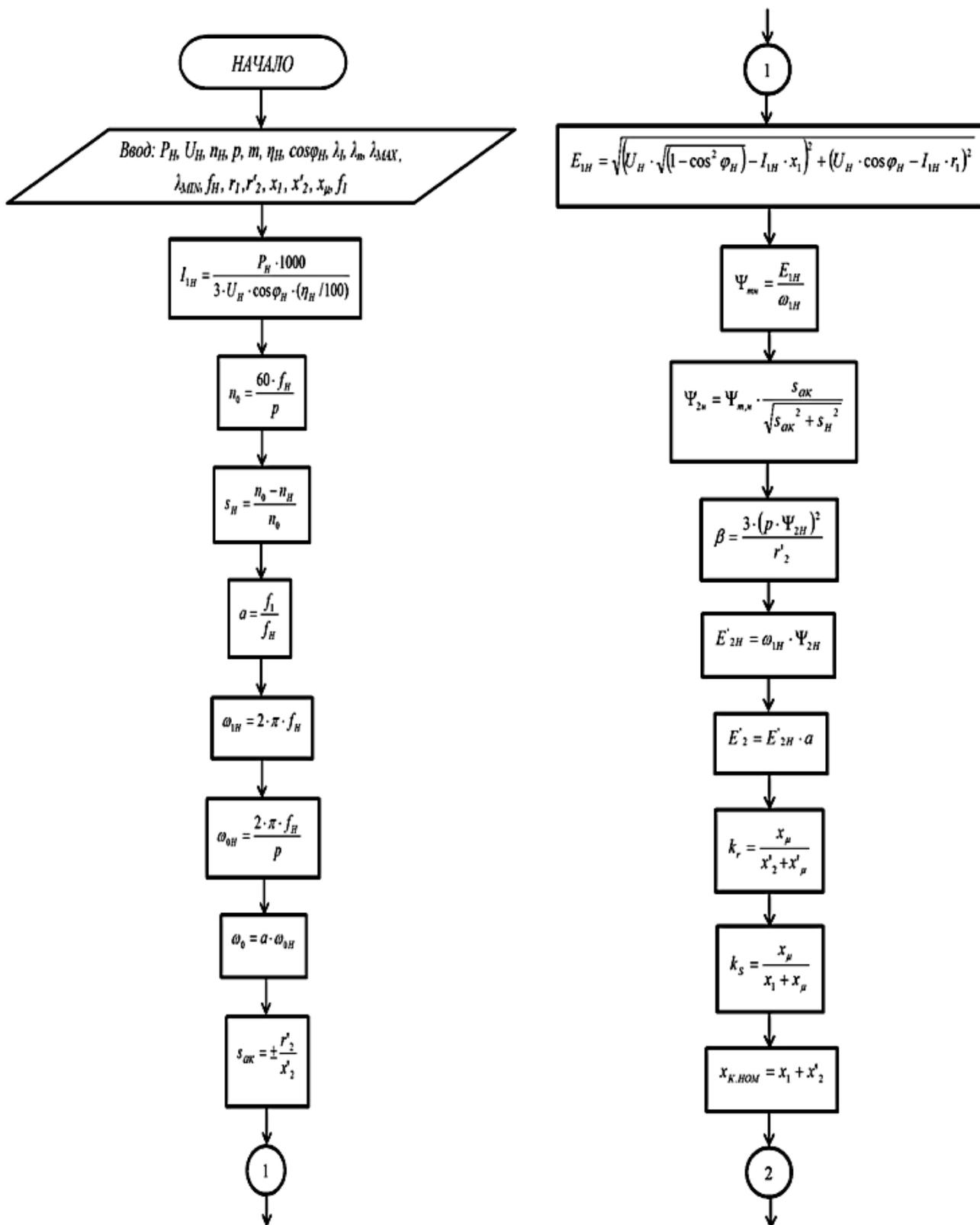
$$k_s = \frac{x'_\mu}{x_1 + x'_\mu} - \text{коэффициент магнитной связи статора;}$$

$$x'_{к.ном} = x_1 + x'_2.$$

Алгоритм расчета механических и электромеханических характеристик АД при частотном регулировании для $\Psi_2 = const$ по методике [5, 6] представлен на

рисунке 2. В алгоритме расчет характеристик АД проводится на рабочем участке механической харак-

теристики от $2 M_H$ до $-2 M_H$, т.е. при изменении относительного момента μ от 2 до -2 .



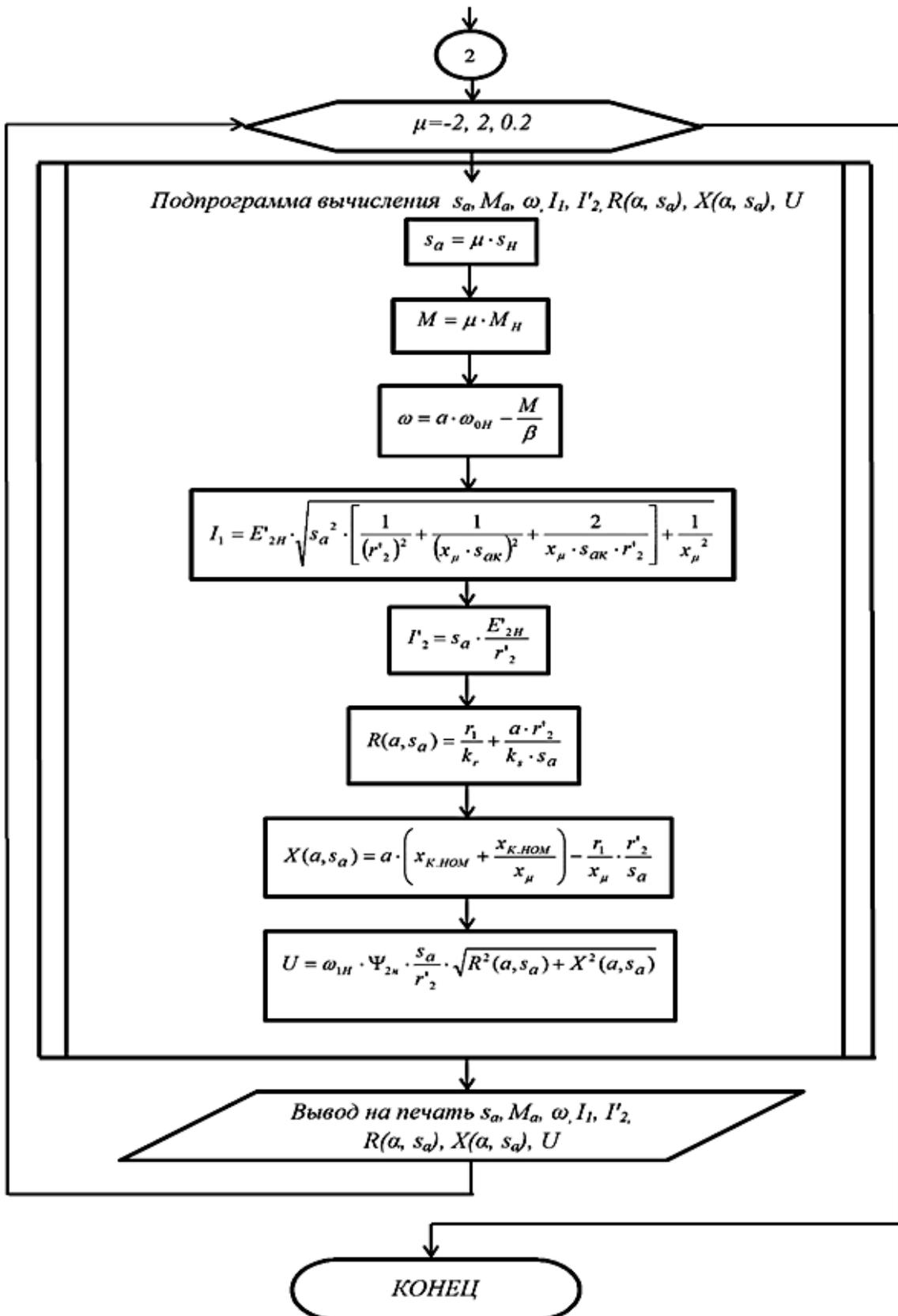


Рисунок 2. Алгоритм расчета механических и электромеханических характеристик АД при частотном регулировании для $\Psi_2 = \text{const}$ по методике [5, 6]

где P_H – номинальная мощность двигателя, кВт;
 U_H – номинальное напряжение питания (фазное), В;
 n_H – номинальная частота вращения, об/мин;
 $\cos\varphi_H$ – номинальный коэффициент мощности, о.е.;
 η_H – номинальный коэффициент полезного действия двигателя, %;

λ_{MAX} – кратность максимального момента к номинальному, о.е.;

λ_{II} – кратность пускового момента к номинальному, о.е.;

λ_i – кратность пускового тока к номинальному, о.е.;

λ_{MIN} – кратность минимального момента к номинальному, о.е.;

f_H – номинальная частота переменного тока питающей сети, Гц;

r_1 – активное сопротивление обмотки статора, Ом;

r'_2 – активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, Ом;

x_1 – индуктивное сопротивление рассеяния фазы статора, Ом;

x'_2 – индуктивное сопротивление рассеяния фазы ротора, приведенное к обмотке статора, Ом;

x_u – индуктивное сопротивление ветви намагничивания, Ом;

f_1 – текущая частота переменного тока питающей сети, Гц;

I_{IH} – номинальный фазный ток статора, А;

n_0 – синхронная частота вращения магнитного поля статора, мин⁻¹;

s_H – номинальное скольжение АД, о.е.;

α – относительная частота питающего напряжения, о.е.;

ω_{IH} – номинальная угловая скорость переменного тока питающей сети, рад/с;

ω_{0H} – синхронная угловая скорость АД при номинальной частоте f_H переменного тока питающей сети, рад/с;

ω_0 – синхронная угловая скорость АД при текущей частоте f_1 питающей сети, рад/с;

$s_{ок}$ – абсолютное критическое скольжение при законе управления Ψ_m ;

E_{IH} – значение номинальной ЭДС взаимоиנדукции, В;

Ψ_{mi} – номинальное значение потокосцепления взаимоиנדукции, В·с;

Ψ_{2H} – номинальное значение потокосцепления ротора, В·с;

β – модуль жесткости механической характеристики;

E'_{2H} – значение номинальной ЭДС, индуцируемой потокосцеплением ротора при номинальной частоте питающего напряжения, В;

E'_2 – значение ЭДС, индуцируемой потокосцеплением ротора при текущей частоте f_1 питающего

напряжения, В;

k_r – коэффициент магнитной связи ротора;

k_s – коэффициент магнитной связи статора;

x_{KHOM} – индуктивное номинальное сопротивление обмоток статора и ротора АД при номинальной частоте питающего напряжения для режима короткого замыкания (при неподвижном роторе), Ом;

s_a – абсолютное скольжение;

μ – относительный момент механической характеристики АД, о.е.;

M – расчетный момент механической характеристики АД, Н·м;

ω – текущее значение угловой скорости ротора АД, с⁻¹.

I_1 – расчетный ток статора АД электромеханической характеристики, А;

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

$R(\alpha, s_a)$ – активное сопротивление АД при данном абсолютном скольжении s_a и относительной частоте α , Ом.

$X(\alpha, s_a)$ – индуктивное сопротивление АД при данном абсолютном скольжении s_a и относительной частоте α , Ом.

U – изменяемое напряжение питания на обмотках статора АД при частотном регулировании для $\Psi_2 = \text{const}$, В.

Рассматривая эти законы регулирования, построим для каждого из законов механические и электромеханические характеристики, вначале для номинального режима ($f_H=50$ Гц) на примере двигателя серии АИР с техническими характеристиками, приведенными в (табл. 1).

Из полученных характеристик, рассчитанных и построенных при номинальной частоте сети 50 Гц (рис.3...рис.5), видно, что критический момент АД при частотном управлении по закону $\Psi_1 = \text{const}$ близок к критическому моменту двигателя на естественной характеристике, то же самое можно сказать и про ток. При законе $\Psi_m = \text{const}$ критический момент значительно превышает критический момент на естественной механической характеристике. При частотном управлении по закону $\Psi_2 = \text{const}$ критический момент на механической характеристике отсутствует, характеристика линейна и может строиться только для рабочей части характеристики, т.е. до момента, равного 1,5...2 Мн, так как дальнейшее увеличение момента невозможно реализовать из-за значительного увеличения тока обмоток статора.

Для того чтобы проанализировать характеристики при изменении частоты f_1 питающего напряжения U_1 для двигателя АИР160S2, построим искусственные характеристики (рис.6...рис.8) при значениях частот напряжений обмотки статора 50, 25, 10 и 5 Гц.

Таблица 1. Технические характеристики электродвигателя [10]

Тип	P, кВт	n_H , мин ⁻¹	КПД, %	cosφ	$\lambda_i = \frac{I_{II}}{I_H}$	$\lambda_{II} = \frac{M_{II}}{M_H}$	$\lambda_{MAX} = \frac{M_K}{M_H}$	$\lambda_{MIN} = \frac{M_{MIN}}{M_H}$
АИР160S2	15	2930	88,7	0,89	7,0	2,1	3,0	2,0

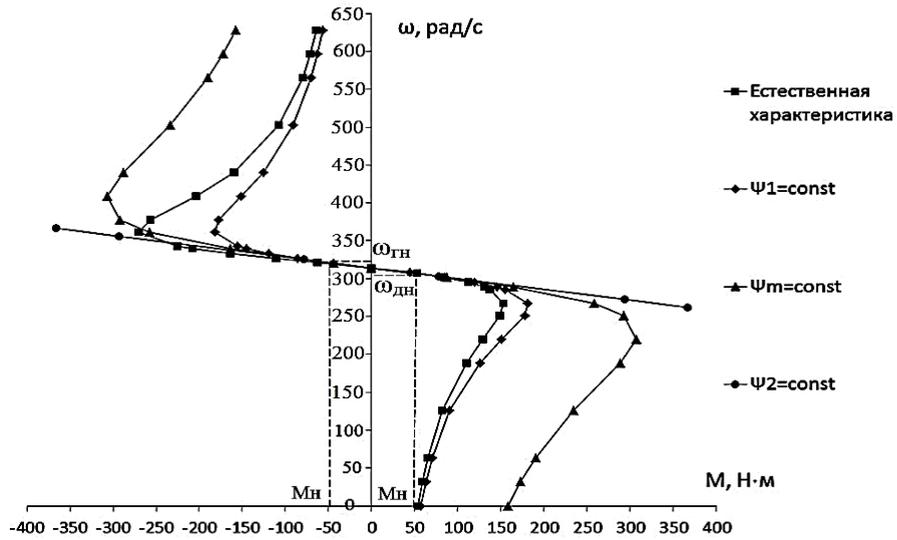


Рисунок 3. Механические характеристики $M=f(\omega)$ (естественная, $\Psi_1 = \text{const}$, $\Psi_m = \text{const}$, $\Psi_2 = \text{const}$) для двигателя АИР160S2

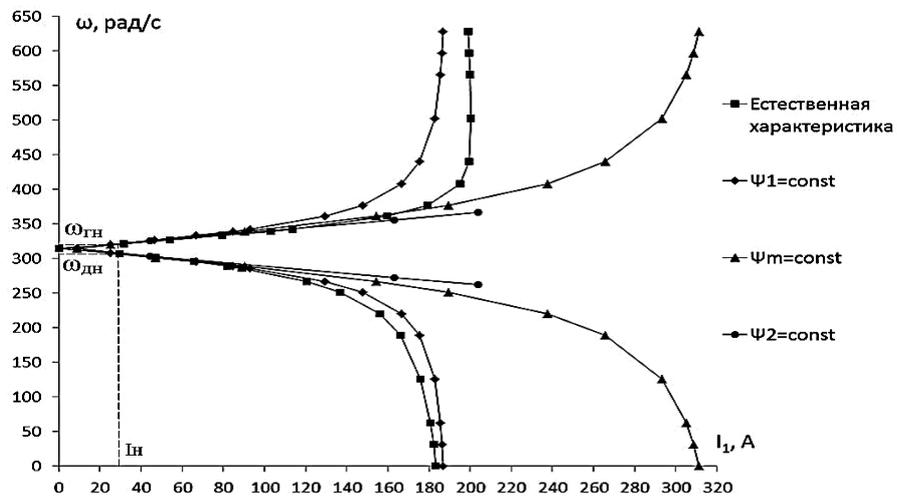


Рисунок 4. Электромеханические характеристики $I_1=f(\omega)$ (естественная, $\Psi_1 = \text{const}$, $\Psi_m = \text{const}$, $\Psi_2 = \text{const}$) для двигателя АИР160S2

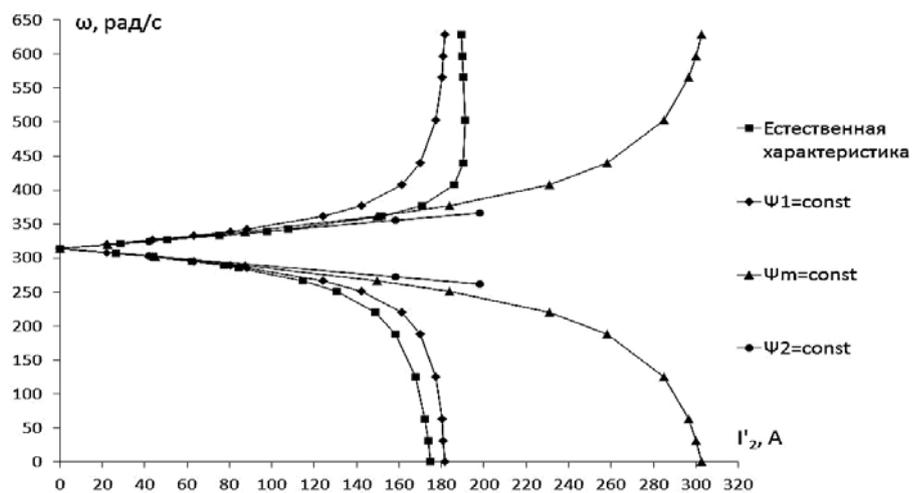


Рисунок 5. Электромеханические характеристики $I'_2=f(\omega)$ (естественная, $\Psi_1 = \text{const}$, $\Psi_m = \text{const}$, $\Psi_2 = \text{const}$) для двигателя АИР160S2

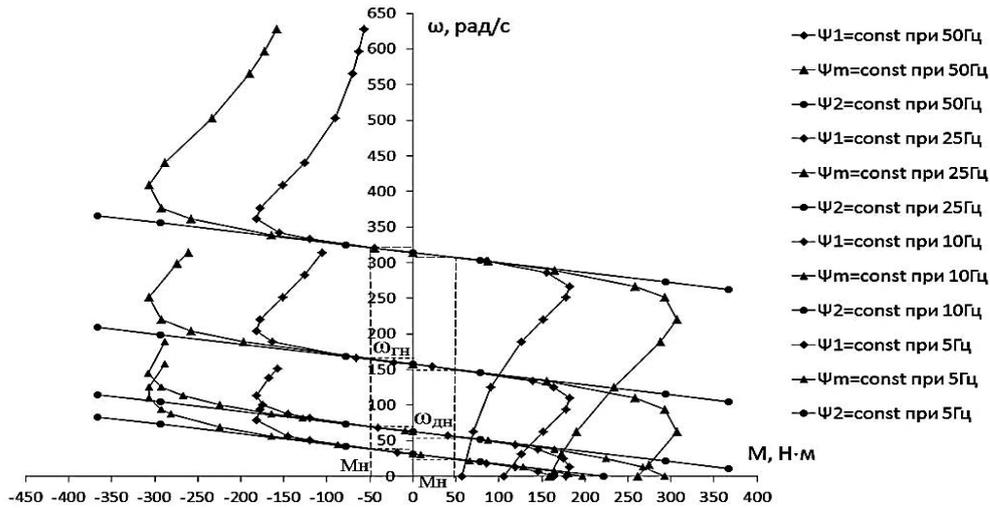


Рисунок 6. Механические характеристики при разных значениях частот напряжений обмотки статора $M=f(\omega)$ ($\Psi_1 = \text{const}$, $\Psi_m = \text{const}$, $\Psi_2 = \text{const}$) для двигателя АИР160S2

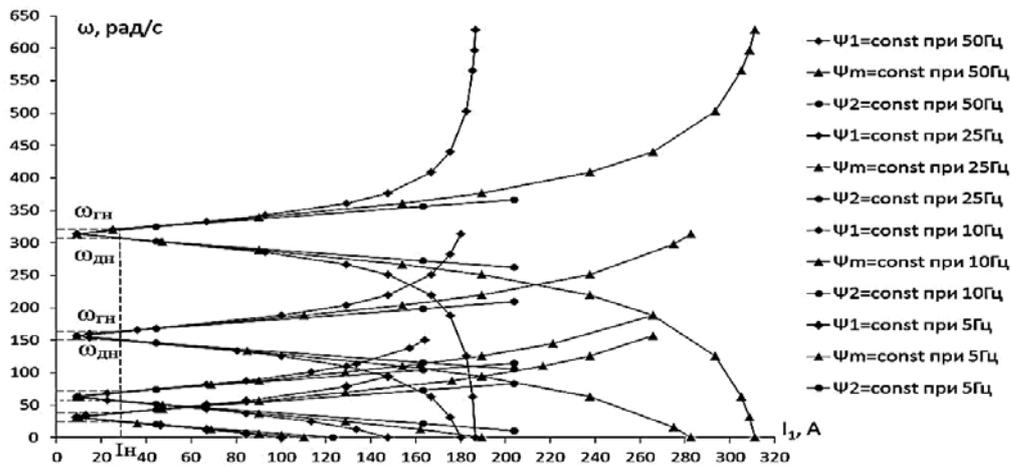


Рисунок 7. Электромеханические характеристики при разных значениях частот напряжений обмотки статора $I_1=f(\omega)$ ($\Psi_1 = \text{const}$, $\Psi_m = \text{const}$, $\Psi_2 = \text{const}$) для двигателя АИР160S2

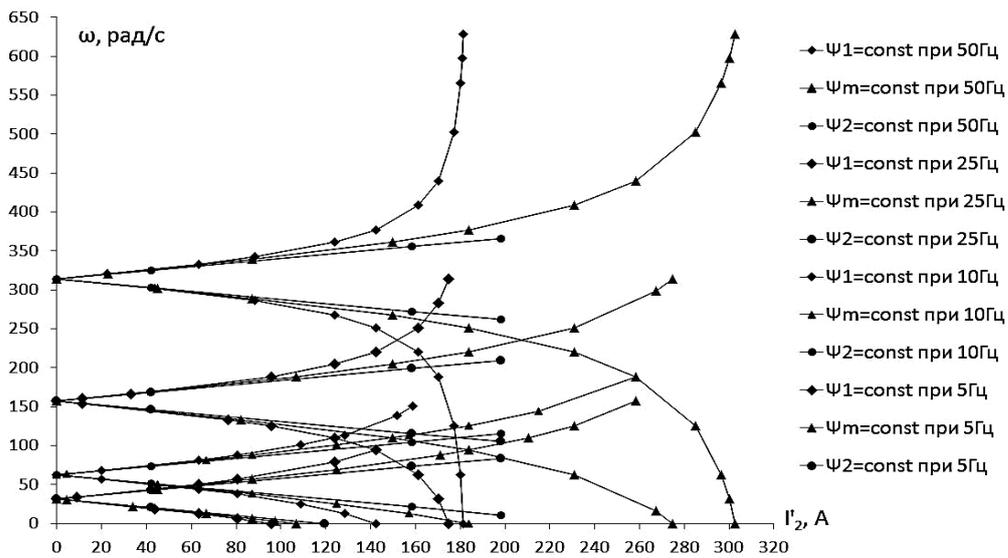


Рисунок 8. Электромеханические характеристики при разных значениях частот напряжений обмотки статора $I_2=f(\omega)$ ($\Psi_1 = \text{const}$, $\Psi_m = \text{const}$, $\Psi_2 = \text{const}$) для двигателя АИР160S2

Как видим из полученных характеристик (рис.6...рис.8), при изменении частоты напряжения обмотки статора, механические характеристики смещаются параллельно, т.е. жесткость механических характеристик остается неизменной для всего диапазона относительных частот α , поэтому все характеристики подобны (конгруэнтны). Из расчетов критических моментов выражения (8) (16) видно, что они не зависят от частоты статора и одинаковы, как в двигателе, так и генераторном режиме.

Заключение

Проведенные расчеты показывают, что при ограничении тока статора в пределах $1...1,5 I_{1н}$ наибольший момент развивает АД, управляемый по закону $\Psi_2 = const$, за ним идет управление по законам $\Psi_m = const$ и $\Psi_1 = const$, хотя следует признать, что разница в развиваемых моментах при этом незначительна. Механические характеристики АД при одинаковом ограничении тока статора в указанном пределе практически совпадают друг с другом, т.е. идентичны. Следовательно, при разработке методик расчета частотно-регулируемого асинхронного электропривода для производственных механизмов расчет механических и электромеханических характеристик в пределах указанного диапазона изменения тока статора может производиться при любом законе стабилизации потока возбуждения АД.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ
ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Виноградов, А. Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». – Иваново, 2008. – 98 с.

2. Булгаков, А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / А.А. Булгаков. – М.: Энергоиздат, 1982. – 216 с.

3. Сабинин, Ю.А. Частотно-регулируемые асинхронные электроприводы / Ю.А. Сабинин, В.Л. Грузов. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 126 с.

4. Эпштейн, И.И. Автоматизированный электропривод переменного тока / И.И. Эпштейн. – М.: Энергоиздат, 1982. – 192 с.

5. Фираго, Б.И. Теория электропривода / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – М.: Техноперспектива, 2007. – 588 с.

6. Фираго, Б.И. Расчеты по электроприводу производственных машин и механизмов: учеб. пос. / Б.И. Фираго. – Минск: Техноперспектива, 2012. – 639 с.

7. Прищепов, М.А. Расчет статических характеристик асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в двигательном и генераторном режимах при частотном регулировании скорости и стабилизации потока возбуждения статора / М.А. Прищепов, Е.М. Прищепова, Д.М. Иванов // Агропанорама, 2016. – № 6. – С. 20-30.

8. Чернышев, А.Ю. Электропривод переменного тока: учеб. пос. / Ю.А. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев. – Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2011. – 203 с.

9. Прищепов, М.А. Расчет параметров схемы замещения асинхронных двигателей по каталожным данным и построение их естественных механических и электромеханических характеристик / М.А. Прищепов, Е.М. Прищепова, Д.М. Иванов // Агропанорама, 2016. – № 5. – С. 20-32.

10. Асинхронные двигатели. Каталог ОАО «Могилевский завод «Электродвигатель» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mez.by>. – Дата доступа: 16.03.2017 г.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 21.03.2017

Малогабаритная система очистки рабочих жидкостей гидравлических систем

Предназначена для профилактической очистки рабочих жидкостей гидравлических приводов мобильной сельскохозяйственной техники.



Основные технические данные

Производительность	Не менее 24 л/мин
Давление на входе в блок центрифугирования	0,8 МПа
Давление на входе в блок фильтрования	0,2-0,3 МПа
Давление на выходе из блока фильтрования	0,15 МПа
Тонкость очистки	15-40 мкм

Применение системы позволяет при обкатке двигателей расходовать масло без остатка, не снижать качество повторно используемого моторного масла, постоянно добавляя в него свежее товарное масло (гомогенизировать), полностью устранить расход электроэнергии, необходимой для подогрева масла, отказаться от необходимости хранения и утилизации масла. Она может применяться на ремонтно-обслуживающих предприятиях, а также непосредственно в хозяйствах для технического обслуживания машинно-тракторного парка.

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

Г. И. Янукович,

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

Н.Г. Королевич,

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

В статье приведена методика расчета потерь электроэнергии в параллельно работающих трансформаторах разной мощности.

Ключевые слова: электроэнергия, электрические сети, параллельно работающие трансформаторы, напряжение, мощность.

The calculation technique of the electric power losses in parallel working transformers of different capacity is considered in the article.

Keywords: electric power, electric networks, parallel working transformers, voltage, and power.

Введение

В электрических сетях бывает необходимость включать трансформаторы на параллельную работу, то есть обмотки трансформаторов соединяют параллельно, как на первичной, так и на вторичной стороне. В целях правильного распределения нагрузки между ними параллельная работа двухобмоточных трансформаторов допускается:

- 1) при равенстве номинальных первичных и вторичных напряжений трансформаторов;
- 2) при тождественности групп соединения обмоток;
- 3) при равенстве напряжений короткого замыкания (допускается отклонение не более чем на $\pm 10\%$ от средней величины).

Рекомендуется, чтобы отношение номинальных мощностей параллельно работающих трансформаторов не превышало 3:1 [1].

Основная часть

Потери активной мощности в «п» параллельно работающих трансформаторах одинаковой мощности определяются по формуле:

$$\Delta P_T = \frac{1}{n} \cdot \Delta P_K \cdot \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 + n \cdot \Delta P_X; \quad (1)$$

реактивной

$$\Delta Q_T = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{НОМ}}} + n \cdot \frac{I_X}{100} S_{\text{НОМ}}, \quad (2)$$

где S – суммарная максимальная нагрузка подстанции, кВ·А;

$S_{\text{НОМ}}$ – номинальная мощность одного трансформатора, кВ·А;

n – число параллельно работающих трансформаторов;

U_K – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

I_X – ток холостого хода трансформатора, %.

Потери энергии в нескольких (n) параллельно включенных трансформаторах одинаковой мощности определяются по следующим выражениям:

активной

$$\Delta W_T = \frac{1}{n} \cdot \Delta P_K \cdot \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot \tau + n \cdot \Delta P_X \cdot t; \quad (3)$$

реактивной

$$\Delta V_T = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{НОМ}}} \cdot \tau + n \cdot \frac{I_X}{100} S_{\text{НОМ}}, \quad (4)$$

где τ – время максимальных потерь, ч (определяется по графику в зависимости от времени использования максимума нагрузки [2]);

t – время включения трансформатора (при круглосуточном включении $t = 8760$ ч.).

Потери активной мощности в двух параллельно работающих трансформаторах разной мощности определяется по формуле:

$$\Delta P_H = 3I^2 \left(\frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \right), \quad (5)$$

где I – ток нагрузки, кА;

r_1, r_2 – активные сопротивления соответственно первого и второго трансформатора, Ом.

Активные сопротивления обмоток трансформаторов определяются по каталожным данным трансформаторов:

$$r_1 = \frac{\Delta P_{K1}}{3I_{\text{НОМ}1}^2}; \quad (6)$$

$$r_2 = \frac{\Delta P_{K2}}{3I_{\text{НОМ}2}^2}, \quad (7)$$

где $\Delta P_{K1}, \Delta P_{K2}$ – потери короткого замыкания соответственно первого и второго трансформатора, кВт;

$I_{\text{НОМ}1}, I_{\text{НОМ}2}$ – номинальные токи соответственно первого и второго трансформатора, кА.

Номинальные токи трансформаторов определяются по следующим формулам:

$$I_{\text{НОМ}1} = \frac{S_{\text{НОМ}1}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}}; \quad (8)$$

$$I_{\text{НОМ}2} = \frac{S_{\text{НОМ}2}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}}, \quad (9)$$

где $S_{\text{НОМ}1}$, $S_{\text{НОМ}2}$ – номинальные мощности соответственно первого и второго трансформатора, кВ·А;

$U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение трансформатора, кВ.

Активные потери мощности в стали трансформаторов

$$\Delta P_c = \Delta P_{x1} + \Delta P_{x2}, \quad (10)$$

где ΔP_{x1} , ΔP_{x2} – активные потери холостого хода соответственно первого и второго трансформатора (принимаются по паспортным данным), кВт.

Потери активной энергии в двух параллельно работающих трансформаторах разной мощности [3]:

$$\Delta W_T = \Delta P_n \cdot \tau + \Delta P_c \cdot 8760. \quad (11)$$

Реактивные потери мощности в двух параллельно работающих трансформаторах разной мощности определяются по формуле [3]:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_x + \Delta Q_n, \quad (12)$$

где ΔQ_x – реактивные потери мощности холостого тока в трансформаторах, вызванные намагничиванием трансформатора;

ΔQ_n – нагрузочные потери реактивной мощности в трансформаторах, вызванные рассеиванием магнитного потока.

Реактивные потери мощности холостого тока

$$\Delta Q_x = \frac{I_{x1}S_{\text{НОМ}1} + I_{x2}S_{\text{НОМ}2}}{100}, \quad (13)$$

где I_{x1} , I_{x2} – ток холостого хода соответственно первого и второго трансформатора, %.

Нагрузочные потери реактивной мощности

$$Q_n = \frac{S^2}{U_{\text{НОМ}}^2} x_T, \quad (14)$$

где S – нагрузка трансформаторов, кВ·А;
 x_T – индуктивное сопротивление обмоток трансформаторов, приведенное к напряжению $U_{\text{НОМ}}$, Ом.

Для двух трансформаторов

$$x_T = \frac{x_{T1} \cdot x_{T2}}{x_{T1} + x_{T2}}. \quad (15)$$

Индуктивное сопротивление обмоток первого трансформатора

$$x_{T1} = \frac{U_{k1}}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}1}}. \quad (16)$$

Индуктивное сопротивление обмоток второго трансформатора

$$x_{T2} = \frac{U_{k2}}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}2}}. \quad (17)$$

После подстановки выражений (17) и (16) в формулу (15) и соответствующих преобразований, получим:

$$x_T = \frac{U_{k1} \cdot U_{k2}}{100(U_{k1}S_{\text{НОМ}2} + U_{k2}S_{\text{НОМ}1})} U_{\text{НОМ}}^2, \quad (18)$$

где U_{k1} , U_{k2} – напряжения короткого замыкания соответственно первого и второго трансформатора, %.

С учетом выражения (14) нагрузочные потери реактивной мощности в трансформаторах будут равны:

$$Q_n = \frac{U_{k1} \cdot U_{k2}}{100(U_{k1}S_{\text{НОМ}2} + U_{k2}S_{\text{НОМ}1})} S^2. \quad (19)$$

Суммарные потери реактивной энергии в трансформаторах складываются из потерь холостого хода ΔV_x и потерь, вызванных током нагрузки ΔV_n :

$$\Delta V_T = \Delta V_x + \Delta V_n. \quad (20)$$

Потери реактивной энергии холостого хода

$$\Delta V_x = \Delta Q_x \cdot 8760. \quad (21)$$

Потери реактивной энергии, вызванные током нагрузки

$$\Delta V_n = \Delta Q_n \cdot \tau. \quad (22)$$

Заключение

В статье приведены выражения для расчета потерь электроэнергии в параллельно работающих трансформаторах одинаковой мощности. В электрических сетях часто встречаются случаи, когда необходимо включать на параллельную работу трансформаторы разной мощности. Выражений для определения потерь электроэнергии в таких трансформаторах нет. Поэтому в статье приведена методика расчета потерь электроэнергии в параллельно работающих трансформаторах разной мощности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радкевич, В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пос. / В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 589 с.
2. Янукович, Г.И. Электроснабжение сельского хозяйства: учеб. пос. / Г.И. Янукович. – Минск: ИВЦ Минфина, 2014. – 640 с.
3. Королевич, Н.Г. Технико-экономическое обоснование инженерных решений в электроснабжении объектов АПК. Дипломное проектирование / Н.Г. Королевич, Г.И. Янукович. – Минск: БГАТУ, 2017. – 84 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.03.2017

К ТЕПЛОВОМУ РАСЧЕТУ КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРОВ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ

М.А. Прищепов,

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

И.А. Цубанова,

ст. преподаватель каф. прикладной информатики БГАТУ

Установлено условие перехода теплового режима работы кожухотрубчатых теплоутилизаторов (КТУ) в системах вентиляции при отсутствии влаговыпадения к тепловому режиму с влаговыпадением. Предложено уравнение для расчета температуры вытяжного воздуха на выходе КТУ в системах вентиляции в условиях влаговыпадения из вытяжного воздуха.

Ключевые слова: кожухотрубчатый теплоутилизатор, тепловой режим, вытяжной воздух, влаговыпадение, температура.

The condition for the transition of the thermal regime of the shell-and-tube heat-recovery (STH) operation in ventilation systems in the absence of moisture release to the thermal regime with moisture release is established. An equation for calculating the temperature of the exhaust air at the outlet of the STH in ventilation systems in conditions of moisture release from the exhaust air is proposed.

Keywords: shell-and-tube heat exchanger, thermal regime, exhausts air, moisture release, and temperature.

Введение

Следует различать тепловой расчет кожухотрубчатых теплоутилизаторов (КТУ) систем вентиляции сельскохозяйственных помещений в зависимости от двух вариантов теплового режима их работы: при «сухом» теплообмене без влаговыпадения из вытяжного воздуха и при «мокром» теплообмене с влаговыпадением при охлаждении вытяжного воздуха до температур ниже температуры точки росы.

Если в первом варианте при отсутствии выпадения влаги тепловой расчет КТУ не вызывает затруднений и выполняется с использованием традиционных методов теплового расчета рекуперативных теплообменников, то во втором варианте расчета необходимо учесть влияние массообмена при конденсации водяных паров из вытяжного воздуха на теплообмен в КТУ.

Тепловой расчет рекуперативных теплоутилизаторов и воздухоохладителей в условиях влаговыпадения выполняется с использованием метода итераций [1].

Особое значение имеет формулирование условий перехода от «сухого» теплообмена к «мокрому» теплообмену. Ссылка на сопоставление температуры точки росы и температуры вытяжного воздуха на выходе КТУ является недостаточной, т.к. неизвестно изменение температуры вытяжного воздуха при его охлаждении в КТУ. Для нахождения этого изменения температуры необходимо знать: происходит или не происходит влаговыпадение в теплоутилизаторе.

Узловым вопросом в тепловом расчете КТУ является нахождение температуры вытяжного воздуха на выходе из теплоутилизатора [1]. Для ее определения может быть использован метод итераций.

Целью настоящей работы является:

- формулирование условий перехода в КТУ от «сухого» теплообмена к «мокрому» теплообмену;
- нахождение расчетной зависимости для температуры вытяжного воздуха на выходе КТУ в условиях выпадения влаги из вытяжного воздуха.

Основная часть

Рассматриваем конструктивную схему КТУ с шахматным трубным пучком, одноходовую, с перекрестным током и вертикальными трубами. Вытяжной воздух движется внутри труб в направлении сверху вниз, а приточный – в горизонтальном направлении между трубами.

Отношение водяных эквивалентов приточного и вытяжного воздуха определяет отношение изменения их температур:

$$W = \frac{t_1' - t_1''}{t_2'' - t_2'} \quad (1)$$

где t_1' и t_1'' – температура вытяжного воздуха на входе и выходе КТУ, °С; t_2' и t_2'' – температура приточного воздуха на входе и выходе КТУ, °С.

В условиях работы КТУ его коэффициент эффективности может трактоваться как температурный КПД процесса нагрева приточного воздуха:

$$\varepsilon = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_2'} \quad (2)$$

Исходя из уравнений (1) и (2), находим

$$W\varepsilon = \frac{t_1' - t_1''}{t_1' - t_2'} \quad (3)$$

Для решения поставленной задачи об условиях перехода преобразуем приведенное уравнение к виду

$$\theta_1 \theta_2 = \varepsilon w, \quad (4)$$

где θ_1 и θ_2 – относительные избыточные температуры:

$$\theta_1 = \frac{t_1' - t_1''}{t_1' - t_{1,p}}, \quad \theta_2 = \frac{t_1' - t_{1,p}}{t_1' - t_2}, \quad (5)$$

где $t_{1,p}$ – температура точки росы для состояния вытяжного воздуха на входе в КТУ, °С.

Переход от теплового режима при «сухом» теплообмене к тепловому режиму КТУ с влаговываждением из вытяжного воздуха характеризуется равенством температур $t_1'' = t_{1,p}$ и соответственно значением $\theta_1 = 1$.

В таком случае переход определяется критическим значением:

$$\theta_2^{kp} = \varepsilon_{kp} w, \quad (6)$$

где ε_{kp} – коэффициент эффективности при равенстве температур $t_1'' = t_{1,p}$ и отсутствии влаговываждения.

При меньших значениях θ_2 тепловой режим работы КТУ будет характеризоваться выпадением влаги, а при больших – отсутствием выпадения влаги из вытяжного воздуха.

Условие существования теплового режима КТУ с конденсацией водяных паров из вытяжного воздуха следует записать в виде неравенства:

$$\theta_2 < \theta_2^{kp}. \quad (7)$$

Работа КТУ в системах вентиляции характеризуется равенством массовых расходов приточного и вытяжного воздуха и отношение их водяных эквивалентов при «сухом» теплообмене определяется отношением удельных избыточных теплоемкостей. Значения теплоемкостей были приняты: для приточного воздуха $c_{p2} = 1,01$ кДж/(кг·°С) для вытяжного воздуха $c_{p2} = 1,05$ кДж/(кг·°С). Отсюда отношение водяных эквивалентов при отсутствии влаговываждения $w = 0,96$.

Расчет коэффициента эффективности при перекрестноточной схеме выполнялся по известной методике расчета [1, 2].

В рассматриваемых условиях работы КТУ критическое значение θ_2^{kp} зависит от числа единиц переноса (ЧЕП) N_0 в условиях сухого теплообмена. При этом характерна экспоненциальная зависимость с приближением значения θ_2^{kp} с увеличением ЧЕП к максимально возможному критическому значению $\theta_2^{max} = 0,62$, достигаемому при бесконечно большой величине ЧЕП и принятым отношением водяных эквивалентов $w = 0,96$.

В связи с этим была использована структура расчетной зависимости:

$$\theta_2^{kp} = \theta_2^{max} + a \exp(-bN_0). \quad (8)$$

Линеаризация уравнения была проведена типовым методом логарифмирования:

$$\ln(\theta_2^{max} - \theta_2^{kp}) = -\ln a + bN_0.$$

В результате находим:

$$T = A + bN_0, \quad (9)$$

где $T = \ln(\theta_2^{max} - \theta_2^{kp})$ и $A = -\ln a$.

Построение уравнения (9) для расчетных данных при значениях ЧЕП N_0 в пределах от 0,5 до 1,5 приведены на рисунке 1.

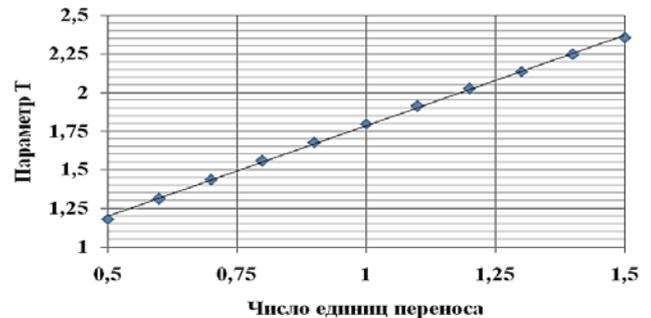


Рисунок 1. К определению параметров уравнения (9)

Методом наименьших квадратов были определены $A = 0,614$ и $b = 1,17$. При этом коэффициент детерминации $R^2 = 0,999$, что позволяет заключить о наличии очень тесной связи между параметрами T и N_0 .

С учетом вышеприведенных обозначений и установленных значений параметров уравнения (3) в интервале значений N_0 от 0,5 до 1,5 была получена зависимость:

$$\theta_2^{kp} = 0,62 - 0,541 \exp(-1,17N_0). \quad (10)$$

Погрешность зависимости не превышает 1,5 %.

Значения θ_2^{kp} при принятых в дальнейшем величинах ЧЕП даны в таблице 1.

Расчет температуры вытяжного воздуха на выходе КТУ был выполнен на основе метода итераций [1]. К рассмотрению принимались только данные, отве-

Таблица 1. Значения θ_2^{kp}

Параметры	Источник, номер формулы	ЧЕП N_0				
		0,5	0,75	1	1,25	1,5
w	Принято	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
ε	[1, 2]	0,3277	0,4141	0,4741	0,5171	0,5484
θ_2^{kp}	(10)	0,315	0,4	0,455	0,495	0,525

чающие условию неравенства (7).

Исходными данными к расчету температуры вытяжного воздуха на выходе КТУ были приняты:

- параметры вытяжного воздуха на входе КТУ: температура t_1' , °С; относительная влажность φ , %; энтальпия h_1' , кДж/кг и температура точки росы $t_{1,p}$, °С, (табл. 2);
- температура приточного воздуха на входе КТУ t_2' , °С;
- ЧЕП при «сухом» теплообмене в условиях отсутствия влаговываждения.

Таблица 2. Параметры вытяжного воздуха на входе в КТУ

Номер варианта	$t_1, ^\circ\text{C}$	$\phi, \%$	$h_1, \text{кДж/кг}$	$t_{1,p}, ^\circ\text{C}$
1	22	70	52	16,3
2	18	75	43	13,5
3	18	60	37,9	10,1
4	18	50	34,6	7,4
5	10	75	24,7	5,7
6	15	75	35,5	10,7

Температура приточного воздуха на входе в КТУ была принята равной 0, -5, -10, -15, -20 и -25 °С, а величина ЧЕП N_0 при «сухом» теплообмене – 0,5; 0,75; 1; 1,25 и 1,5.

При нахождении расчетного уравнения была использована степенная зависимость:

$$\theta_1 = C(\theta_2)^m, \quad (11)$$

где C – коэффициент; m – показатель степени.

Преобразование уравнения (11) в линейную зависимость было выполнено методом логарифмирования

$$\ln\theta_1 = \ln C + m \ln\theta_2.$$

В таком случае имеем:

$$Y = a + bX, \quad (12)$$

где

$$Y = \ln\theta_1; a = \ln C; b = m; X = \ln\theta_2.$$

Координаты расчетных точек (рис. 2) представлены с использованием параметров X и Y . При построении этих точек использованы результаты расчета для шести вариантов параметров вытяжного воздуха на входе в КТУ (табл. 2) при шести вариантах задания температуры приточного воздуха на входе в КТУ. В результате каждая прямая на рис. 2 обобщает 36 расчетных точек.

Зависимости между параметрами X и Y имеют прямолинейный характер.

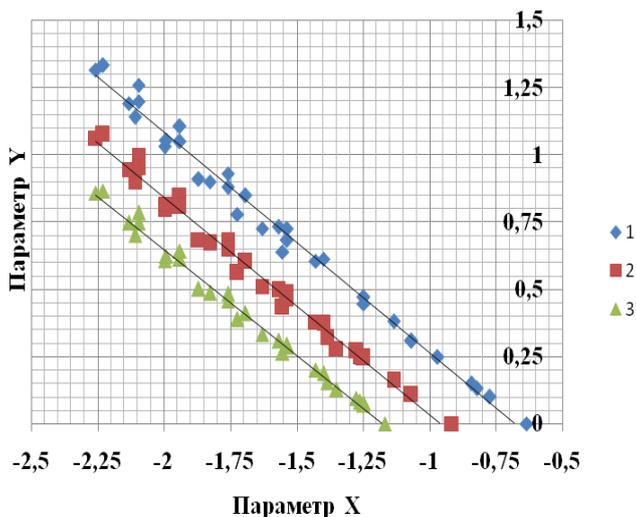


Рисунок 2. Расчетные данные:
1 – при $N_0 = 1,5$; 2 – при $N_0 = 0,75$; 3 – при $N_0 = 0,5$

Методом наименьших квадратов определены параметры уравнения (12) в зависимости от значения ЧЕП, а затем найдены коэффициент C и показатель степени m в формуле (11), используя введенные в уравнении (12) обозначения.

Найденные параметры уравнений (11) и (12) представлены в таблице 3.

Таблица 3. Параметры уравнений (6) и (8)

Параметры	ЧЕП N_0				
	0,5	0,75	1	1,25	1,5
a	-0,965	-0,764	-0,659	-0,59	-0,544
$b = m$	-0,807	-0,801	-0,805	-0,805	-0,806
R^2	0,987	0,989	0,989	0,99	0,989
C	0,381	0,466	0,517	0,554	0,58

В таблице 3 использованы также результаты исследования при $N_0 = 1$ и при $N_0 = 1,25$.

Приведенные данные позволяют заключить:

- линейные регрессии характеризуются коэффициентами детерминации R^2 , близкими к единице, что свидетельствует о наличии тесной связи между параметрами X и Y ;

- угловые коэффициенты b и показатели степени m при разных значениях N_0 практически одинаковы;

- коэффициент C в уравнении (11) существенно зависит от значения N_0 .

В дальнейшем было принято среднее значение показателя степени $m = -0,805$.

Для расчета коэффициента C была предложена экспоненциальная зависимость:

$$C = a + b \exp(-kN_0). \quad (13)$$

Было установлено, что параметр $k = 1,5$ и что формула (13) может быть трансформирована в линейную зависимость:

$$C = a + bZ, \quad (14)$$

где $Z = \exp(-1,5N_0)$.

Результаты обобщения данных по уравнению (14) приведены на рис. 3.

Согласно линейной регрессии, в уравнении (14) были определены: параметр $a = 0,637$ и угловой ко-

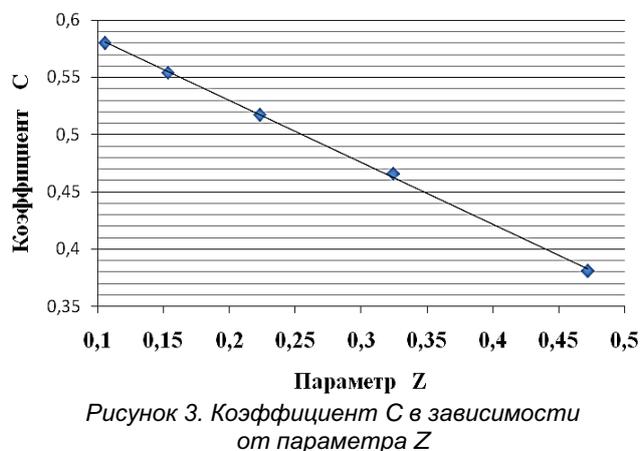


Рисунок 3. Коэффициент C в зависимости от параметра Z

эффицент $b = -0,538$. При этом коэффициент детерминации $R^2 = 0,999$.

Таким образом, для расчета коэффициента C получена зависимость:

$$C = 0,637 - 0,538 \exp(-1,5N_0). \quad (15)$$

Используя уравнения (11) и (15), а также принятое значение показателя степени m , была найдена расчетная зависимость:

$$\theta_1 = [0,637 - 0,538 \exp(-1,5N_0)] (\theta_2)^{-0,805} \quad (16)$$

Предложенная зависимость используется при условиях: $0,5 \leq N_0 \leq 1,5$ и $0,1 \leq \theta_2 \leq \theta_2^{кр}$

Методика расчета температуры вытяжного воздуха на выходе КТУ в условиях «мокрого» теплообмена включает следующие этапы.

Принимают исходные данные к расчету: ЧЕП при сухом теплообмене, параметры вытяжного воздуха (температуру воздуха и температуру точки росы), а также температуру приточного воздуха на входе в КТУ.

Определяют относительную избыточную температуру θ_2 по уравнению (5) и ее критическое значение $\theta_2^{кр}$ по уравнению (10).

Проверяют наличие или отсутствие теплообмена с выпадением влаги, исходя из неравенства (7).

В случае «мокрого» теплообмена находят:

– относительную избыточную температуру θ_1 по формуле (16);

– температуру вытяжного воздуха на выходе КТУ

$$t_1'' = t_1' - \theta_1 (t_1' - t_{1,p}). \quad (17)$$

Погрешность расчета температуры с использованием уравнений (16) и (17) в пределах проведенных исследований не превышает 1°C .

Заключение

Научное и практическое значение выполненного исследования состоит в следующем:

– в установлении условий перехода к тепловому режиму с выпадением влаги, сформулированных в виде неравенства (7) и уравнения (10);

– в получении уравнений (16) и (17) для расчета температуры вытяжного воздуха на выходе КТУ в системах вентиляции с учетом влияния влаговываждения на теплообмен.

При нахождении расчетных зависимостей использовалась их линеаризация. Высокие коэффициенты детерминации, близкие к единице, подтверждают достоверность выбора параметров, применяемых в линейных регрессиях, и тесную связь между этими параметрами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цубанов, А.Г. К расчету параметров вытяжного воздуха на выходе кожухотрубчатых теплоутилизаторов в системах вентиляции / А.Г. Цубанов, И.А. Цубанов, И.А. Цубанова // Агропанорама, 2016. – № 5. – С. 32-36.

2. Кэйс, В.М. Компактные теплообменники / В.М. Кэйс, А.Л. Лондон. – Ленинград: Госэнергоиздат, 1962. – 160 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 27.03.2017

Счетчик газа ультразвуковой СГУ001 типоразмеров G16-G25

Предназначены для измерения объемного расхода горючего газа по ГОСТ 5542-87 или паров сжиженного углеводородного газа по ГОСТ 20448-90 с приведением измеренного объема газа к нормальным условиям, т.е. к температуре газа 20°C и плотности $0,72 \text{ кг/м}^3$ с отображением информации об объеме израсходованного газа на табло счетчика с возможностью передачи информации в централизованную систему учета.



Основные технические данные

Рабочий диапазон температур, $^\circ\text{C}$	от - 30 до + 50
Рабочий диапазон расхода газа, $\text{м}^3/\text{час}$	от 0,16 до 40
Основная относительная погрешность, не более, %.....	± 3
Порог чувствительности, не более, $\text{м}^3/\text{час}$	0,05
Наибольшее избыточное рабочее давление газа, кПа.....	100
Число разрядов индикаторного табло счетчика.....	8
Дополнительная относительная погрешность при изменении температуры окружающей среды от - 30 до $+50^\circ\text{C}$, не более.....	0,01% на 1°C

УДК 378.1

ФОРМИРОВАНИЕ ГОТОВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ АПК К ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

А.И. Попов,

начальник отдела электронного обучения ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», канд. пед. наук, доцент

В.М. Синельников,

декан факультета предпринимательства и управления БГАТУ, канд. экон. наук, доцент

Л.Е. Процко,

ассистент каф. стандартизации и метрологии БГАТУ

Статья посвящена анализу состояния экономической подготовки технических специалистов к деятельности по инновационному преобразованию АПК, выявлению существующих проблемных моментов и разработке концепции повышения качества образования посредством максимального использования потенциала самостоятельной работы студентов.

Разработанные подходы и опыт организации самообразования могут быть использованы для совершенствования образовательного процесса в аграрных технических вузах, что позволит готовить инженерные кадры для сельского хозяйства на более высоком творческом уровне, и будет способствовать реализации доктрины инновационного развития АПК для обеспечения продовольственной безопасности страны.

Ключевые слова: подготовка технических специалистов, творческие способности личности, профессиональные творческие конкурсы, самостоятельная работа обучающихся, электронная образовательная среда, экономические знания.

The article is devoted to the analysis of the state of economic preparation of technical specialists for the activities on innovative transformation of the agroindustrial complex, identification of existing problematic moments and development of the concept of improving the quality of education by maximizing the potential of students' independent work.

The developed approaches and the experience of organizing self-education can be used to improve the educational process in agricultural technical universities, which will allow engineering engineers to be trained for agriculture at a higher creative level, and will contribute to the implementation of the doctrine of innovative development of the agroindustrial complex to ensure food security Country.

Keywords: training of technical specialists, creative abilities of the individual, professional creative competitions, independent work of students, electronic educational environment, economic knowledge.

Введение

Существующая необходимость обеспечения экономической безопасности страны и повышения уровня благосостояния ее граждан обуславливают выбор инновационного пути развития. Инновационное преобразование народного хозяйства требует интеграции усилий государства и общества по трем направлениям: проведение фундаментальных и прикладных исследований, ориентированных на создание новых материалов и разработку эффективных технологий; создание и обеспечение условий функционирования инновационно-инвестиционной инфраструктуры, способствующей наиболее быстрому трансферу новаций в реальный сектор экономики; подготовка кадров, обладающих как способностями, так и психологической готовно-

стью и к участию в инновационной деятельности в качестве исполнителей, и к руководству масштабными инновационными проектами в приоритетных для государства отраслях экономики [1, 2].

Необходимость в процессе инновационной деятельности принимать в достаточно жесткие сроки принципиальные, а очень часто и фондоемкие решения, затрагивающие интересы многих участников хозяйственных процессов, и, прежде всего, персонала предприятий, предопределяют появление новых требований к подготовке конкурентоспособных специалистов в системе высшего образования. С целью дальнейшего эффективного взаимодействия в команде инновационного проекта представителей технического блока, отвечающих за сущность продуктовой

или технологической инновации, и специалистов экономического направления, обеспечивающих маркетинговое, финансовое и управленческое ее сопровождение, необходимо уже на стадии профессионального становления в вузе формировать у них интегрированные компетенции на основе знаний и умений в смежных сферах деятельности [3, 4]. Удовлетворение потребностей в комплексной подготовке технических специалистов к инновационной деятельности предполагает интенсификацию процесса самообразования, и, в первую очередь, в электронной образовательной среде.

Основная часть

На основе анализа уровня инновационной готовности выпускников технических специальностей можно выделить следующие проблемные моменты в их экономической подготовке.

Во-первых, в силу ограниченности времени, отводимого на получение образования, приоритет в структуре образовательной программы отдается формированию профессиональных компетенций, обеспечивающих эффективную реализацию функций технического специалиста. Формирование же компетенций, определяющих готовность к деятельности в социально-экономической среде, происходит только в минимальном объеме, определенном образовательным стандартом.

В качестве второго проблемного момента необходимо выделить встречающуюся чрезмерную ориентированность подготовки в вузе (и фактически продолжающуюся после школы) на приобретение репродуктивных навыков, определяющих готовность к выполнению конкретных трудовых функций, востребованных в настоящий момент сообществом работодателей. В то же время инновационные преобразования в экономике требуют от специалистов высокого уровня креативности в принятии решений, готовности преодолевать психологическую инерцию и действовать в условиях ограничений и стресса.

Реализация инновационных проектов требует объединения значительного количества материальных, трудовых и финансовых ресурсов. Решение данной задачи предполагает наличие у руководителя проекта коммуникативных способностей и лидерских качеств, умений убеждать потенциальных инвесторов в целесообразности поддержки данной новации, навыков установления конструктивных взаимоотношений внутри трудового коллектива. Целесообразно, чтобы лидером проекта был специалист именно технического профиля, поскольку только наличие глубокого понимания технической и технологической составляющих деятельности позволяет найти наиболее весомые аргументы для убеждения других участников и учесть все нюансы организации производственного процесса как ключевого в любой инновации. Специфика доминирующих форм организации обучения технических специалистов такова, что в недо-

статочной мере используются интерактивные и современнейшие технологии, что приводит к появлению у части обучающихся некоего психологического комплекса, препятствующего как «продаже» (убеждению других в ее ценности) своей технической идеи, так и оптимальному взаимодействию между работниками. Это является третьим проблемным моментом инновационной подготовки специалистов. В данном контексте противоречивую роль играют информационные технологии, постепенно усиливающие свои позиции в повседневной жизнедеятельности. С одной стороны, их использование позволяет повысить эффективность инноваций, как за счет скорости поиска необходимой информации, так и при управлении всем инновационным циклом. Даже процесс обучения и самообразования при использовании информационно-коммуникационных технологий становится более качественным, поэтому одним из направлений саморазвития будет деятельность обучающегося в электронной образовательной среде. С другой стороны, чрезмерное увлечение молодежи информационными технологиями искажает их модель общения, что затрудняет их вступление в реальные коммуникации в процессе сопровождения инноваций. Поэтому весьма важным будет рациональное использование информационных технологий и электронного обучения в процессе экономической подготовки специалистов техники и технологий.

Четвертым проблемным моментом, характерным не только для рассматриваемого вопроса, но и для всей профессиональной подготовки, является недостаточное формирование универсальных компетенций, определяющих как готовность к деятельности вообще, так и обеспечивающих возможность смены и вида и области деятельности в дальнейшем. Системообразующей универсальной компетенцией в данном случае будет способность к саморазвитию и самообразованию, а также готовность к эффективному менеджменту. В контексте нашего исследования, данная способность будет выступать и как необходимое условие приобретения обучающимися по техническим специальностям еще и углубленных экономических знаний, и, как результат, позволяющий в дальнейшем эти знания приобрести.

Выявленный в результате анализа пятый проблемный момент также можно отнести ко всей системе подготовки специалистов. В настоящее время в процессе контактной работы преподавателя и группы студентов не удается максимально использовать интеллектуальный потенциал каждого обучающегося, и, прежде всего, из-за того, что групповые формы проведения занятий рассчитаны на среднестатистического (а иногда и просто слабого) студента. В условиях ограниченности времени на экономическую подготовку технических специалистов это приводит как к торможению познавательной активности одаренных студентов, так и достаточно слабым (зачастую на

уровне распознавания) знаниям в области экономики и менеджмента.

В качестве последней проблемы экономической подготовки можно выделить слабое отражение, как в содержании, так и в используемых формах обучения нацеленности современной экономики на интеграцию, укрепление и расширение международного сотрудничества при осуществлении инновационной деятельности.

В итоге, существующая система подготовки обучающихся к деятельности в условиях конкуренции и интенсификации социально-экономических процессов не в состоянии в полном объеме обеспечить потребности рынка труда в технических специалистах, обладающих необходимым уровнем готовности к инновационной деятельности. Особенно актуальной эта проблема является для отраслей экономики, где организация малых предприятий и индивидуальное предпринимательство является важной формой хозяйствования. С учетом сказанного, подготовка выпускников агротехнических и технологических вузов к ведению своего дела в условиях современной экономики является весьма актуальной задачей.

Невозможность значительно увеличить долю времени и, соответственно, содержание экономической подготовки в структуре образовательной программы предопределяют необходимость разработки новых технологий обучения и интенсификацию самостоятельной работы обучающегося [5]. Основной задачей при этом будет создание устойчивой внутренней мотивации к познавательной деятельности и обеспечение адаптивной системы сопровождения творческой деятельности обучающихся при освоении компонентов инновационной готовности.

Перейти от стимульно-продуктивного уровня интеллектуальной активности к эвристическому или креативному позволяет вовлечение обучающихся в различного рода деловые игры, имитирующие отдельные этапы осуществления инновационных проектов. В качестве одной из таких игр может выступать конкурс бизнес-идей, когда студенту технического направления подготовки (или группе студентов) предлагается на основе полученных профессиональных знаний разработать проект либо организации нового производства, либо модернизации существующего. Наибольший интерес представляют те проблемы народного хозяйства, которые для обсуждения предложены самими обучающимися на основе анализа либо познавательной деятельности на производстве во время практики, либо трудовой деятельности, осуществляемой параллельно с обучением. На первом этапе генерирования идей диапазон предлагаемых обучающимися мероприятий ограничен только темпами развития отрасли знаний, новации из которой они используют в инновационном проекте. В дальнейшем при проведении анализа предложенных подходов к развитию производства и обсуждении возможности их реализации в реальной практике хо-

зяйствования обучающиеся начинают осознавать недостаток, как базовых знаний по экономико-правовым дисциплинам, так и опыта их использования при рассмотрении практических задач профессиональной деятельности. Желание успешной профессиональной самореализации студентом после окончания вуза и понимание того, что предпринимательская деятельность предполагает знание основ маркетинга, менеджмента, анализа хозяйственной деятельности и налогообложения, инвестиционного проектирования и управления рисками, обуславливает после окончания конкурса бизнес-идей потребность активно заниматься образованием в данной области. В соответствии с имеющимся временем, финансовым положением, уровнем способностей и актуализацией экономических знаний именно в этот период профессионального становления кто-то из обучающихся будет получать дополнительное высшее образование, большинство же в той или иной мере будут повышать свой уровень инновационной готовности самостоятельно. Принципиально важным моментом является сохранение соревновательного настроя в деятельности, поскольку именно такие формы организации обучения отражают главный профессиональный и социальный контекст предпринимательской деятельности – конкуренцию, необходимость действовать в условиях ограничений и психологического напряжения.

В конкурсе бизнес-идей целесообразно создавать и коллективы разного уровня подготовленности, причем, включать туда студентов как технических, так и экономических специальностей. С одной стороны, такая деятельность отражает специфику работы коллектива инновационного проекта, с другой – обучающиеся технических специальностей в процессе работы над инновационной идеей получают первичные знания в области экономики и менеджмента в непринужденной обстановке, а зачастую под воздействием эффекта фасилитации стремятся получить такие знания самостоятельно, как в информационном пространстве, так и от партнеров по конкурсу.

Полученный во время конкурса импульс к становлению экономической культуры и предпринимательского мышления должен иметь в дальнейшем поддержку со стороны образовательного учреждения в виде разработки необходимых методических материалов, размещаемых в электронной образовательной среде, и проведения образовательных курсов по ключевым направлениям, определяющим инновационную готовность.

В качестве первого блока обучения студентов технических специальностей целесообразно использовать программу по основам маркетинга. Причем данная программа должна быть ориентирована не только на изучение ключевых положений теории маркетинга, но преимущественно на специфику маркетинговой деятельности предприятий народного хозяйства, соответствующей профилю получаемого технического образования. Обучающиеся должны

выполнять задания по исследованию тенденций развития данного сегмента экономики, определять потребительские предпочтения и возможные запросы покупателей по показателям качества продукции. Важным этапом подготовки будет приобретение навыков выбора канала распространения товара и доведения для потенциального потребителя инновационных характеристик товара. Завершением данного этапа экономической подготовки может стать выполнение творческого задания, включающего исследование сегмента рынка и разработку концепции максимального удовлетворения требований потребителей к качеству товара посредством осуществления продуктивных и технологических инноваций. Выбор данного блока экономической подготовки в качестве переходного от конкурса-бизнес идей к самостоятельному освоению под руководством тьютора экономических компетенций обусловлен тем, что в области маркетинга у обучающихся в большинстве случаев имеется достаточное количество эмпирических знаний и начального опыта по изучению рынка и определения стратегии деятельности на нем. В ходе осуществления познавательной деятельности в области маркетинга, особенно в процессе соревнования при выполнении творческого задания по изучению сегмента рынка, у обучающихся закрепляется эвристический уровень интеллектуальной активности, как доминирующий, при этом приобретает первичный опыт осознанной научной работы не только по техническим направлениям, но и по гуманитарным.

Следующим этапом экономической подготовки достаточно внутренне мотивированных студентов должна стать их самостоятельная работа в электронной образовательной среде. Следует подчеркнуть, что акцент в самостоятельной экономической подготовке делается не на получение второго полноценного высшего образования и подготовку к выполнению трудовых функций бухгалтера, маркетолога, финансиста (эти функции должны выполнять только специалисты), а на формирование экономического стиля мышления, обеспечивающего сбалансированность решения технических вопросов промышленного производства товаров и их финансово-экономического сопровождения. Данная самостоятельная работа студентов включает:

- индивидуальное освоение экономических модулей в виде электронных образовательных ресурсов по ключевым разделам экономических наук, знание которых позволит выпускнику технических направлений подготовки конструктивно участвовать в обсуждении и выработке управленческих решений по различным этапам жизненного цикла инновационного проекта и выполнять базовые действия в социально-экономической сфере при осуществлении предпринимательской деятельности в небольших масштабах;

- индивидуальное приобретение первичных навыков разрешения проблемных ситуаций экономи-

ческого характера, возникающих в условиях реального производства, в ходе решения кейсов и их анализа (в начале самостоятельного, а затем в контакте с преподавателями посредством телекоммуникации);

- информальное образование через анализ всех размещенных в Интернете источников информации и выработку своей системы актуальных экономико-правовых знаний, регламентирующих предпринимательскую деятельность; последующий анализ достоверности выбранных положений и их критическое осмысление под руководством преподавателя;

- групповая интерактивная работа по обсуждению технических проблемных ситуаций, требующих для разрешения анализа экономических последствий деятельности;

- индивидуальная соревновательная деятельность в режиме телеконференции в виде блитурнира, в которой наряду с экономически обоснованным решением предложенного задания будет оцениваться и время принятия такого решения;

- групповая соревновательная деятельность по разностороннему анализу проблемы технического перевооружения производства, требующего разработки инвестиционной программы и использования ресурсов инновационной инфраструктуры; предполагается выделение достаточного количества времени на командную работу, которая может происходить как в online, так и в offline режимах.

Остановимся подробнее на особенностях организации некоторых этапов самостоятельной работы.

Эффективность групповой интерактивной работы повысится, если формируемая группа будет включать как обучающихся различных специальностей, так и осваивающих их в очной и заочной формах. Целесообразно привлекать к творческому процессу также молодых специалистов, работающих в соответствующей отрасли народного хозяйства и проходящих повышение квалификации. Это делается для достижения эффекта взаимного обучения и взаимной мотивации. Особенно результативно вовлекать в такие коллективы креативных студентов технических специальностей, обучающихся по заочной форме и имеющих временной разрыв в получении образования (например, из-за службы в армии для мужчин или рождения ребенка у женщин). В силу сложившихся обстоятельств, ими забыты невосстановленные длительное время знания, частично утрачены навыки теоретического обучения. В то же время они имеют значительный опыт, как жизненный (что для экономического анализа ситуации существенно), так и профессиональный. Их взаимодействие со студентами очной формы обучения, являющихся преимущественно теоретиками в профессии, будет выгодно всем участникам образовательного процесса. Заочники смогут актуализировать зачастую непонятные для себя теоретические положения экономических наук, а обучающиеся на очном отделении студенты смогут полнее ощутить особенности профессиональной деятельности и скорректи-

ровать приоритеты в получении образования в сторону наиболее востребованных трудовых функций.

Проведение блиц-турниров в режиме реального времени позволит формировать готовность к эффективной творческой работе в стрессовых ситуациях, характерных для условий конкуренции в реальном производстве. Использование информационных технологий и опосредованное общение позволит снизить негативное воздействие стрессовой ситуации, тормозящей проявление креативности. На первых этапах соревновательной деятельности, студенты, испытывающие неоправданный страх поражения (неправильного ответа) и чрезмерную ответственность за свои действия, могут выступать, не предоставляя сообществу участников конкурса свои полные данные (когда каждого обучающего знает только преподаватель), что способствует их раскрепощению и максимальному использованию своего интеллектуального потенциала. В дальнейшем при выработке чувства уверенности в своих силах их анонимность будет раскрываться.

Организация самостоятельной командной работы, когда преподаватель в основном выполняет функции арбитра, нацелена на приобретение коммуникативных компетенций при осуществлении всех этапов жизненного цикла инновации, а не только разработки конструкции или проектирования технологии. Осуществление взаимодействия посредством общения в Интернете (в основном, в социальных сетях) привычно для студента, но в отличие от личного общения (где превалирует молодежный сленг), при решении профессионально-ориентированной проблемы обучающиеся приобретают навык ведения деловых переговоров и приобщаются к профессиональной этике.

Все рассмотренные виды самостоятельной работы все-таки носят учебный характер, хотя в каждом компоненте ярко отражен профессиональный и социальный контексты, как инженерной деятельности, так и экономические аспекты инновационной деятельности. Поэтому завершающим этапом предлагаемой технологии подготовки молодых инженеров к эффективному включению в процесс становления инновационной экономики является вовлечение их в творческую научную работу. Данная работа должна состоять из двух взаимосвязанных компонентов: прикладных исследований в области техники и технологий, и разработке организационно-экономического механизма реализации предложенных инноваций. Задача образовательного учреждения – обеспечить методическое сопровождение данной научной работы студентов технических специальностей, особенно блока экономических исследований. С учетом необходимости формирования у обучающихся навыков представления и защиты своих идей и проектов, целесообразно полученные научные результаты обсуждать на научных конференциях республиканского или международного масштабов. Существенный опыт развития творческих способностей обучающихся в области

экономики накоплен на факультете предпринимательства и управления Белорусского государственного аграрного технического университета в рамках проведения международной студенческой конференции «Рыночная экономика: сегодня и завтра». Наряду с чисто экономическими исследованиями в рамках работы секции «Системное развитие экономики агропромышленного комплекса в современных условиях хозяйствования» могут быть представлены работы студентов технических специальностей. В них могут найти отражение проведенные обучающимися изыскания в рамках экономического сопровождения инновационных проектов, направленных на повышение производительности растениеводства и животноводства, технического перевооружения перерабатывающей отрасли АПК и парка мобильных сельскохозяйственных машин. В контексте формирования психологической готовности к отстаиванию своих убеждений формат конференции должен быть очным, когда исследователи, тем более не являющиеся специалистами в области экономических наук, могут не только представить полученные ими научные результаты, но и попытаться ответить на вопросы при помощи заинтересованной аудитории своих коллег-студентов и преподавателей, увидеть проблемные моменты исследования и определить направления дальнейшего трансфера экономических знаний на сопровождение развития АПК через технические и технологические инновации. С учетом возможности участия в конференции студентов из различных регионов республики и других стран, коллективного обсуждения зачастую сходных способов развития экономики и подходов к реализации инновационной политики, у участников данных научных мероприятий формируется на первом этапе психологическая готовность и потребность к международному экономическому сотрудничеству.

Окончательное формирование готовности студентов технических специальностей к инновационной деятельности происходит в рамках подготовки к участию в конкурсах на получение государственной поддержки фундаментальных или прикладных научных исследований или предпринимательской деятельности по приоритетным направлениям экономики. В подготавливаемых молодыми учеными бизнес-планах должны найти свое отражение, как техническая сущность проекта, так и показатели, доказывающие привлекательность данной деятельности не только для инициатора проекта, но и для потребителей и общества в целом.

Заключение

Уровень инновационной готовности технических специалистов во многом определяет успешность инновационных преобразований во всех отраслях экономики. Агропромышленный комплекс и, прежде всего сельское хозяйство, при смене технологического уклада раньше других сфер деятельности ощущают приближение кризисных процессов и гораздо тя-

желее перестраиваются на инновационный путь развития. С учетом значительного количества мелких участников хозяйственных отношений в системе АПК целесообразно, чтобы технические специалисты, работающие в данной отрасли, наряду с профессиональными компетенциями обладали и экономическим стилем мышления, и знаниями основ экономического сопровождения деятельности в сельском хозяйстве, и навыками осуществления ключевых финансовых операций и применения методов экономического анализа. Необходимость гибкого реагирования фермеров и индивидуальных предпринимателей как на изменения конъюнктуры рынка, так и на форс-мажорные обстоятельства (и, прежде всего, погодные условия), определяют приоритетность развития инициативности и творческих качеств.

Внутренне мотивированная потребность технического специалиста быть конкурентоспособным в условиях экономического соперничества малых предприятий АПК определяет важность получения им дополнительных знаний и навыков экономической деятельности, развивающих и дополняющих экономический минимум, приобретенный при освоении основной профессиональной образовательной программы. Предложенная технология поэтапного перехода от стимульно-продуктивного уровня интеллектуальной активности к эвристическому или креативному в рамках самостоятельной работы в электронной образовательной среде и в процессе соревновательной деятельности при разрешении творческих проблемных ситуаций или при выполнении прикладных исследований для нужд конкретных субъектов АПК позволяет решить ряд педагогических задач, стоящих перед высшим образованием. Ключевым моментом технологии является актуализация экономических знаний как определяющих условия профессиональной реализации специалиста техники и технологии, которая происходит в процессе учебно-профессиональной деятельности при разработке бизнес-идей в виде продуктовых и технологических инноваций для нужд предприятий АПК. В процессе самостоятельной деятельности в электронной образовательной среде обучающийся сам может выстраивать образовательную траекторию, определяя необходимое содержание и степень освоения различных модулей, а также темп своей познавательной деятельности. Наличие индивидуальных и групповых творческих заданий, отражающих профессиональный и социальный контексты будущей деятельности специалиста и подчеркивающих важность обладания навыками экономического сопровождения проектов при претворении технических идей в производственную практику, создает условия для гармоничного развития личности технического специалиста АПК, его профессиональной креативности, что обеспечивает формирование у него готовности к инновационной деятельности.

Принципиальным моментом технологии является переход обучающегося от решения учебных задач к самостоятельной научной деятельности, составляющей основу инновационных преобразований. Завершающим блоком самообразования становится участие студентов в научных конференциях, когда они могут представлять исследования, выполненные на стыке технических и экономических наук, а также участие обучающихся в конкурсах, направленных на оказание финансовой помощи при проведении научных исследований.

Сформированная в процессе самообразования готовность к инновационной деятельности, включающая творческие способности личности и знания, умения и навыки в области предпринимательства, позволяет выпускникам технических вузов быстрее адаптироваться к социально-экономическим условиям существующего агропромышленного комплекса, организовать свое дело и активно участвовать в преобразовании сельского хозяйства, повышении эффективности его технического перевооружения и внедрении прогрессивных технологий земледелия, животноводства и переработки продукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов, А.И. К вопросу о воспитании готовности студентов к инновационной деятельности / А.И. Попов, Н.П. Пучков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Гуманитарные науки, 2009. – № 4. – С. 118-124.
2. Попов, А.И. Психолого-педагогические особенности подготовки специалиста к инновационной деятельности / А.И. Попов // Фундаментальные исследования, 2006. – № 7. – С. 88-90.
3. Попов, А.И. Формирование инновационной готовности экономистов агропромышленного комплекса в открытой образовательной среде / А.И. Попов, В.М. Синельников // Агропанорама, 2016. – № 4. – С. 42-48.
4. Попов, А.И. Педагогические средства формирования интегрированных творческих компетенций экономистов-менеджеров (в условиях единого образовательного пространства Российской Федерации и Республики Беларусь) / А.И. Попов, В.В. Климук // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского, 2015. – № 3. – С. 131-139.
5. Наумкин, Н. И. Методическая система формирования у студентов технических вузов способностей к инновационной инженерной деятельности: монография / Н.И. Наумкин; под ред. П.В. Сенина, Л.В. Масленниковой, Д.Я. Тамарчака; Моск. пед. гос. ун-т. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2008. – 172 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.03.2017

Правила для авторов

1. Журнал «Агропанорама» помещает достоверные и обоснованные материалы, которые имеют научное и практическое значение, отличаются актуальностью и новизной, способствуют повышению экономической эффективности агропромышленного производства, носят законченный характер. Статьи публикуются на русском языке.

Приказом ВАК от 4 июля 2005 г. № 101 (в редакции приказа ВАК от 2.02.2011 г. № 26) журнал «Агропанорама» включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным (зоотехния) наукам.

2. Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять, как правило, не менее 0,35 авторского листа (14000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.), что соответствует 8 стр. текста, напечатанного через 2 интервала между строками (5,5 стр. в случае печати через 1,5 интервала).

Рукопись статьи, представляемая в редакцию, должна удовлетворять основным требованиям современной компьютерной верстки. К набору текста и формул предъявляется ряд требований:

1) рукопись, подготовленная в электронном виде, должна быть набрана в текстовом редакторе Word версии 6.0 или более поздней. Файл сохраняется в формате «doc»;

2) текст следует сформатировать без переносов и выравнивания правого края текста, для набора использовать один из самых распространенных шрифтов типа Times (например, Times New Roman Cyr, Times ET);

3) знаки препинания (.,!?:;...) не отделяются пробелом от слова, за которым следуют, но после них пробел обязателен. Кавычки и скобки не отделяются пробелом от слова или выражения внутри них. Следует различать дефис«-» и длинное тире «—». Длинное тире набирается в редакторе Word комбинацией клавиш: Ctrl+Shift+«-». От соседних участков текста оно отделяется единичными пробелами. Исключение: длинное тире не отделяется пробелами между цифрами или числами: 1991-1996;

4) при наборе формул необходимо следовать общепринятым правилам:

а) формулы набираются только в редакторе формул Microsoft Equation. Размер шрифта 12. При длине формулы более 8,5 см желательно продолжение перенести на следующую строчку;

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

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

г) цифры набираются шрифтом прямого начертания;

д) аббревиатуры функций набираются прямо;

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

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

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

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

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

графиков не следует применять выделение цветом, заливку фона.

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

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

индекс УДК;

название статьи;

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

аннотацию на русском и английском языках;

ключевые слова на русском и английском языках;

введение;

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

заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;

список цитированных источников;

дату поступления статьи в редакцию.

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

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

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

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

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

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

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

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

9. Плата за опубликование научных статей не взимается.

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

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

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



Технология получения смазочно-охлаждающего технологического средства на основе отходов масложирового производства

Предназначена для приготовления смазочно-охлаждающего технологического средства (СОТС) для финишной абразивной обработки поверхностей деталей машин.

Основное достоинство СОТС: изготавливается на базе отходов жирового производства предприятий АПК, что приводит к значительному уменьшению отходов (до 80 %) путем более глубокой переработки (до 95 %) исходного продукта.

Технология апробирована в ОАО «Гомельский моторремонтный завод».

Физико-химические показатели СОТС на основе отходов масложирового производства

Плотность, кг/м ³	950-1000
рН 5 % эмульсии	8-9
Вязкость кинематическая, мм ² /с	20-30
Число омыления, мг КОН на 1 г масла	20-30
Размер частиц эмульсий, мкм	1-5
Массовая доля золы, %, не более	0,05
Массовая доля механических примесей, %, не более	0,05
Склонность к пенообразованию, см ³	450-500
Устойчивость пены, см ²	150

