



ISSN 2078-7138

# АГРОПАНОРАМА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

**№ 1**  
**февраль**  
**2020**

*Влияние почвенных условий эксплуатации на проходимость колесных машин*

*Определение оптимальных режимно-конструктивных параметров работы вибропневматического оборудования для предпосевной подготовки семян рапса*

*Методика инженерного расчета параметров и режимов работы оборудования для двухстадийного измельчения зерна*

*Результаты стендовых испытаний дизеля 4ЧН 11,0/12,5 на смесях дизельного топлива с биогазом*



# НАШИ ИЗДАНИЯ



**Акулович, Л.М. Магнитно-абразивная обработка сложнопрофильных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин / Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев. – Минск: БГАТУ, 2019. – 272 с.**

*В монографии описаны особенности формирования топографии и микрорельефа сложнопрофильных поверхностей при их магнитно-абразивной обработке. Научно обоснованы компоненты рабочей технологической среды, оказывающие основное влияние на процесс магнитно-абразивной обработки. Приведены результаты исследования свойств компонентов рабочей технологической среды и их влияния на интенсивность съема материала и показатели качества сложнопрофильных поверхностей тел вращения. Предложен метод управления параметрами рабочей технологической среды с учетом самоорганизации процесса магнитно-абразивной обработки. Рассмотрены примеры практической реализации технологии магнитно-абразивной обработки сложнопро-*

*фильных поверхностей.*

*Адресуется научным работникам, занимающимся разработкой технологий финишной обработки поверхностей деталей машин, аспирантам и студентам машиностроительных специальностей высших учебных заведений.*

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

*Изложены современные методы и средства диагностирования выходных, функциональных и ресурсных параметров машин, научное обоснование нормативов и организации технического диагностирования, а также методы выявления причин изнашивания на основе контроля по химмотологическим и спектральным показателям масел, применения экспресс-методов повышения надежности машин приемами триботехники.*

*Издание предназначено для руководителей и специалистов технического сервиса машин, работников научно-исследовательских учреждений, преподавателей аграрных вузов, информационно-консультационных служб. Может быть использовано в процессе подготовки и переподготовки инженерно-технических работников.*



**Пневматические высевающие системы посевных машин: теория, расчет, эксперимент / В.П. Чеботарев [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2019. – 224 с.**

*В монографии изложены задачи, стоящие в области пневматических высевающих систем посевных машин. Рассмотрены процессы, протекающие при распределении семян при посеве. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований технологического процесса работы вертикального и горизонтального распределителей семян, описана технология, конструкции и режимы работы различных посевных машин, результаты проведенных испытаний.*

*Будет полезна научным работникам, преподавателям высших и средних специальных учебных заведений, аспирантам, магистрантам, студентам и инженерно-техническим специалистам агропромышленного комплекса.*

# АГРОПАНОРАМА 1 (137) февраль 2020

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  
Игорь Степанович Крук

Редакционная коллегия:

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

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

*Компьютерная верстка*  
В.Г. Леван

Адрес редакции:

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

Прием статей и работа с авторами:

Минск, пр-т Независимости, 99/5, к. 602, 608  
Тел. (017) 385-91-02, 355-22-14

Факс (017) 272-25-71

E-mail: [AgroP@bsatu.by](mailto:AgroP@bsatu.by)

БГАТУ, 2020.

Формат издания 60 x 84 1/8.

Подписано в печать с готового оригинала-макета 24.02.2020 г. Зак. № 149 от 24.02.2020 г.

Дата выхода в свет 28.02.2020 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-е п/г 2020 г.:

для индивидуальных подписчиков - 21,06 руб.;

ведомственная - 24,51 руб.;

Цена журнала в киоске БГАТУ - 6,00 руб.

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### Сельскохозяйственное машиностроение. Металлообработка

**И.Н. Шило, Н.Н. Романюк, А.Н. Орда, В.А. Шкляревич, А.С. Воробей**  
Влияние почвенных условий эксплуатации на проходимость колесных машин.....2

### Технологии производства продукции растениеводства и животноводства. Зоотехния

**В.М. Поздняков, С.А. Зеленко, Р.И. Колесник**  
Определение оптимальных режимно-конструктивных параметров работы вибропневматического оборудования для предпосевной подготовки семян рапса.....6

**В.Л. Сельманович, С.Л. Кулагин, А.Э. Шибeko, Н.Н. Быков**  
Актуальные вопросы заготовки высококачественных кормов в сельскохозяйственных организациях Беларуси.....11

**Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд**  
Методика инженерного расчета параметров и режимов работы оборудования для двухстадийного измельчения зерна.....15

### Энергетика. Транспорт

**С.М. Барайшук, И.А. Павлович**  
Снижение сопротивления заземляющих устройств применением обработки грунта неагрессивными к материалу заземлителя стабилизирующими влажностью добавками.....20

**К.В. Гаркуша, В.А. Коротинский, К.Э. Гаркуша, С.С. Нефедов**  
Повышение эксплуатационной надежности гелиоколлектора для подогрева воды в механических мастерских.....24

**М.А. Прищепов, В.А. Дайнеко, Е.М. Прищепова**  
Структурные схемы частотно-регулируемого асинхронного электропривода вальцовых плющилок-измельчителей с бездатчиковым скалярным управлением.....28

### Ресурсосбережение Экология

**В.С. Герасимов, В.И. Игнатов, С.А. Буряков**  
Проблемы экологии при проведении утилизации сельскохозяйственной техники в АПК Российской Федерации.....39

### Технический сервис в АПК. Экономика

**А.Н. Карташевич, В.А. Шапорев**  
Результаты стендовых испытаний дизеля 4ЧН 11,0/12,5 на смесях дизельного топлива с биогазом.....44

УДК 631.3.02: 631.4

## ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ПРОХОДИМОСТЬ КОЛЕСНЫХ МАШИН

**И.Н. Шило,**

*ректор БГАТУ, докт. техн. наук, профессор*

**Н.Н. Романюк,**

*первый проректор БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**А.Н. Орда,**

*зав. каф. теоретической механики и теории механизмов и машин БГАТУ, докт. техн. наук, профессор*

**В.А. Шкляревич,**

*ст. преподаватель каф. теоретической механики и теории механизмов и машин БГАТУ*

**А.С. Воробей,**

*науч. сотр. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук*

*По характеру накопления повторных осадков предложено разделять почвы на слабо и сильно упрочняющиеся. Установлено, что при сохранении постоянной нагрузки на ходовую систему, увеличение числа осей ведет к снижению глубины следа. Для увеличения проходимости колесных машин на переувлажненных почвах предложена конструкция колесно-гусеничного движителя.*

*Ключевые слова: почва, проходимость, колесные машины, движитель, модель Фойгта, нагрузка.*

*It is proposed to divide the soils by the nature of accumulation of repeated deposits into weakly compacting and strongly compacting. It has been determined that while maintaining a constant load on the running system, the increase in the number of axles leads to a decrease in the depth of the trace. In order to increase the passability capacity of wheel machines on waterlogged soils, the design of a wheel-caterpillar propulsor is proposed.*

*Keywords: soil, passability, wheel cars, propulsor, Foygt's model, load.*

### Введение

Применяемые в сельском хозяйстве машинно-тракторные агрегаты (МТА) уплотняют почву до величины, значительно превышающей оптимальную плотность. В следах ходовых систем МТА плотность почвы составляет 1400 – 1550 кг/м<sup>3</sup> (оптимальная по условиям роста растений – 1200 – 1350 кг/м<sup>3</sup>). Повышение плотности почвы из-за воздействия МТА приводит к снижению урожайности культурных растений [1].

Целью работы является определение влияния числа осей колесных машин на проходимость.

### Основная часть

Влияние разновидностей почв на процесс следообразования рассматривается в работе [2], схемы которых приведены на рис.1. Названия этих разновидностей даны условно, исходя из преобладания того или иного вида деформации.

Твердые грунты (рис. 1а) выдерживают большие давления почти не деформируясь. При взаимодействии колес с несвязными почвами (рис. 1б) происходит выжимание частиц из нагруженной зоны в стороны. Достаточно хорошей проходимостью на таких почвах обладают машины с широкими ходовыми системами.

Почвы с сильно выраженными упругими свойствами при нагружении сжимаются без бокового рас-

пора (рис. 1в). Деформация их происходит за счет эластичных свойств самого материала почвы.

При передвижении машин по связным сжимающимся почвам (рис. 1г) образуется правильная прямугольная колея. Связные сжимающиеся почвы называют сильно упрочняющимися [3], характер деформации их показан на рис. 2а.

С увеличением влажности почвы изменяется характер ее деформации. Приложенная нагрузка в первый момент воспринимается водой. Из-за наличия водяных пленок между частицами сцепление между ними незначительно, и поэтому происходит выжимание из нагруженной зоны не только воды, но и почвы (рис. 1д).

Чем мельче поры в водонасыщенной почве, тем медленнее выжимается из нее вода и более длительным является процесс сжатия. Кривая зависимости между деформацией и продолжительностью действия нагрузки для слабо упрочняющихся почв показана на рис. 2б [4].

В случае покрытия пластичного грунта прочным и упругим слоем, например, дерновым (рис. 1е), несущая способность среды значительно возрастает. Переувлажненные пластичные почвы приобретают текучие свойства (рис. 1ж). На таких почвах рекомендуется применять гусеничные транспортные средства, у которых в межгусеничном пространстве устанавливаются дополнительные гусеницы [3].

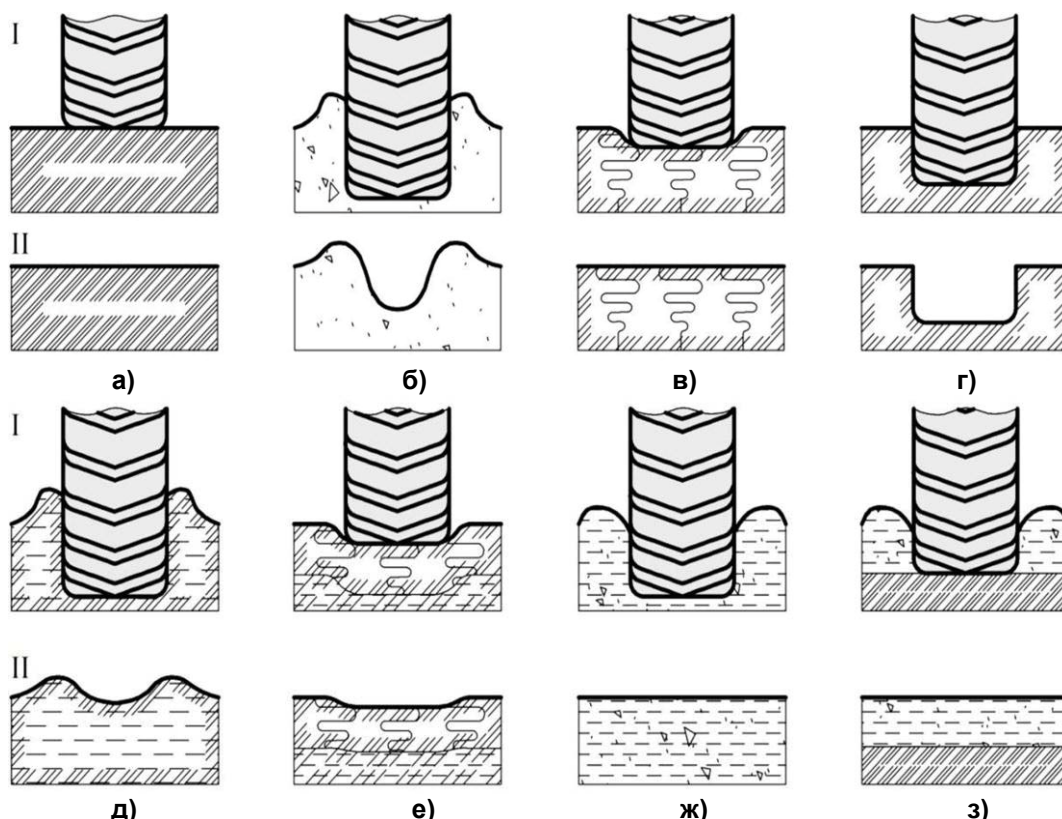


Рисунок 1. Характер деформации почв и грунтов ходовыми системами: I - в процессе взаимодействия колеса с почвой; II - после деформации; а) твердые грунты; б) несвязные почвы; в) пористо-волокнистые почвы с большой упругостью волокон (почвы на лугах и пастбищах); е) связные сжимающиеся почвы; д) пластичные почвы; е) почвы с верхним дерновым слоем; ж) переувлажненные почвы; з) почвы с верхним текучим слоем

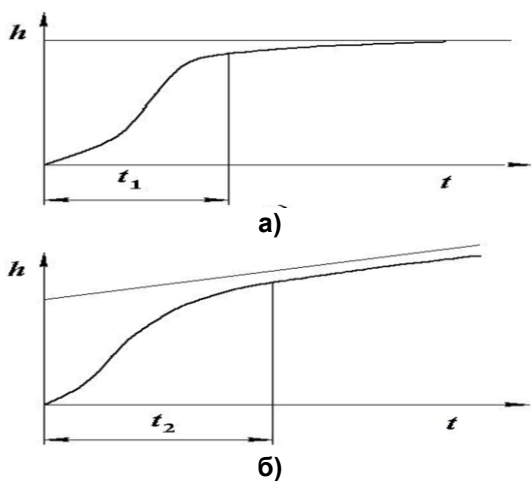


Рисунок 2. Деформация сильно упрочняющихся (а) и слабо упрочняющихся (б) почв

Если небольшой слой текучей почвы подстилается прочным основанием, нужно выбрать такое давление, чтобы ходовой аппарат перемещался по твердому основанию (рис. 1з). При этом жидкий слой создает дополнительное сопротивление передвижению.

Особенностью взаимодействия с почвой движителей многососных колесных систем является образование следа повторными проходами колес. Исследуем процесс

повторного деформирования почвы на основании представления ее реологической моделью Фойгта, которая представляет собой параллельное соединение линейно-упругого и вязкого элементов (рис. 3а) [5]. Соотношение между напряжением, деформацией и скоростью ее протекания для этой модели

$$\sigma = E_g \cdot \varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (1)$$

где  $E_g$  – длительный модуль упругости, Па;  
 $\varepsilon$  – относительная деформация;  
 $\eta$  – коэффициент вязкости, Н с/м<sup>2</sup>;  
 $t$  – время деформирования, с.

Схема нагружения модели показана на рис. 3б. При каждом нагружении длительностью  $\Theta$  нагрузка выдерживается постоянной. В период разгрузки, равный  $T - \Theta$ , нагрузка снята. Период времени между циклами нагружения обозначен через  $T$ .

Развитие деформации при первом нагружении определится из уравнения (1) при начальном условии

$$\varepsilon|_{t=0} = 0 \quad (\text{рис. 3в})$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E_g} (1 - e^{-t/\tau}),$$

где  $\sigma_0$  – среднее давление колеса на почву, Па;

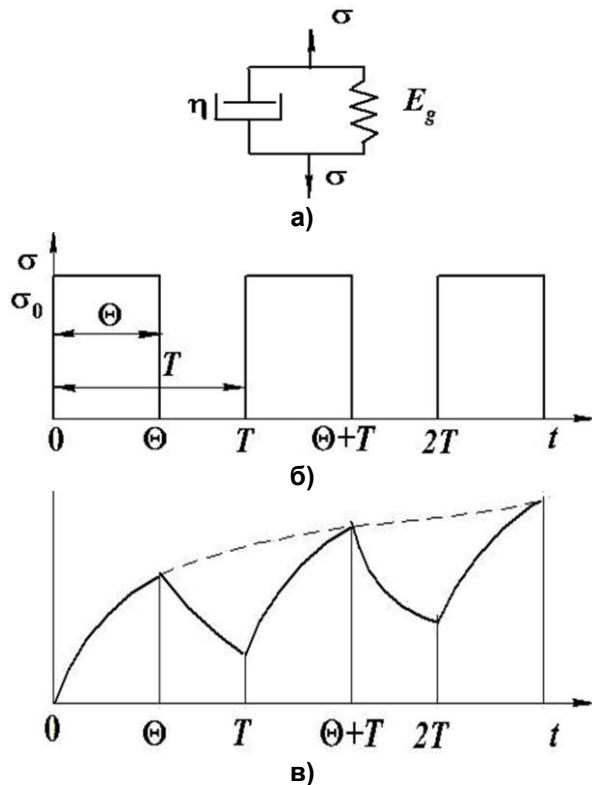


Рисунок 3. Модель Фойгта:  
а – схема модели; б – график повторных нагружений; в – повторные деформации

$\tau = \eta / E_g$  – время запаздывания деформации, с.

В конце периода нагружения

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_0}{E_g} (1 - e^{-\Theta/\tau}). \quad (2)$$

При разгрузке ( $\sigma_0 = 0$ ) деформацию обратной ползучести найдем из уравнения

$$E_g \cdot \varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt} = 0.$$

(3) Изменение деформации в период разгрузки определится из этого уравнения при начальном условии  $\varepsilon|_{t_1=\Theta} = \varepsilon_1$

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \cdot e^{-t/\tau}$$

В конце цикла разгрузки

$$\varepsilon_{1p} = \varepsilon_1 \cdot e^{-(T-\Theta)/\tau}$$

Подставив вместо  $\varepsilon_1$  его значение (2), получим

$$\varepsilon_{1p} = \frac{\sigma_0}{E_g} (1 - e^{-\Theta/\tau}) \cdot e^{-(T-\Theta)/\tau}.$$

Протекание деформации во втором периоде нагружения найдем из уравнения (1) при начальном условии  $\varepsilon|_{t_2=T} = \varepsilon_{1p}$

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E_g} (1 - e^{-t_2/\tau}) + \varepsilon_{1p} \cdot e^{-t_2/\tau}.$$

В конце второго периода нагружения

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_0}{E_g} (1 - e^{-\Theta/\tau}) \cdot (1 + e^{-T/\tau}). \quad (4)$$

При дальнейшем анализе находится величина осадки после  $n$  нагружений [3]

$$\varepsilon_n = \frac{\sigma_0}{E_g} (1 - e^{-\Theta/\tau}) \cdot \frac{1 - e^{-(T/\tau) \cdot n}}{1 - e^{-T/\tau}}. \quad (5)$$

Проанализируем, как влияет увеличение количества осей  $F_k$  на слеобразование при сохранении постоянной общей нагрузки  $G_{общ}$ . При этом будет соблюдаться условие

$$\begin{aligned} \sigma_0 \cdot F_{k1} + \sigma_0 \cdot F_{k2} + \dots + \sigma_0 \cdot F_{kn} &= \\ = \sigma_0 \cdot F_{общ} = \sigma_0 \cdot n \cdot F_0 = G_{общ}, \end{aligned}$$

где  $F_{k1}, F_{k2} \dots F_{kn}$  – площади проекций опорных площадок колес на горизонтальную плоскость, м<sup>2</sup>;

$F_{общ}$  – общая суммарная площадь, м<sup>2</sup>;

$G_{общ}$  – суммарная нагрузка, Н.

При этом было допущено, что

$$F_{k1} = F_{k2} = \dots = F_{kn} = F_0.$$

С учетом этих допущений зависимость (5) примет вид:

$$\varepsilon_n = \frac{G_{общ}}{n \cdot F_0 \cdot E_g} (1 - e^{-\Theta/\tau}) \cdot \frac{1 - e^{-(T/\tau) \cdot n}}{1 - e^{-T/\tau}}. \quad (6)$$

Из рис. 4, построенного на основании зависимости (6), видно, что увеличение количества осей ведет к снижению величины деформации. При анализе допущалось, что  $\Theta / \tau = 0,5$ ,  $T / \tau = 1$ .

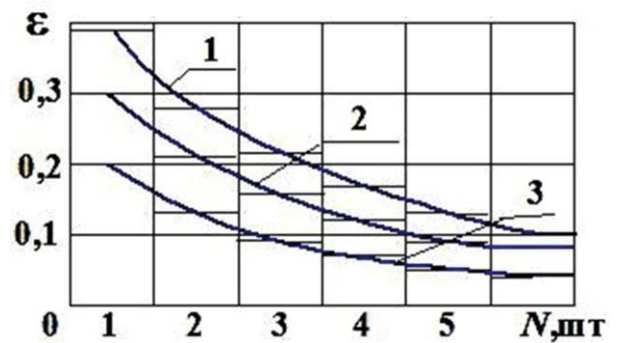


Рисунок 4. Нарастание осадок при сохранении общей нагрузки:

Кривая 1 – при  $G_{общ}/F_0 \cdot E_g = 1$ ;

кривая 2 – при  $G_{общ}/F_0 \cdot E_g = 75$ ;

кривая 3 – при  $G_{общ}/F_0 \cdot E_g = 0,5$

Применим гидродинамическую теорию движения двух пластин, между которыми помещен слой жидкости [6]. На рис. 5а показаны пластины А и В, нагруженные силой  $F$ . Пластина А движется относи-

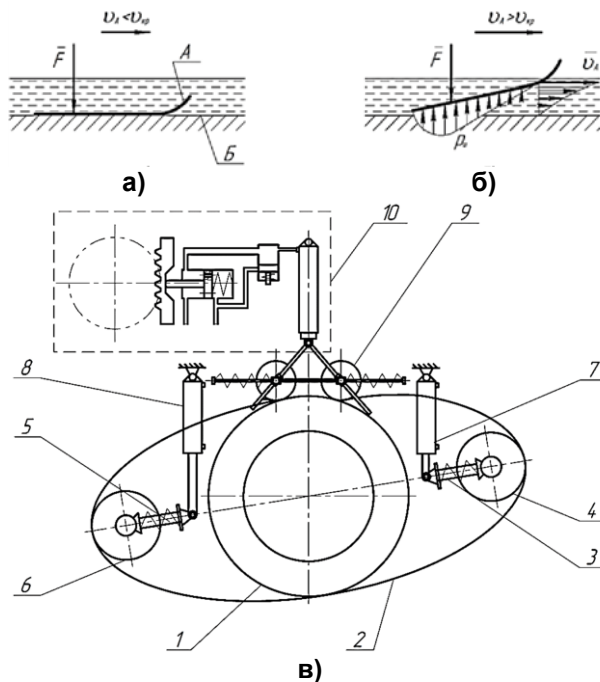


Рисунок 5. Колесно-гусеничный движитель транспортного средства в режиме повышенной проходимости:

1 – колесо; 2 – гибкий обод; 3 – передняя направляющая; 4 – ролик; 5 – задняя направляющая; 6 – ролик; 7 – передний гидроцилиндр; 8 – задний гидроцилиндр; 9 – обжимные катки; 10 – гидравлическая система

тельно пластины  $B$  со скоростью  $v_A$ . Если скорость  $v_A$  мала, то пластина  $A$  выжимает смазку с пластины  $B$ . Поверхности пластин непосредственно соприкасаются. При этом образуется полужидкостное трение.

При достаточно большой скорости  $v_A$  (рис. 5б) пластина  $A$  поднимается и принимает наклонное положение, подобно тому, как поднимаются водные лыжи, скользящие по воде. Между пластинами образуется сужающийся зазор, а движение происходит в условиях жидкостного трения. Переход к режиму жидкостного трения происходит при некоторой скорости, называемой критической  $v_{кр}$ . Применим данную теорию для повышения проходимости колесно-гусеничного движителя (рис. 5в) [7].

При движении транспортного средства по переувлажненной почве, масло под давлением одновременно подается в штоковую полость переднего гидроцилиндра 7 и надштоковую полость заднего гидроцилиндра 8. Шток гидроцилиндра 7 вдвигается, а шток гидроцилиндра 8 выдвигается на ту же величину. Вследствие чего передняя направляющая 3 вместе с роликом 4 поднимается вверх относительно оси колеса 1, а задняя направляющая 5 с роликом 6 опускаются вниз относительно той же оси. Обжимные катки 9 натягивают обод 2. Таким образом, передняя часть движителя между передним роликом 4 и коле-

сом 1 приподнимается, а задняя часть обода 2 движителя между задним колесом 1 и роликом 6 выравнивается относительно поверхности почвы, что приводит к снижению сопротивления перекатыванию движителя и повышению несущей способности почвы.

### Заключение

1. По характеру накопления повторных осадков почвы разделяются на слабо упрочняющиеся и сильно упрочняющиеся. На слабо упрочняющихся почвах рекомендуется применять колесные машины с увеличенной шириной колес, а на сильно упрочняющихся почвах – с увеличенным числом осей.

2. Анализ деформирования почвы на основе модели Фойгта позволил установить, что при сохранении постоянной нагрузки на ходовую систему, увеличение числа осей ведет к снижению глубины следа.

3. Для увеличения проходимости колесных машин на переувлажненных почвах предложена конструкция колесно-гусеничного движителя, обеспечивающая поднятие его передней части для снижения сопротивления перекатыванию.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шило, И.Н. Закономерности накопления повторных осадков при воздействии ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники / И.Н. Шило, Н.Н. Романюк, А.Н. Орда, В.А. Шкляревич, А.С. Воробей // Агропанорама. – 2014. – № 6. – С. 2-7.

2. Мацепуро, М.Е. Деформация грунтов ходовыми аппаратами машин / М.Е. Мацепуро, Б.Н. Янушкевич // Вопросы земледельческой механики. – Минск: Сельхозгиз, 1961. – Т. 7. – С. 172-210.

3. Орда, А.Н. Эколого-энергетические основы формирования машинно-тракторных агрегатов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03 / А.Н. Орда; Белорус. аграр. техн. ун-т. – Минск, 1997. – 36 с.

4. Гао, С.Ф. Исследование процесса самопередвижения гусеничного движителя по сжимаемому грунту / С.Ф. Гао // Труды научн. конф. ЦНИИМЭСХ. – Минск: Сельхозгиз. – 1962. – С. 77-86.

5. Шукле, Л. Реологические проблемы механики грунтов / Л. Шукле. – М: Стройиздат, 1976. – 486 с.

6. Скойбеда, А.Т. Детали машин и основы конструирования: учеб. / А.Т. Скойбеда, А.В. Кузьмин, Н.Н. Макейчик; под общ. ред. А.Т. Скойбеда. – Мн.: Выш. шк., 2000. – 584 с.

7. Колесно-гусеничный движитель транспортного средства: пат. 2334 Респ. Беларусь, МПК В 62D 55/04 / А.Н. Орда, В.А. Шкляревич, Н.А. Гирейко, А.А. Зенькович, А.Б. Селеш; заявитель Бел. гос. агр. техн. ун-т. – № и 20050229; заявл. 19.04.05; опубл. 30.12.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 4. – Ч. II. – С. 39.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 27.12.2019

УДК 631.362.3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМНО-КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ВИБРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ПОДГОТОВКИ СЕМЯН РАПСА

**В.М. Поздняков,**

*проректор по учебной и воспитательной работе БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**С.А. Зеленко,**

*ст. преподаватель каф. технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции БГАТУ, магистр техн. наук*

**Р.И. Колесник,**

*студент каф. технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции БГАТУ*

*В статье представлены результаты исследований процесса сортирования семян рапса по удельному весу на разработанном сепараторе вибропневматического принципа действия. Впервые определены оптимальные параметры работы вибропневматического сепаратора, обеспечивающие максимальную технологическую эффективность процесса сортирования семян рапса по удельному весу: амплитуда колебания деки – 2,5 мм; частота колебания деки – 19,5 Гц; скорость воздушного потока – 1,2 м/с; угол наклона деки – 2,6 град. Применение данных параметров позволило получить высококачественные семена, обладающие повышенными посевными качествами, что подтверждается лабораторными и полевыми испытаниями.*

*Ключевые слова: вибропневматический сепаратор, сортирование, семена рапса, псевдооживленный слой, удельный вес.*

*The results of the research process for rapeseed specific weight grading separator of pneumatic vibration operation mode are given in the article. The optimal parameters of the best performance for rapeseed specific weight grading separator: the amplitude of the deck vibration - 2,5 mm; deck vibration frequency - 19,5 Hz; air velocity - 1,2 m / s; elevation angle of the deck - 2,6 degrees were determined for the first time. The use of these parameters allowed to get high quality seeds with high sowing qualities proved by laboratory and field tests.*

*Keywords: pneumatic vibration separator, grading, rapeseed, fluidized bed, specific weight.*

### Введение

Наращивание в республике мощностей перерабатывающих предприятий требует увеличения объемов возделывания технических сельскохозяйственных растений, в частности семян рапса. Согласно Государственной программе развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016-2020 годы, производство маслосемян рапса в 2020 году должно составить 820 тыс. тонн, при обеспечении повышения урожайности рапса до 20,5 центнера с гектара. Выполнение прогнозных показателей возможно только при условии строгого соблюдения технологии возделывания рапса и обеспечения качества используемых для посева семян.

Повышение качества семян рапса, используемых для посева, является одним из ключевых вопросов в семеноводстве. Проведенные авторами исследования, а также анализ зарубежных литературных источников показали, что вибропневматический метод сортиро-

вания семян является одним из наиболее эффективных, т.к. сортирование ведется в псевдооживленном слое [1-5]. Признаками делимости являются: различие удельного веса семян, частично их форма и коэффициент трения. Удельный вес можно рассматривать как комплексную характеристику, суммарно отражающую такие показатели физико-химических свойств семян, как структура, химический состав, масса 1000 семян и натура [6, 7].

Целью работы является определение оптимальных параметров работы вибропневматического оборудования, обеспечивающих максимальную технологическую эффективность процесса сортирования семян рапса по удельному весу.

### Основная часть

Анализ технологического оборудования для подготовки семенного материала показал, что в настоящее время в Республике Беларусь не существует серийно выпускающегося технологического оборудо-



вания, позволяющего производить сортирование семян рапса с высокой точностью. Поэтому разработка конструкции новой отечественной машины, позволяющей эффективно разделять семенную массу по удельному весу, с целью выделения семян с высоким потенциалом урожайности, является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит обеспечить республику высококачественными посевными семенами, и, соответственно, позволит повысить урожайность возделываемых культур.

Для проведения экспериментальных исследований процесса вибропневмосортирования семян в псевдооживленном слое изготовлен экспериментальный стенд, основным элементом которого является разработанный вибропневматический сепаратор с принципиально новыми техническими решениями, обеспечивающий эффективное сортирование семян рапса на фракции, отличающиеся между собой массой 1000 семян в пределах 10-15 %. [7].

Схема экспериментального стенда представлена на рисунке 1.

Для исследования влияния режимно-конструктивных параметров работы на эффективность сортирования на разработанном вибропневматическом сепараторе использовались элитные семена яро-

вого рапса сорта «Водолей» и «Неман».

В результате проведенных исследований [5, 7, 8] установлено, что технологическая эффективность процесса сортирования исходной массы семян рапса по удельному весу определяется такими показателями, как масса 1000 семян и производительность вибропневматического сепаратора.

Масса 1000 семян определялась по методике, описанной в источнике [9]. Производительность лабораторного вибропневматического сепаратора определялась путем замера массы семян, поступающей на сортирование из загрузочного бункера, за фиксированный интервал времени.

Для определения наиболее значимых факторов, влияющих на технологическую эффективность процесса сортирования семян рапса по удельному весу, была проведена серия отсеивающих экспериментов, что позволило определить основные факторы, влияющие на процесс сортирования. Анализ серии отсеивающих экспериментов показал, что факторами, определяющими технологическую эффективность сортирования семян рапса по удельному весу на вибропневматическом сепараторе, являются: амплитуда колебания сетчатой деки, частота колебания сетчатой деки, скорость воздушного потока в рабочей камере

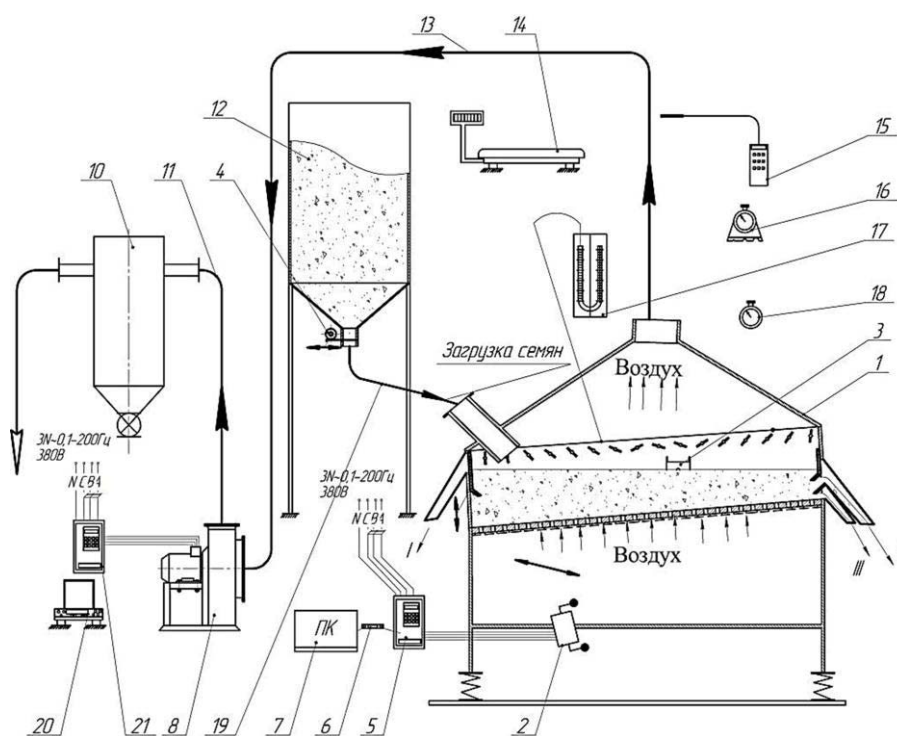


Рисунок 1. Схема экспериментального стенда:

I – легкая фракция (легковесные и низконатурные семена); II – средняя фракция (основная партия семян); III – плотная фракция (семена с высоким потенциалом урожайности); 1 – лабораторный вибропневматический сепаратор; 2 – электровибратор ИВ-99Б; 3 – датчик уровня семян; 4 – механизм регулировки подачи исходного продукта; 5 – частотный преобразователь PROSTAR PR 6100; 6 – преобразователь интерфейса AC4; 7 – персональный переносной компьютер ASUS X550C; 8 – вентилятор ВР 120-28; 9 – нагнетающий воздуховод; 10 – осадочная камера; 11 – воздуховод; 12 – бункер; 13 – всасывающий воздуховод; 14 – весы; 15 – анемометр ТКА-ПКМ50; 16 – угломер маятниковый ЗУРИ-М; 17 – U образный манометр; 18 – секундомер; 19 – патрубок для подачи массы семян; 20 – анализатор влажности; 21 – частотный преобразователь ВЕСПЕР E2-8300-007H

сепаратора и угол наклона деки к горизонту.

Для определения интервалов варьирования входных факторов была проведена серия однофакторных экспериментов. В результате обработки экспериментальных данных построены графические зависимости, представленные на рисунке 2. Анализ данных зависимостей позволил определить интервалы варьирования входных факторов для проведения полнофакторного эксперимента:

- амплитуда колебания сетчатой деки,  $A=1,5-3,0$  мм;
- частота колебания сетчатой деки,  $f=17-22$  Гц;
- скорость воздушного потока в рабочей камере сепаратора,  $v_в=0,9-1,5$  м/с;
- угол наклона деки к горизонту,  $\alpha=2-5$  град.

Для определения оптимальных параметров работы разработанного сепаратора при сортировании семян рапса по удельному весу проведен полнофакторный эксперимент по плану Бокса-Уилсона типа  $2^4$  со звездными точками  $\alpha=\pm 2$  и двукратным повторением центральной точки. В результате планирования проведено 26 экспериментов, которые проводились с тройной повторностью.

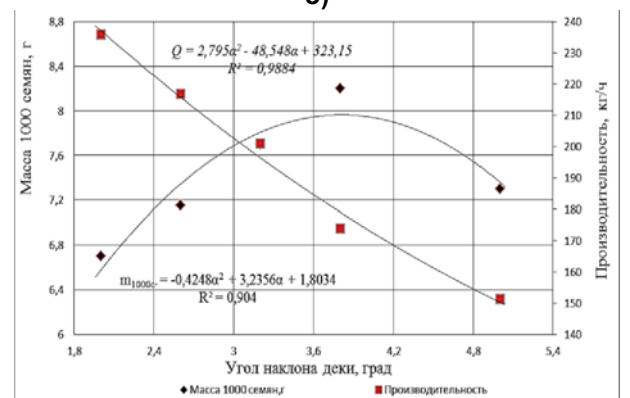
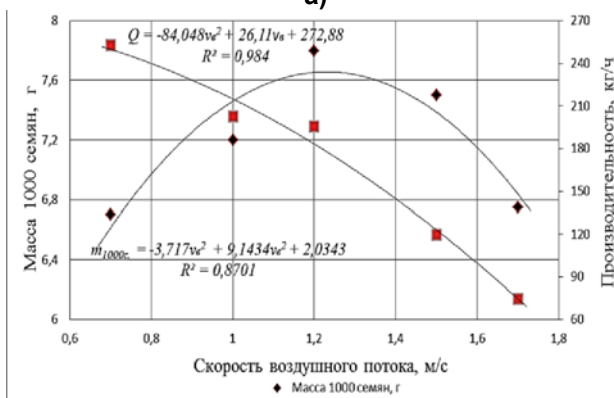
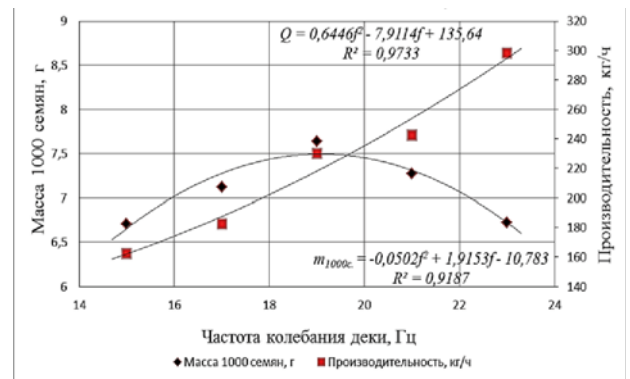
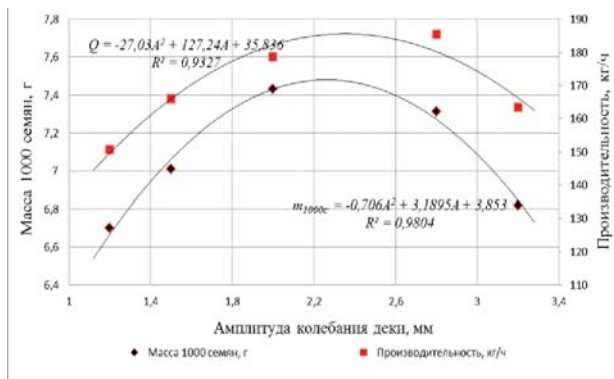
На основании детального анализа экспериментальных данных, с помощью пакета статистических инструментов программ STATISTICA 7 и STATGRAPHICS Centurion XVI.I. построены поверхности отклика и линии равного уровня для параметров оптимизации массы 1000 семян и производитель-

ность вибропневматического сепаратора, представленные на рисунке 3, и получены уравнения регрессии (1, 2), позволяющие определять производительность и значение массы 1000 семян разработанного вибропневматического сепаратора при изменении режимно-конструктивных параметров работы в диапазоне варьирования факторов.

$$Q = -2021,2 + 123,8 \cdot \alpha + 321,9 \cdot A + 147,2 \cdot f + 464,4 \cdot v_в - 8,2 \cdot \alpha^2 + 8,1 \cdot \alpha \cdot A - 3,8 \cdot \alpha \cdot f - 26,1 \cdot \alpha \cdot v_в - 48,6 \cdot A^2 - 5,8 \cdot A \cdot f - 1,9 \cdot f^2 - 22,2 \cdot f \cdot v_в - 66,8 \cdot v_в^2 \quad (1)$$

$$m_{1000c} = -5,0 + 0,7 \cdot \alpha + 1,4 \cdot A + 0,8 \cdot f + 2,4 \cdot v_в - 0,1 \cdot \alpha^2 - 0,01 \cdot \alpha \cdot f - 0,1 \cdot \alpha \cdot v_в - 0,3 \cdot A^2 - 0,02 \cdot f^2 - 0,8 \cdot v_в^2 \quad (2)$$

Определение оптимальных параметров работы сепаратора, обеспечивающих максимальную технологическую эффективность процесса сортирования семян рапса по удельному весу, осуществлялось графическим методом путем наложения линий равного уровня для параметра «производительность» (рис. 3а) и массы 1000 семян (рис. 3б). Схема графической оптимизации представлена на рисунке 4.



**Рисунок 2. Диаграммы графических зависимостей эффективности сортирования семян рапса по удельному весу от входных факторов**

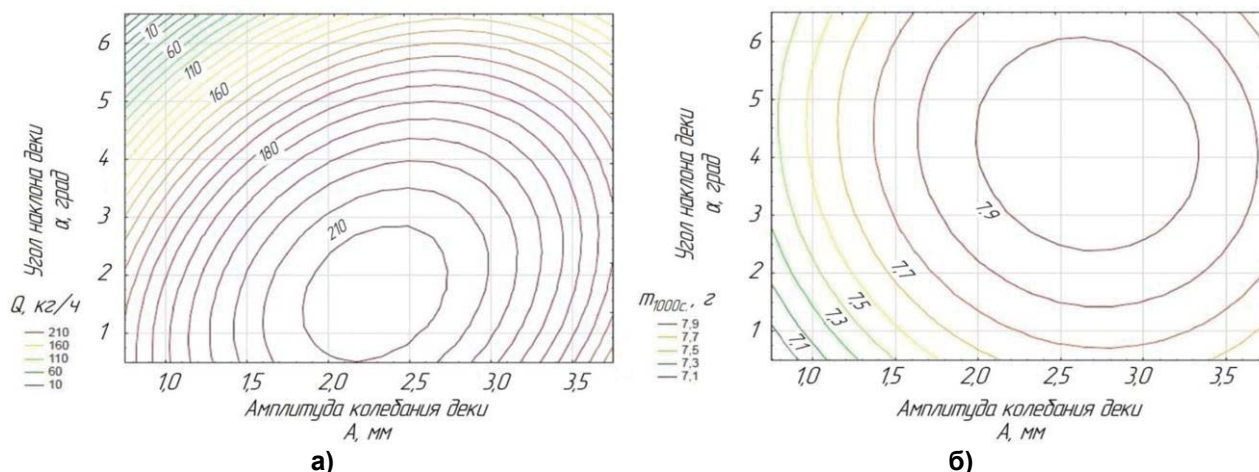


Рисунок 3. Линии равного уровня для параметров оптимизации масса 1000 семян и производительность вибропневматического сепаратора: а – для производительности; б – для параметра массы 1000 семян

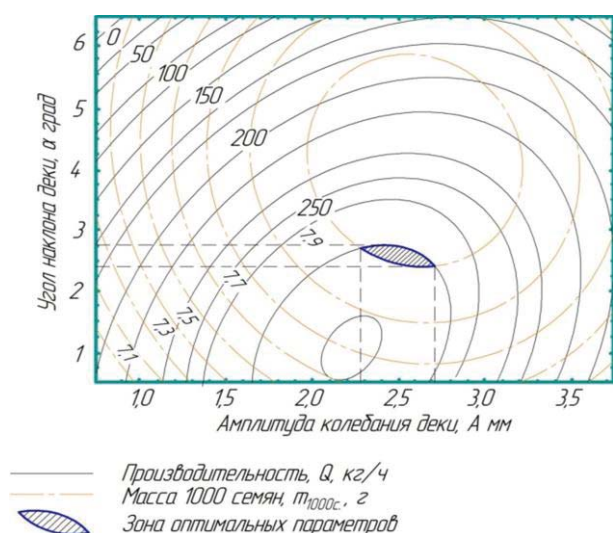


Рисунок 4. Схема графической оптимизации процесса сортирования семян рапса по удельному весу

На основании графического метода проведения оптимизации определены оптимальные параметры работы разработанного вибропневматического сепаратора, обеспечивающие выделение фракции семян рапса с наибольшим удельным весом и при максимальной производительности: амплитуда колебания деки – 2,5 мм; частота колебания деки – 19,5 Гц; скорость воздушного

потока – 1,2 м/с; угол наклона деки – 2,6 град.

Данные оптимальные параметры апробированы на вибропневматическом сепараторе. В таблице 1 представлены результаты по определению посевных свойств семян рапса до и после вибропневмосортирования.

Из представленных в таблице 1 данных видно, что после вибропневмосортирования рапса масса 1000 семян у сорта «Водолей» повышена на 2,7 г, у сорта «Неман» на 2,9 г, натура на 22 и 21,6 г/л соответственно выше, чем у исходных семян. Анализируя полученные данные по определению энергии прорастания и всхожести семян рапса, можно сделать вывод о том, что плотная фракция семян обладает повышенными посевными свойствами. Энергия прорастания и всхожесть данных фракций на 11 % больше, по сравнению с исходными семенами, что свидетельствует о высокой эффективности вибропневматического сепаратора для предпосевной подготовки семян рапса.

Оценка эффективности доработки семян рапса на вибропневматическом сепараторе проводилась в производственных условиях на опытных полях ЧУП КФХ «Родовое гнездо» (сорт «Водолей») и РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию» (сорт «Неман»). Посев доработанными семенами позволил увеличить урожайность рапса по сравнению с контрольной партией на 16,5 (сорт «Водолей») и 13,4 % (сорт «Неман»).

Таблица 1. Свойства семян рапса до и после обработки на разработанном вибропневматическом сепараторе

Сорт	Наименование фракции	Масса 1000 семян, г	Натура семян, г/л	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Водолей	Исходная (без обработки)	6,7	651,6	78,5	82,5
	Плотная (после обработки)	9,4	673,6	89,5	93,5
Неман	Исходная (без обработки)	6,8	654,2	80,5	86,5
	Плотная (после обработки)	9,7	675,8	90,5	95,5

**Заключение**

Разработана новая конструкция прямооточного вибропневматического сепаратора, которая может быть использована для сортирования семян рапса по удельному весу.

Технологический эффект от применения вибропневматического сепаратора на стадии окончательной очистки семян заключается в следующем: выделение семян с высоким потенциалом урожайности, высокой энергией прорастания и всхожестью; выделение трудноотделимых примесей из семенных смесей, включая семена культурных растений; выделение из семенных материалов семян травмированных, пораженных насекомыми и инфицированных; уменьшение разнокачественности растений.

Оптимальными параметрами работы разработанного вибропневматического сепаратора при максимальной технологической эффективности процесса сортирования семян рапса по удельному весу являются: амплитуда колебания деки – 2,5 мм; частота колебания деки – 19,5 Гц; скорость воздушного потока – 1,2 м/с; угол наклона деки – 2,6 град.

Проведенные лабораторные и производственные исследования доказали высокую эффективность сортирования семян рапса на разработанном вибропневматическом сепараторе. При условии высокого уровня технологии возделывания применение вибропневматического сепаратора позволит увеличить урожайность семян рапса в зависимости от качества семян на 10-15 %.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Фадеев, Л.В. Отборные семена – на каждое поле. Первый этап получения отборных семян / Л.В. Фадеев // Хлебопродукты. – 2014. – № 5. – С. 31-33.

2. Фадеев, Л.В. Без пневмовибростола нельзя получить сильные семена / Л.В. Фадеев // Хлебопродукты. – 2013. – № 8. – С. 24-27.

3. Moshatati, A. Effect of grain weight on germination and seed vigor of wheat / A. Moshatati, M.H. Ghareh // Intl J Agri Crop Sci. – 2012. – Vol. 4. – № 8. – P. 458-460.

4. Umarani, R. The effect of specific gravity separation on germination and biochemical potential of Casuarina equisetifolia seeds / R. Umarani, K. Vanangamudi // Journal of Tropical Forest Science. – 2002. – P. 207-212.

5. Поздняков, В.М. Повышение эффективности подготовки семенного материала на основе совершенствования конструкции сепаратора вибропневматического принципа действия / В.М. Поздняков, С.А. Зеленко, А.И. Ермаков // Вестник БГСХА. – 2014. – № 1. – С. 163-167.

6. Шило, И.Н. Производительность прямооточного вибропневматического сепаратора зерновой смеси / И.Н. Шило, В.М. Поздняков, С.А. Зеленко // Вест. Нац. акад. наук Беларуси: сер. аграр. наук. – 2018. – Т. 56. – № 1. – С. 99-108.

7. Шило, И.Н. Применение вибропневматического оборудования для предпосевной подготовки семян рапса / И.Н. Шило, В.М. Поздняков, С.А. Зеленко, Я.Э. Пилук // Агропанорама. – 2018. – №1. – С. 5-8.

8. Поздняков, В.М. Экспериментальное исследование сортирования семян рапса на вибропневматическом сепараторе / В.М. Поздняков, С.А. Зеленко, П.И. Павлюкевич, Е.З. Матеев // Вестник Евразийского технологического университета. – Алматы, Казахстан. – 2016. – №4. – С. 5-12.

9. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян: ГОСТ 12042-80. – Введен 30.06.81 (взамен ГОСТ 12042-66) . – М: Стандартинформ, 2011. – С. 109-114.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 14.01.2020

**Навесной оборотный плуг ПНО-3-40/55**



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

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

*Производство плугов освоено на ДП «Минийтовский 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 636.085.5

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЗАГОТОВКИ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ КОРМОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ БЕЛАРУСИ

**В.Л. Сельманович,**

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

**С.Л. Кулагин,**

*соискатель Академии управления при Президенте Республики Беларусь*

**А.Э. Шибко,**

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

**Н.Н. Быков,**

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

*В статье рассмотрены вопросы заготовки высококачественных травяных кормов в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь для более эффективного развития животноводства. Дана сравнительная оценка эффективности заготовки кормов из различных сельскохозяйственных культур.*

*Ключевые слова: кормовая база, структура посевных площадей, питательность кормов, продуктивность животных, себестоимость кормовой единицы, экономическая эффективность.*

*The issues of storage of high-quality grass fodders in the agricultural organizations of the Republic of Belarus are considered. They are used for the more efficient development of animal husbandry. A comparative assessment of the effectiveness of feed storage from different crops has been given.*

*Keywords: fodder base, the structure of the sown areas, fodder nutrition, animal productivity, fodder unit cost, economic efficiency.*

### Введение

В Беларуси высокоразвитое животноводство является основой обеспечения продовольственной безопасности.

Учитывая, что на долю кормов в структуре себестоимости производства молока и мяса КРС приходится от 45 до 60 % всех затрат, создание прочной кормовой базы и заготовка кормов высокого качества являются ключевыми факторами развития, снижения себестоимости продукции и повышения экономической эффективности развития отрасли животноводства.

В мировой практике установлено, что молочная продуктивность коров зависит на 50-60 % от уровня кормления и качества кормов, на 20-25 % – от селекционной работы и воспроизводства и на 20-25 % – от условий содержания и технологии доения. Следовательно, корма и их качество являются определяющими в экономической эффективности производства продукции животноводства и уровня продуктивности животных. При этом с увеличением уровня продуктивности снижается удельный расход кормов на единицу продуктивности и повышаются требования к их качеству.

Проблемами интенсификации и повышения эффективности кормопроизводства в Республике Беларусь занимались Горбатовский А.В., Пикунт П.Т., Святогор А.П., Зиновенко А.Л., Кивейша Е.И. и дру-

гие ученые [1]. В их научных трудах исследованы различные проблемы и внесено много ценных предложений. Вместе с тем, недостаточно освещены вопросы сравнительной экономической эффективности заготовки травяных кормов из различных сельскохозяйственных культур.

Цель настоящей работы – обосновать экономическую эффективность заготовки травяных кормов из многолетних бобовых и злаковых трав.

### Основная часть

Заготовка сельскохозяйственными организациями высококачественных травяных кормов в оптимальные агротехнические сроки является важнейшим условием высокоэффективного развития животноводческой отрасли. Для обеспечения производства 9,2 миллионов тонн молока к 2020 году с продуктивностью дойного стада не менее 6000-7000 кг молока необходимо обеспечить поголовье коров кормами в год на уровне 45-50 центнеров кормовых единиц на условную голову, из них травянистых кормов не менее 30-35 центнеров кормовых единиц. Заготовка сенажа в полимерную пленку ежегодно должна составлять не менее 15 % от общего объема травянистых кормов с энергетической питательностью 1 кг сухого вещества не менее 10 МДж, сенажа – 10,6-10,9 МДж, силоса – 10,5-10,8 МДж. Кроме того,

должны быть соблюдены требования по содержанию сырого протеина в сухом веществе: сена на уровне 13-14 %, сенажа – 15-16 % и силоса – 14-15 % [1, 4].

Одним из недостатков при создании кормовой базы является несовершенство структуры посевных площадей, сложившееся в большинстве сельскохозяйственных организаций республики. Существующая, наименее эффективная, не имеющая аналогов в мире, силосно-концентратная система кормления КРС, является главной причиной низкой продуктивности дойного стада и ухудшения здоровья животных.

По многолетним данным, за последние годы нарушение углеводородного обмена отмечается у 81 % обследуемых животных, белкового – у 43 %. В сельскохозяйственных организациях республики имеется более 20 % яловых кормов, а применение сенажно-концентратного типа кормления сдерживает наращивание объемов производства молока.

К сожалению, сельхозпроизводителями недостаточно используется богатый потенциал травяных кормов, который позволяет обеспечить высокую продуктивность и экономическую эффективность развития животноводства, прежде всего дойного стада и его репродуктивное долголетие. Кроме этого, использование бобовых трав является важнейшим фактором существенного оздоровления и обогащения почвы. Следовательно, высокая продуктивность и экономическая эффективность продукции растениеводства положительно влияет на себестоимость продукции животноводства. В этой связи необходимо совершенствовать структуру возделываемых зернофуражных культур, значительно увеличив долю зернобобовых культур в них и их смесей (горох, люпин, соя, кормовые бобы и др.). Важным при этом является увеличение площадей под возделывание кукурузы на зерно для его использования в качестве фуража. Для ускорения решения белковой проблемы следует значительно увеличить посевные площади люцерны, клеверов, галеги восточной, донника, эспарцета и их смесей. При этом удельный вес бобовых и бобово-злаковых травосмесей в структуре многолетних трав на пашне должен быть не менее 77-85 %, а на сенокосно-пастбищных угодьях – в пределах 47-55 %.

Следует отметить, что в последние годы практически все хозяйства республики производят требуемое количество кормов под плановую продуктивность животных. Кормовыми культурами заняты все соответствующие укосные и посевные площади. Подбираются видовые составы, обеспечивается нормальный рост и развитие растений. Кормоуборочные работы хозяйства стремятся проводить в оптимальные фазы вегетации при соблюдении требований технологий заготовки кормов. Принимаются действенные меры по наращиванию объемов производства и предъявляются принципиально новые требования к

качеству всех видов кормов, прежде всего травяных, чтобы исключить их перерасход на производство животноводческой продукции [2].

Взаимосвязь качества кормов и продуктивности животных показана в таблице 1.

**Таблица 1. Качество, питательность кормов и продуктивность животных, % к I классу [1]**

Показатели	Класс качества			
	I	II	III	неклассные
Вид корма:				
Сено	100	89	79	59
Сенаж	100	89	72	60
Силос	100	90	78	62
Концентрация энергии в сухом веществе	100	90	77	62
Продуктивность животных	100	88	73	55

Продолжительность вегетационного периода, ресурсы влаги и тепла позволяют сельским товаропроизводителям получать в год 3-4 урожая многолетних трав и столько же урожаев промежуточных кормовых культур (озимые, поукосные, подсевные и пожнивные).

В реальности же сельхозпроизводители идут по иному пути в формировании кормового стола для крупного рогатого скота. Необходимо пересмотреть сложившийся подход к кормопроизводству для развития молочно-мясного скотоводства – важнейшей отрасли, формирующей аграрную экономику.

О сравнительной экономической эффективности возделывания кормовых культур можно судить по данным таблицы 2.

**Таблица 2. Сравнительная эффективность выращивания кормовых культур**

Выход кормовых единиц, т/га			Себестоимость кормовой единицы, долл. США		
травы	кукуруза	зерновые	травы	кукуруза	зерновые
4,8	5,2	3,6	37,7	89,1	97,4

Из данных, приведенных в таблице 2, следует, что наименьший выход кормовых единиц с гектара посевов обеспечивают зерновые культуры, однако себестоимость 1 к.ед. многолетних трав в 2,5 раза ниже кукурузы и зерновых культур, что, соответственно, влияет на себестоимость производства продукции животноводства. Возделываемые кормовые культуры значительно различаются и по содержанию основных питательных компонентов (табл. 3).

Из данных таблицы 3 видны различия по химическому составу однолетних и многолетних кормовых культур, убранных в оптимальную фазу. Овес показан, как один из основных компонентов однолетних кормовых смесей. Кукуруза, убираемая на силос, содержит наименьшее количество белка, и она характеризуется более низкими показателями по аминокислотному составу и содержанию витаминов. Прак-

**Таблица 3. Химический состав зеленой массы некоторых кормовых культур, %**

Показатели	Овес	Кукуруза	Клевер	Люцерна
Сырой белок	2,8	1,7	4,0	3,9
Основные незаменимые аминокислоты:				
- лизин	1,3	0,6	2,4	1,8
- метионин	0,8	0,4	0,6	1,8
- триптофан	0,6	0,4	1,0	0,8
Сахар	3,4	4,5	1,5	0,7
Основные витамины, гр/кг СВ				
- тиамин	-	0,67	1,8	2,4
- рибофлавин	-	1,74	12,8	9,55
- никотиновая кислота	-	4,4	23,3	15,7
- фолиевая кислота	-	0	1,77	5,9
- пантотеновая кислота	-	1,23	13,7	18,7

тически по всем показателям, характеризующим кормовое достоинство кормовых культур, явное преимущество остается за клевером и люцерной. Вышеприведенные данные позволяют сделать ряд выводов:

– многолетние бобовые и злаковые травы являются основными источниками дешевого растительного белка. Подкормка многолетних злаковых трав азотом в дозе 100 кг/га д.в. обеспечивает сбор белка в пределах 780-1000 кг/га. Многолетние бобовые травы (клевер, люцерна, лядвенец и др.) формируют продуктивность на уровне 55-75 ц/га сухого вещества со сбором белка 900-1300 кг/га без внесения азотных удобрений;

– многолетние травы по продуктивности практически не уступают кукурузе и это при «бросовом» отношении к травам и большом расходе средств на возделывание кукурузы;

– наименьший выход кормовых единиц с гектара посевов обеспечивают зерновые культуры, несмотря на то, что их возделыванию уделяется первостепенное внимание;

– кормовая единица кукурузы обеспечена белком не более 55 %, а зерновых фуражных культур – на 70-80 %. Следовательно, их надо балансировать по белку до физиологической нормы кормления и для этого требуются дополнительные финансовые ресурсы. Так, для кукурузы требуется дополнительно 200 кг рапсового, 150 кг подсолнечникового или соевого шротов (стоимостью 49 и 110 долл. США соответственно). С учетом дополнительных затрат, кормовая единица кукурузы оказывается в 3,5-4 раза дороже, чем кормовая единица многолетних трав;

– использование в кормлении КРС зерновых злаковых фуражных культур в чистом виде нерационально. Они, как и кукуруза, требуют больших затрат для балансирования по белку. Кроме этого, использование на корм чистого злакового зернофуража отрицательно влияет на здоровье животных.

В этой связи требует неотложного решения проблема получения травяных кормов с энергетической питательностью 1 кг сухого вещества не менее

9,5 МДж, дешевых кормов с содержанием сырого протеина – не менее 16-20 %. И это реально выполнимо практически в каждой сельскохозяйственной организации, только следует профессионально, грамотно и с полной ответственностью подойти к ее решению. В противном случае наращивание объемов производства продукции животноводства в сельскохозяйственных организациях по-прежнему будет зависеть от дорогостоящих белковых добавок, и придется выравнять этот баланс через комбикорм, стоимостью 1 тонны от 500 до 1000 рублей. Стоимость 1 кг сухого вещества сенажа с содержанием 16 % сырого протеина составляет 12-14 копеек, а комбикорма с такой же питательностью – 53-65 копеек. Молодые травостой с хорошим ботаническим составом способны формировать достаточно хорошо облиственный урожай зеленой массы с содержанием протеина свыше 20 %. И это должны быть не только бобовые травы. Следует профессионально заниматься залужением и перезалужением подготовленными травосмесями, а их выбор достаточно большой [5].

Многие руководители и специалисты сельскохозяйственных организаций объясняют трудности с решением этой проблемы отсутствием финансовых средств для покупки семян трав, но затраты на гектарную норму высева семян многолетних трав в 3,9 раза меньше, чем кукурузы отечественной селекции и в 10 раз – французской селекции (табл. 4).

**Таблица 4. Стоимость нормы высева семян на 1 га, руб.**

Культура	Продолжительность использования одного посева, лет	Стоимость гектарной нормы высева в расчете на 1 год пользования
Гибриды кукурузы		
- отечественные	1	555
- российские	1	401
- украинские	1	598
- французские	1	1503
Люцерна	4	193
Клевер луговой	2	74

К тому же следует учитывать, что клевер высевают один раз и используют посевы два года, а люцерну высевают – на 4, 5 лет пользования. Кукурузу высевают каждый год, соответственно и семена закупают. С учетом этого, затраты на семена многолетних трав на гектар посева в 2-7 раз меньше, чем на семена кукурузы французской селекции. Тем не менее, площади посева кукурузы в большинстве сельскохозяйственных организаций не уменьшаются, но и не увеличиваются площади посевов многолетних бобовых трав и их травосмесей. В условиях постоянного роста отпускных цен на топливо, минеральные удобрения и средства защиты растений, усиливается актуальность решения данной проблемы.

Важнейшим фактором, влияющим на увеличение продуктивности животных и экономическую эффектив-

ность производства молока и мяса, является качество заготавливаемых кормов. Во многих сельскохозяйственных организациях республики практически ежегодно огромное количество кормов закладывается с нарушениями технологических регламентов их заготовки и, прежде всего, из-за несоблюдения сроков уборки трав. В погоне за увеличением на 10-15 % урожая зеленой массы трав, половина площадей многолетних трав убирают в фазу цветения и позже, что отрицательно влияет на качество заготавливаемых кормов (табл. 5).

**Таблица 5. Динамика качественных показателей сухого вещества клевера лугового в зависимости от фазы уборки [2]**

Фаза уборки	Содержание в абсолютно сухом веществе, %		Переваримость сухого вещества, %
	Сырой клетчатки	Сырого белка	
Стеблевание	17	23	77
Начало бутонизации	21	18	75
Конец бутонизации	25	15	67
Начало цветения	27	13	65
Массовое цветение	31	12	58
Конец цветения	33	11	54

Из данных, приведенных выше, видно, что потери питательных веществ увеличиваются с опозданием начала сроков скашивания трав, из-за чего снижается и переваримость корма.

Более того, следует учитывать, что при доминировании кукурузного силоса в рационе скота без полного балансирования по белку, молоко практически становится не пригодным для производства ценных твердых сортов сыров [3].

На дешевых качественных травяных кормах, даже без большого количества дорогостоящих концентратов, можно получать в сутки более 15-16 литров молока от коровы. Для этого следует выдерживать в кормлении соотношение качественного сенажа и силоса в размере 65 % и 35 % соответственно.

Для более эффективного ведения животноводства, необходимо соблюдать технологические регламенты производства продукции. При этом весьма важно знать питательность скармливаемых животным кормов. Для этого нужно по всем кормам постоянно проводить лабораторный анализ, проверять их на содержание питательных веществ и переваримость, что позволит грамотно составлять рационы кормления по каждой половозрастной группе с учетом плановой продуктивности [5].

#### **Заключение**

Проведенная оценка экономической эффективности кормового клина для обеспечения животновод-

ства республики полноценными кормами позволяет сделать следующие выводы:

1. Учитывая то, что возделыванием многолетних трав занимаются практически все сельскохозяйственные организации, производящие продукцию животноводства, ключевым направлением повышения их эффективности, а соответственно и кормопроизводства, выступает дальнейшая интенсификация производства и совершенствование структуры посевов кормовых культур.

2. Трансформация посевов кукурузы на зеленую массу в посевы многолетних трав показывает существенный экономический эффект, который складывается по двум направлениям:

- снижение совокупных материально-денежных затрат на возделывание травяных кормов и удешевление себестоимости одной кормовой единицы;
- повышение обеспеченности рационов перевариваемым протеином.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Интенсификация и повышение эффективности кормопроизводства в новых условиях хозяйствования / А.В. Горбатовский [и др.] // Научные принципы регулирования развития АПК: предложения и механизмы реализации. – Минск: Ин-т экономики НАН Беларуси, 2008. – С. 146 – 159.

2. Бречко, Я. Анализ современного состояния производства травяных кормов из многолетних и однолетних трав на пашне Республики Беларусь / Я. Бречко, А. Головач, Е. Седнев // Аграрная экономика. – 2015. – № 8. – С. 62-70.

3. Методические рекомендации и меры по повышению эффективности и конкурентоспособности производства и переработки молока (молокопродуктового подкомплекса) / А.П. Шпак [и др.]. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2014. – 183 с.

4. Технологии производства высококачественных кормов: рекомендации / В.К. Павловский [и др.] // Белорусское сельское хозяйство, 2013. – 40 с.

5. Яковчик, Н.С. Оценка эффективности инновационных технологий заготовки травяных кормов в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь / Н.Яковчик [и др.] // Агропанорама. – 2017. – № 3. – С. 40-44.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 04.11.2019



УДК 631.363.2

## МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДВУХСТАДИЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА

Н.А. Воробьев,

проректор по учебной работе и производству БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

С.А. Дрозд,

ст. преподаватель каф. стандартизации и метрологии БГАТУ

*В статье приводится методика инженерного расчета параметров и режимов работы оборудования для двухстадийного измельчения зерна.*

*Ключевые слова: методика инженерного расчета, двухстадийное измельчение, вальцовый измельчитель, молотковый измельчитель, измельчение зерна.*

*The article provides an engineering calculation methodology for determining the parameters and operating modes of equipment for two-stage grinding of grain.*

*Keywords: engineering calculation technique, two-stage grinding, roller shredder, hammer shredder, grain grinding.*

### Введение

На протяжении последних лет в Республике Беларусь ежегодно собирается около 8,0 млн тонн зерна, из них около 3 млн тонн идут на кормовые цели, в том числе для производства комбикормов [1].

Применяемые при производстве комбикормов технические средства для измельчения зерна имеют высокие удельные энергозатраты [2]. Данный недостаток может быть решен путем применения новых способов измельчения, одним из которых является комбинированное воздействие на зерно различными рабочими органами. Исследуемый способ измельчения зерна [3] предполагает разрушение зерна за две стадии: первая – деформация зерна вальцами сжатием и сдвигом до величины, исключающей компрессионное сжатие; вторая – разрушение зерна ударами молотков. При этом на второй стадии измельчения применяется молотковый измельчитель с вертикальной осью вращения [4].

Одно из преимуществ данного способа заключается в том, что его можно применить как при разработке и создании нового оборудования для измельчения зерна, так и при использовании вальцовых и молотковых измельчителей из существующего парка машин Республики Беларусь. Однако рекомендации по подбору и проектированию оборудования для двухстадийного измельчения зерна отсутствуют.

Цель исследования – разработка методики инженерного расчета, позволяющей по заданным показателям качества и производительности определить необходимые параметры и режимы работы оборудования для двухстадийного измельчения зерна.

### Основная часть

Основными показателями процесса измельчения зерна являются: производительность, качество измельчения и удельные энергозатраты [5]. Повышение эффективности процесса измельчения зерна происходит при увеличении производительности, повышении качества измельчения и при снижении удельных энергозатрат. При этом для определения параметров и режимов работы оборудования необходимо решить компромиссную задачу – выбрать параметры и режимы работы машины, обеспечивающие требуемое качество с наименьшими удельными энергозатратами.

При двухстадийном измельчении зерна данная задача является еще более сложной, так как ее необходимо решить с учетом симбиоза вальцового и молоткового измельчителя зерна.

Качество измельчения зерна определяется в соответствии с ТКП 273 – 2010 [6], через показатель качества измельчения ( $K$ ), который рассчитывается как отношение массы зерна требуемой фракции и общей массы пробы. Для каждого вида животного оптимальна определенная фракция измельчения: например, для свиней 0,1 – 2,0 мм; для сельскохозяйственной птицы в возрасте до 17 недель – 1,0 – 3,0 [7].

Для определения производительности первой стадии измельчения использована уточненная формула производительности вальцового измельчителя [8]:

$$Q_{cm1} = b \cdot L \cdot v_{np} \cdot \rho \cdot j, \quad (1)$$

где  $b$  – зазор между вальцами, м;

$L$  – длина вальцов, м;

$v_{np}$  – скорость прохождения измельченного продукта, м/с (выбирается из диапазона 6 – 14 м/с в зависимости от межвальцового зазора: при  $b = 0,5$  мм –  $v_{np} = 14$  м/с; при 1,0 – 12 м/с; при 1,5 – 10 м/с; при 2,0 – 8 м/с; при 2,5 – 6 м/с [9]);

$\rho$  – объемная масса измельчаемого продукта, кг/м<sup>3</sup> (выбирается в зависимости от вида зерна: для ячменя – 650 кг/м<sup>3</sup>; для тритикале – 620 кг/м<sup>3</sup>; для ржи – 730 кг/м<sup>3</sup>; для пшеницы 760 кг/м<sup>3</sup>; для овса – 450 кг/м<sup>3</sup> [10]);

$j$  – коэффициент полезного использования зоны измельчения (выбирается из диапазона  $j = 0,8 - 0,9$ ) [8].

Для определения производительности второй стадии измельчения использована уточненная формула производительности молоткового измельчителя [8]:

$$Q_{cm2} = \frac{f_1 \cdot d_{om} \cdot \rho \cdot D \cdot h_m \cdot v_m}{\pi}, \quad (2)$$

где  $f_1$  – коэффициент, определяемый опытным путем, м<sup>-1</sup> (значение выбирается из номограммы), (рис. 1, четверть I);

$d_{om}$  – диаметр отверстий в решетке, м;

$\rho$  – объемная масса измельчаемого продукта, кг/м<sup>3</sup> (выбирается в зависимости от вида зерна: для ячменя – 650 кг/м<sup>3</sup>; для тритикале – 620 кг/м<sup>3</sup>; для ржи – 730 кг/м<sup>3</sup>; для пшеницы 760 кг/м<sup>3</sup>; для овса – 450 кг/м<sup>3</sup> [10]);

$D$  – диаметр молоткового ротора, м;

$h_m$  – высота пакета молотков, м (выбираем из диапазона 0,07 – 0,15 м [11]);

$v_m$  – окружная скорость на концах молотков, м/с (рекомендуемое значение для молоткового измельчителя находится в диапазоне 70-100 м/с, однако так как на вторую ступень измельчения поступает зерно со сниженной прочностью, принимаем значение окружной скорости 70 м/с, что в свою очередь снижает переизмельчение зерна, тем самым повышая качество измельчения [12].

При определении производительности должно обеспечиваться условие, по которому производительность второй стадии измельчения должна быть больше либо равна производительности первой стадии измельчения:

$$Q_{cm1} \leq Q_{cm2}, \quad (3)$$

где  $Q_{cm1}$  – производительность первой стадии измельчения, кг/с;

$Q_{cm2}$  – производительность второй стадии измельчения, кг/с.

Суммарная мощность приводов оборудования для осуществления процесса двухстадийного измельчения складывается из суммарной мощности первой и второй стадии измельчения:

$$N = N_{cm1} + N_{cm2}, \quad (4)$$

где  $N_{cm1}$  – мощность привода первой стадии измельчения, Вт·с;

$N_{cm2}$  – мощность привода второй стадии измельчения, Вт·с.

Для определения мощности привода первой стадии измельчения использована уточненная формула мощности привода вальцов [8]:

$$N_{cm1} = b \cdot L \cdot v_{np} \cdot \rho \cdot j \cdot w_1, \quad (5)$$

где  $w_1$  – коэффициент, определяемый опытным путем м<sup>2</sup>с<sup>-2</sup> (значение выбирается из номограммы, рис. 1, четверть I).

Для определения мощности привода второй стадии измельчения использована уточненная формула мощности привода молоткового ротора [9]:

$$N_{cm2} = \frac{f_1 \cdot d_{om} \cdot \rho \cdot D \cdot h_m \cdot v_m \cdot w_2}{\pi}, \quad (6)$$

где  $w_2$  – определяемый опытным путем, м<sup>2</sup>с<sup>-2</sup> (значение выбирается из номограммы, рис. 1, четверть I).

На основании проведенных экспериментальных и теоретических исследований, в которые входят вышеприведенные формулы, построена номограмма (рис. 1), которая позволяет определить параметры и режимы работы оборудования для двухстадийного измельчения зерна.

В номограмме представлены функциональные показатели измельчения зерна, в соответствии с ТКП 281-2010 [13]: мощность ( $N$ ), удельные энергозатраты ( $q$ ) и ТКП 273-2010 [6]: производительность ( $Q$ ), степень измельчения ( $\lambda$ ), средневзвешенный размер частиц ( $L_s$ ), однородность измельченного продукта ( $V$ ), а также межвальцовый зазор ( $b$ ), диаметр отверстий в решетке ( $d$ ), длина вальцов ( $L$ ), диаметр молоткового ротора ( $D$ ).

Алгоритм работы с номограммой представлен на рисунке 1 и заключается в следующем. В четверти IV задается необходимое значение показателя качества измельчения по оси ординат и ведется горизонтальная линия до пересечения с зависимостью показателя качества от межвальцового зазора при различном диаметре отверстий в решетке. При этом выбранный показатель качества может обеспечить различные значения межвальцового зазора и диаметра отверстий в решетке. Для выбора значений данных параметров в четверти IV предпочтительно выбирать наибольшее значение диаметра отверстия в решетке, тем самым обеспечивается наибольшая производительность и наименьшие удельные энергозатраты, что можно видеть из четвертей III и VI соответственно. Для примера в четверти IV зададим необходимый показатель качества  $K = 90\%$  и определим параметры, которые его обеспечивают: диаметр отверстия  $d = 4,0$  мм и межвальцовый зазор  $b = 0,7$  мм.

По определенным параметрам межвальцового зазора диаметра отверстия в решетке по четверти I определим ряд коэффициентов, необходимых для расчета производительности второй стадии измельчения  $f_1$ , мощности привода первой стадии измельчения  $w_1$  и мощности привода второй стадии измельчения  $w_2$ . Для примера в четверти I выбраны следующие значения коэффициентов:  $f_1 = 0,51$  м<sup>-1</sup>;  $w_1 = 2,1$  м<sup>2</sup>с<sup>-2</sup>;  $w_2 = 4,5$  м<sup>2</sup>с<sup>-2</sup>.

Затем в четверти III зададим необходимое значение производительности второй стадии измельчения, на которую оказывает влияние диаметр молоткового ротора, определяемый по формуле:

$$D = \frac{\pi \cdot Q_{cm2}}{f_1 \cdot d_{om} \cdot \rho \cdot h_m \cdot v_m}, \quad (7)$$

где  $Q_{cm2}$  – производительность второй стадии измельчения, кг/с.

В соответствии с заданной производительностью и ранее заданным показателем качества в четверти III,

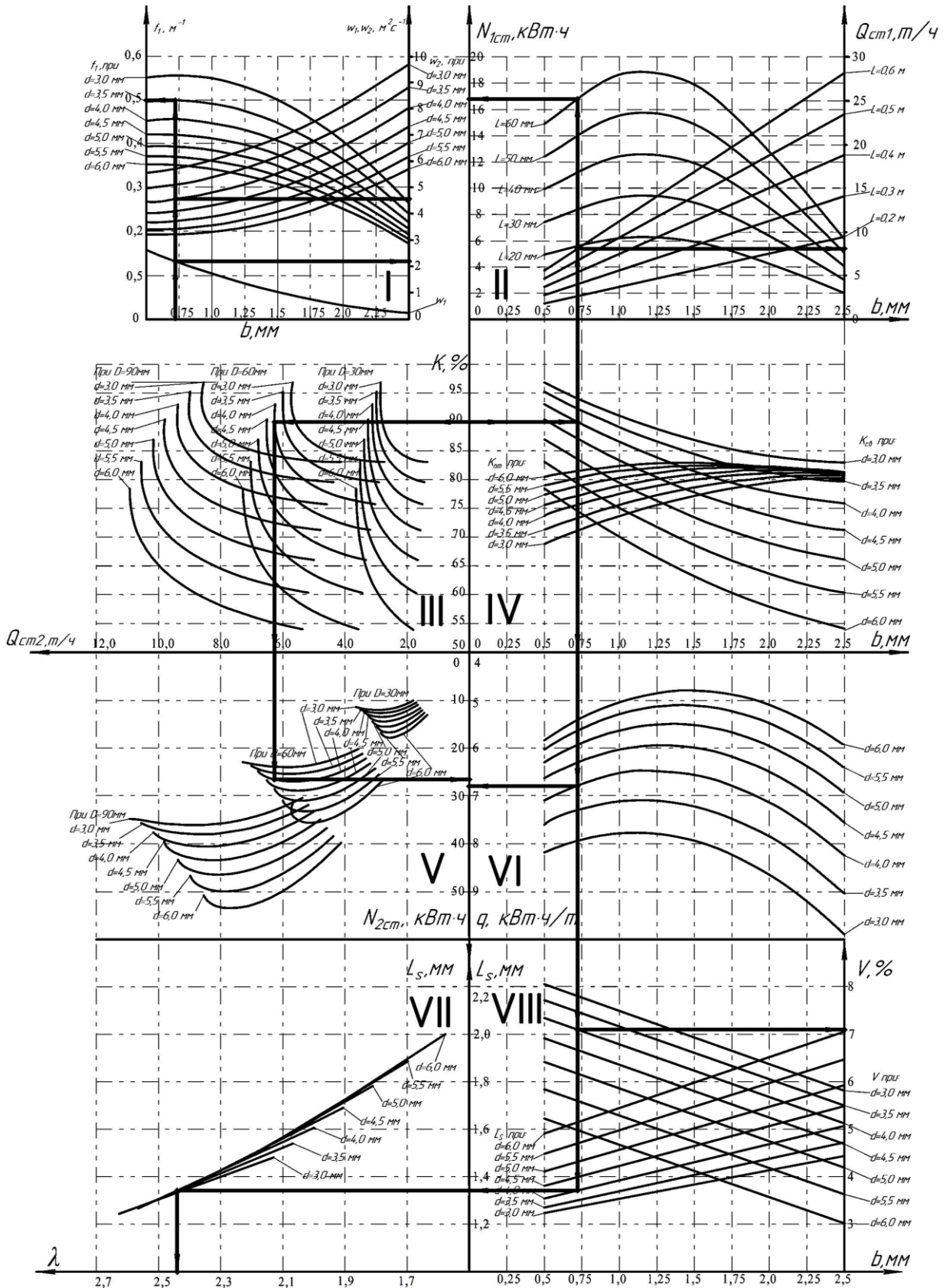


Рисунок 1. Номограмма для определения параметров и режимов работы оборудования для двухстадийного измельчения зерна

определяем значение диаметра молоткового ротора. Например, зададим производительность не менее 5 т/ч и определим значение диаметра молоткового ротора, которое ее обеспечивает  $D = 0,6$  м. При этом производительность  $Q_{cm2} = 6,2$  т/ч.

Опустив вертикальную линию с четверти III в четверть V, определим необходимую мощность привода второй стадии измельчения, для обеспечения ранее заданного показателя качества и производительности. Например, для ранее заданных условий  $N_{cm2} = 27$  кВт·ч.

Затем вернемся в четверть IV и из точки пересечения, ранее выбранных значений межвальцового зазора и диаметра отверстия в решетке, проведем вертикальную линию вверх в четверть II, в которой определим значение длины вальцов, которая обеспечит ранее заданную производительность, определяемую по формуле:

$$L = \frac{Q_{cm1}}{b \cdot \rho \cdot v_{np} \cdot j}, \quad (8)$$

где  $Q_{cm1}$  – производительность первой стадии измельчения, кг/с.

В соответствии с заданной производительностью и ранее определенным параметром межвальцового зазора в четверти II, определим значение длины вальцов. Например, для ранее заданных условий  $L = 0,4$  м, что обеспечивает производительность первой стадии измельчения  $Q_{cm1} = 5,4$  т/ч.

Проведя вертикаль дальше вверх до пересечения с зависимостью мощности первой стадии измельчения от межвальцового зазора при ранее выбранном значении длины вальцов, определим необходимую мощность привода первой стадии измельчения. Например, для ранее заданных условий  $N_{cm1} = 11,2$  кВт·ч.

Затем снова возвращаемся в четверть IV и из точки пересечения ранее выбранных значений межвальцового зазора и диаметра отверстия в решетке проведем вертикальную линию вниз в четверть VI, в которой определим значение удельных энергозатрат на процесс двухстадийного измельчения. Например, для ранее заданных условий  $q = 6,8$  кВт·ч/т.

Опустив вертикаль в четверть VIII, определим значения однородности продукта (в котором от 0 до 10 % продукт является однородным) и средневзвешенного размера частиц. Например, для ранее заданных условий  $V = 7,1$  % и  $L_s = 1,35$  мм.

По полученному значению средневзвешенного размера частиц в четверти VII определим степень измельчения зерна путем проведения горизонтальной линии из четверти VIII. Например, для ранее заданных условий  $\lambda = 2,44$ .

Также при работе с номограммой вместо показателя качества измельчения можно задать другой функциональный показатель процесса измельчения, например, средневзвешенный размер частиц, и определить параметры и режимы работы оборудования, позволяющие его обеспечить.

### Заключение

Разработана и представлена в виде номограммы методика инженерного расчета, которая позволяет:

- выбрать необходимый показатель качества измельчения и задать производительность процесса двухстадийного измельчения зерна;

- определить основные параметры процесса двухстадийного измельчения зерна: межвальцовый зазор, длину вальцов, скорость прохождения измельченного продукта на первой стадии измельчения, диаметр отверстий в решетке, диаметр молоткового ротора, высоту пакета молотков, окружную скорость на концах молотков, мощность привода первой и второй стадии;

- определить функциональные показатели процесса измельчения зерна: скорость, удельные энергозатраты, степень измельчения, средневзвешенный размер частиц, однородность измельчения.

Разработанная методика также позволяет определить параметры и режимы работы двухстадийного измельчения зерна, как при разработке и создании нового оборудования для измельчения зерна, так и при использовании вальцовых и молотковых измельчителей из существующего парка машин Республики Беларусь.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / И.В. Медведева [и др.]. – Минск: Национальный стат. комитет Республики Беларусь, 2019 – 229 с.
2. Шило, И.Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства: монография / И.Н. Шило, В.Н. Дашков. – Минск: БГАТУ, 2003. – 183 с.
3. Воробьев, Н.А. Исследование способа двухстадийного измельчения зерна / Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Минск: БГАТУ, 2019. – Ч. 2. – С. 144-146.
4. Анализ исследований в области двухстадийного измельчения зернофуража / Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Минск: БГАТУ, 2015. – С. 65-68.
5. Дашков, В.Н. Совершенствование технических средств для измельчения фуражного зерна / В.Н. Дашков, Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Агропанорама. – 2013. – № 5. – С. 23-28.
6. Сельскохозяйственная техника. Машины и оборудование для приготовления кормов. Порядок определения функциональных показателей: ТКП 273-2010. – Введ. 01.06.2011. – Минск: БелГИСС, 2011. – 48 с.
7. Воробьев, Н.А. Анализ зоотехнических требований к качеству измельчения зерна на кормовые цели / Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: матер. междунар. науч.-практ. конф. – Минск: БГАТУ, 2019. – С. 267-268.

8. Демский, А.Б. Оборудование для производства муки и крупы: справочник / А.Б. Демский, М.А. Борискин, Е.В. Тамаров, А.С. Чернолихов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с.

9. Андрианов, А.М. Исследование рабочего процесса валковой зерноплющилки: автореф.... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / А.М. Андрианов. – Воронеж, 1974. – С. 19.

10. Зверев, С.В. Физические свойства зерна и продуктов его переработки / С.В. Зверев, Н.С. Зверева. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 176 с.

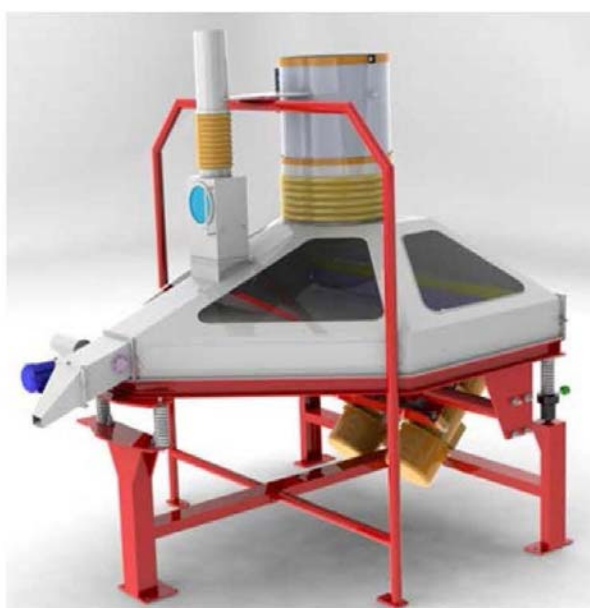
11. Шуб, Г.И. Исследование технологического процесса измельчения сырья комбикормового производства на молотковой дробилке: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Г.И. Шуб. – М., 1966. – 218 с.

12. Мельников, С. В. Экспериментальные основы теории процесса измельчения кормов на фермах молотковыми дробилками: автореф.... дис. докт. техн. наук: 05.20.01 / С.В. Мельников. – Л., 1969. – С. 60.

13. Сельскохозяйственная техника. Порядок определения показателей энергетической оценки: ТКП 281-2010. – Введ. 01.06.2011 / БелГИСС, 2011. – 16 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 07.02.2020

## Сепаратор вибропневматический



*Предназначен* для очистки зерновой массы от трудноотделимых примесей на зерноперерабатывающих предприятиях, элеваторах, комбикормовых заводах. Также может быть использован для подготовки семенного материала с целью предотвращения заражения спорыньей зерна будущего урожая на семенных станциях и в фермерских хозяйствах.

Применение в технологических линиях очистки зерна разработанного сепаратора позволит повысить эффективность очистки зерна от трудноотделимых примесей за счет системы периодического вывода фракции примесей, а также комплекта отражающих и отбойных

пластин, снижающих потери годного зерна с отходами.

### Основные технические данные

Производительность, т/ч до	6
Коэффициент очистки, % до	95
Площадь ситовой поверхности, м <sup>2</sup>	3,16
Диапазон регулировки угла наклона деки, град	2-8
Амплитуда колебаний, мм	2,5-3
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч	10000
Установленная мощность привода, кВт	2×0,18
Диапазон регулировки частоты вращения электровибраторов, мин <sup>-1</sup>	800-1650
Разрежение в рабочей камере, Па	500-700
Габаритные размеры, мм (д ш в)	2240 2100 1960
Масса сепаратора, кг, не более	510

## СНИЖЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПРИМЕНЕНИЕМ ОБРАБОТКИ ГРУНТА НЕАГРЕССИВНЫМИ К МАТЕРИАЛУ ЗАЗЕМЛИТЕЛЯ СТАБИЛИЗИРУЮЩИМИ ВЛАЖНОСТЬ ДОБАВКАМИ

**С.М. Барайшук,**

*зав. каф. практической подготовки студентов БГАТУ, канд. физ.-мат. наук, доцент*

**И.А. Павлович,**

*ассистент каф. практической подготовки студентов БГАТУ*

*Рассмотрены возможные способы уменьшения сопротивления контура заземления для высокоомных грунтов. На основании результатов исследований проведен анализ влияния смесей для оптимизации заземления на удельное сопротивление грунта, коэффициент сезонности, сопротивление контура заземления.*

*Ключевые слова: заземляющее устройство, удельное электрическое сопротивление грунта, электробезопасность, коэффициент сезонности.*

*The possible ways of reducing the resistance of the ground loop for high-resistance soils are considered. Based on the results of the research, the analysis of the effect of mixtures for optimizing grounding on the soil resistivity, the seasonality coefficient, and resistance of the ground loop was carried out.*

*Keywords: grounding device, ground electrical resistivity, electrical safety, seasonality coefficient.*

### Введение

При проектировании, монтаже и обслуживании заземляющих устройств в грунтах, имеющих высокое удельное сопротивление растеканию тока, для снижения сопротивления заземления рекомендуется использовать ряд технических решений, одним из которых является применение обработки грунта веществами и смесями, неагрессивными к материалу заземлителя, для снижения сопротивления грунта в околоэлектродном пространстве [1]. С этой целью используют различные виды околоэлектродных заполнителей. В данной статье рассмотрено влияние компонентов разрабатываемых смесей на сопротивление контура заземления.

Для повышения эффективности заземлителя и снижения переходного электрического сопротивления «электрод – грунт» рекомендуется увеличивать площадь токоотдачи вокруг электрода. Для этого используют различные технические решения, например использование для анодного заземлителя токопроводящей бетонной оболочки, что позволяет обеспечить достаточную электрическую проводимость и увеличить срок службы устройства [2]. Электрическая проводимость токопроводящей оболочки создается за счет введения в бетонную смесь коллоидно-графитового и углеродного наполнителя.

Еще одним, более распространенным вариантом, является использование засыпки глиной, угольной или коксовой мелочью, электролитом из минеральных солей, а также и других материалов, не активирующих коррозию металлов заземляющего устрой-

ства [3]. Известны минеральные активаторы, производящиеся на территории СНГ [4], представляющие собой смесь искусственного графита, бетонита, модифицированную галогенидным активатором и ПАВ. При использовании электролитов можно достигнуть значительного снижения удельного сопротивления грунта, однако через 2-4 года требуется повторная обработка околоэлектродного пространства. Попытки устранить эти недостатки введением в землю вокруг электрода металлы в измельченном виде (коллоидные растворы, мелкая металлическая стружка) [5] показали, что коллоиды неустойчивы в почве, они вымываются дождевой водой, кроме того данный способ не соответствует нормам экологической безопасности. Все описанные выше решения имеют ряд недостатков, основными из которых являются: применимость только в регионах с достаточно высокой и стабильной влажностью грунта и увеличение стоимости монтажа заземляющего устройства.

Целью настоящей работы является изучение возможности уменьшения сопротивления контура заземления применением смесей, стабилизирующих влажность и увеличивающих проводимость в околоэлектродном пространстве.

### Основная часть

Наиболее перспективным методом снижения сопротивления грунта в околоэлектродном пространстве, а значит и сопротивления заземляющего устройства в целом, является использование электропроводящего состава, неагрессивного к материалу

заземлителя и стабилизирующего влажность [5-6] непосредственно в околоэлектродном пространстве. В таком случае обеспечивается, как уменьшение температуры замерзания несвязанной влаги в грунте за счет ее связывания, так и уменьшение сопротивления грунта за счет формирования связанных электролитических растворов. Введение гидростабилизирующих веществ на основе гидролизованного полиакрилонитрила эффективно при снижении высоких сопротивлений заземлений (порядка 400-600 Ом) и малоэффективно при величинах сопротивлений менее 100 Ом. В этом случае он может давать сколь либо заметный эффект только в сочетании с углеродосодержащими порошками, аналогично известным ранее способом оптимизации сопротивления заземления. На основе нормативных документов и имеющегося опыта, авторами проводились исследования влияния таких смесей и их отдельных компонентов на сопротивление заземляющих устройств.

Для проведения исследований были смонтированы несколько заземляющих устройств: контрольный контур заземления, представляющий собой вертикальный составной электрод из оцинкованной стали диаметром 16 мм, длиной 3 м, и горизонтальный фрагмент соединительной полосы размером 4x50 мм той же длины, без применения добавок. Экспериментальные контуры имели аналогичную конструкцию, но в околоэлектродном объеме грунта была проведена обработка смесями или отдельными веществами для оптимизации сопротивления заземления. Измерения параметров сопротивления заземляющих устройств выполнялись при помощи измерителя ИС-10 трехпроводным методом, при разных значениях температуры (выше и ниже 0 °С) и влажности окру-

жающей среды и грунта. Результаты измерений сопротивления контуров приведены в таблице 1.

Из полученных данных можно сделать вывод о том, что наименьшее значение сопротивления имеет заземляющий контур 3. Однако наибольший интерес

**Таблица 1. Результаты измерений параметров сопротивления контуров в течение месяца после монтажа**

Дата	Значение сопротивления ЗУ	Значение сопротивления ЗУ	Значение сопротивления ЗУ	Значение сопротивления ЗУ	Значение сопротивления ЗУ
	1	2	3	4	5
24.10.2018	348	114	74	121	210
28.10.2018	332,3	107,3	70,8	117,3	191
30.10.2018	333,7	106,7	87,3	156	290,7
09.11.2018	194	83,5	70,7	88,3	191
13.11.2018	220	108	78	94	187
18.11.2018	231	109	81,7	93,2	182
29.11.2018	204,3	113	78,9	79,3	184,8

представляет уменьшение колебаний сопротивления на контуре 2, в котором в околоэлектродное пространство добавлен единственный компонент – гидролизированный полиакрилонитрил [7]. Этот состав не токсичен, не загрязняет окружающую среду и используется в сельскохозяйственном производстве. Годовые графики изменения сопротивления приведены для контрольного контура и контура 2, выполненного с применением смеси на основе гидролизованного полиакрилонитрила (рис. 1).

Применение такой добавки в грунт снижает температуру замерзания грунта на 4 °С, что дает возможность использовать более высокие средние многолетние низшие температуры, при определении к какой климатической зоне относится площадка проектирования заземления. Исследования показали, что влияние на снижение сопротивления можно разделить на два фактора: изменение коэффициента сезонности и уменьшение удельного сопротивления грунта в околоэлектродном пространстве.

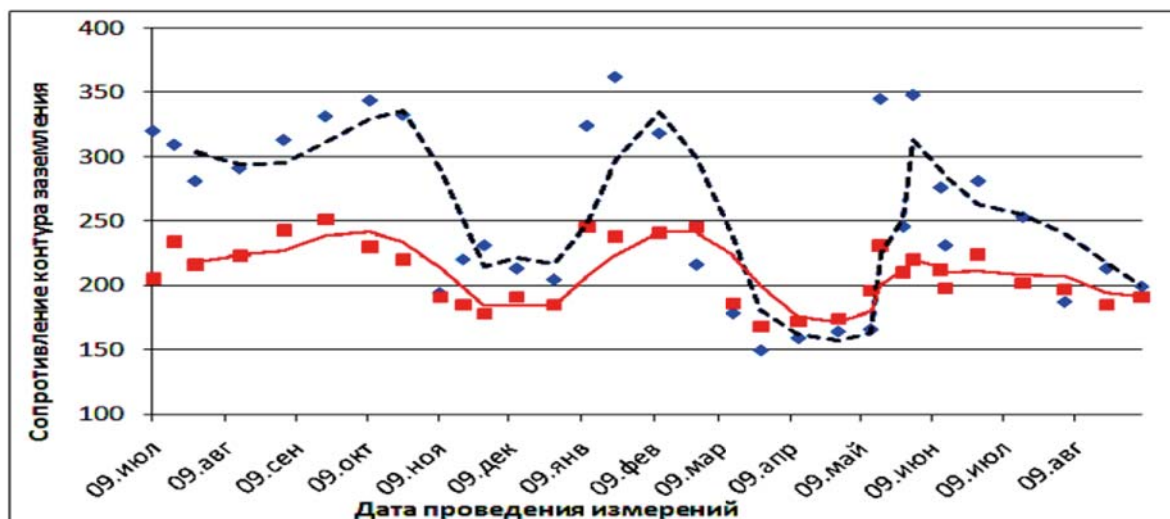


Рисунок 1. Годовой график изменения сопротивления контрольного (верхняя кривая) и контура, выполненного с применением гидролизованного полиакрилонитрила (нижняя кривая)

**Расчет сопротивления заземлителя при применении смесей для оптимизации**

Основным параметром, определяющим электропроводность грунта и особенности растекания электрического тока в нем, является удельное электрическое сопротивление грунта. Эта величина зависит от состава грунта и слоистости, размеров частиц грунта и плотности их прилегания друг к другу, влажности и близости грунтовых вод, температуры, концентрации растворенных химических веществ и их химических свойств. На практике данную величину измеряют с учетом поправочного коэффициента, учитывающего температуру и влажность (коэффициент сезонности), и используют как базовый параметр для расчета заземления. Чем меньше удельное сопротивление грунта, тем меньше будет сопротивление растеканию тока заземляющего устройства, и необходима меньшая площадь переходного контакта «заземлитель – грунт».

В случае применения смесей для оптимизации сопротивления заземления, происходит частичная замена исходного грунта в околоэлектродном пространстве на смесь, имеющую в рабочем состоянии значительно меньшее удельное сопротивление. При этом параметром, влияющим на изменение сопротивления, будет площадь соприкосновения смеси и исходного грунта, а в случае применения ее по всей длине электрода – периметр контакта. Очевидно, что эффективность такой замены тем выше, чем больше разница удельного сопротивления грунта и смеси, а также чем большее количество грунта заменено в околоэлектродном пространстве. В последнем случае эффективность замены спадает по экспоненциальному закону, и при значительном периметре контакта (более 1 метра) фактически не имеет целесообразности. Экспериментальные данные показывают, что максимально эффективно применение замещающих смесей для создания периметров контакта в диапазоне 0,4-1 м, при этом при расчете контура заземления необходимо использовать эквивалентное удельное сопротивление грунта вместо измеренного сопротивления исходного грунта.

Эквивалентное удельное сопротивление грунта с учетом замещения части грунта смесью можно определить, используя формулу, полученную на основе экспериментальных данных для однослойного грунта (1) и двухслойного грунта (2)

$$\rho_{\text{экв}} = \Psi \cdot \left( \rho_{\text{грунт}} \frac{1}{e^{1,3/P}} + \frac{20}{e^{4/P}} \right), \quad (1)$$

$$\rho_{\text{экв}} = \Psi \left( \frac{\rho_{1\text{грунта}} \cdot \rho_{2\text{грунта}} \cdot l}{\rho_{1\text{грунта}} (l - H + t) + \rho_{2\text{грунта}} (H - t)} \times \frac{1}{e^{1,3/P}} + \frac{20}{e^{4/P}} \right) \quad (2)$$

где  $\rho_{\text{экв}}$  – искомое эквивалентное удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$\rho_{\text{грунта}}$  – полученное в результате натуральных измерений удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$\Psi$  – коэффициент сезонности;

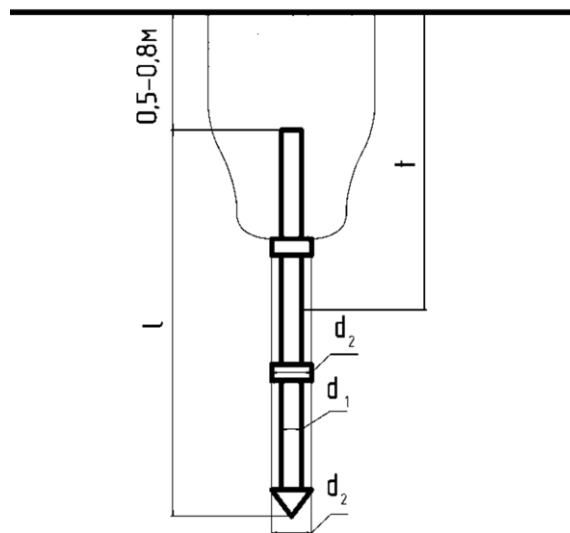
$H$  – глубина верхнего слоя грунта, м;

$t$  – глубина траншеи, м;

$l$  – длина вертикального заземлителя, м;

$P$  – периметр сечения замещающей смеси, м.

Схема размещения в грунте вертикального составного заземлителя представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2. Схема размещения в грунте вертикального составного заземлителя**

При использовании вертикальных составных заземлителей диаметром  $d_1=16$  мм, для их соединений применяются втулки и наконечники  $d_2=22$  мм (рис. 2). При забивании электрода, приток смеси проливается смесь, которая заполняет пустоты, образовавшиеся от муфт и наконечника (диаметр этих пустот, как правило, соответствует диаметру муфт и наконечника  $d_2$ ), а ближе к поверхности превышает их. Минимальный периметр контакта в таком случае  $P=\pi d \approx 0,069$  м, но на самом деле из-за вибраций периметр будет несколько больше, его нужно учесть при расчете эквивалентного удельного сопротивления грунта для вертикального электрода. Аналогично для горизонтальной полосы, размещенной в траншее шириной 0,2 м и засыпке полосы слоем 0,1 м смеси, периметр контакта смеси с исходным грунтом  $P=0,6$  м.

В случае использования вертикального составного заземлителя круглого сечения, заглубленного в землю (рис. 2) в условиях обработки смесью околоэлектродного пространства, уравнение для расчета сопротивления заземлителя примет вид:

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{экв}}}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d_{\text{экв}}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (3)$$

где  $l$  – длина вертикального заземлителя, м;

$d_{\text{экв}}$  – эквивалентный диаметр заземлителя, м;



$t$  – расстояние до середины длины вертикального стержня от поверхности грунта, м;

$d_{эkv}$  – эквивалентный диаметр заземлителя, м, определяется по формуле (4). Данная поправка корректирует вклад изменения удельного сопротивления грунта в околоэлектродном слое (объема, возникающего при прохождении соединительных муфт в грунте) при замещении грунта смесью с низким удельным сопротивлением.

$$d_{эkv} = d_{зaзем} \left( 1 + \frac{(d_{муфты} - d_{зaзем})}{d_{зaзем}} \cdot \frac{\rho_{эkv}}{\rho_{грунта\_изм}} \right), \quad (4)$$

где  $d_{эkv}$  – эквивалентный диаметр заземлителя, м;  
 $d_{зaзем}$  – диаметр стержня составного заземлителя, м;  
 $d_{муфты}$  – диаметр соединительной муфты, м;  
 $\rho_{эkv}$  – удельное эквивалентное сопротивление грунта с учетом всех коэффициентов, Ом·м;

$\rho_{грунта\_изм}$  – измеренное удельное сопротивление грунта, Ом·м.

При исследовании влияния смеси на коэффициент сезонности установлено, что при засыпке смесью горизонтальной полосы, коэффициент сезонности снижается на 18,7 % по сравнению с контрольным контуром, а в случае, если при забивании вертикальных электродов смесью обработано и их околоэлектродное пространство, то коэффициент сезонности снижается на 23,3 % по сравнению с контрольными значениями для необработанного контура.

Из полученных данных можно сделать вывод о том, что применение смесей на основе гидролизованного полиакрилонитрила наиболее эффективно при использовании с заземлителями, глубина заложения которых меньше глубины промерзания грунта, то есть находящимися в слоях грунта с наибольшими сезонными колебаниями, и будет расти при увеличении площади контакта таких заземлителей с грунтом, обработанным гидролизированным полиакрилонитрилом. Дополнительное уменьшение коэффициента сезонности для вертикальных составных заземлителей, по видимому, обусловлено влиянием смеси на их части, смонтированные вблизи поверхности грунта. Применение таких смесей позволит уменьшить капитальные затраты на монтаж заземляющих устройств в результате уменьшения количества заземлителей и размеров территории, на которой они располагаются.

### Заключение

Экспериментальные данные показали, что применение обработки грунта в местах заложения контуров заземления при их монтаже смесями на основе гидролизованного полиакрилонитрила, позволяет снизить сопротивление от 23 до 120 % такого контура заземления по сравнению с необработанным грунтом. Выполнение заземления в грунтах с высоким коэффициентом сезонности с применением гидролизованного полиак-

рилонитрила позволяет снизить сезонные колебания сопротивления до 23,3 %. К достоинствам применения такой обработки необходимо отнести более стабильные характеристики по сопротивлению заземления, снижение металлоемкости контуров заземления, что ведет к снижению затрат на монтаж и эксплуатацию. При продолжении данных исследований представляет интерес проведение анализа возможности добавления в смесь низко диспергированных проводящих веществ и ингибиторов коррозии, а также определение оптимального соотношения таких компонентов в составе смесей для оптимизации заземления.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемосдаточных испытаний: ТКП 339-2011(02230). – Введ. 23.08.2011. – Минск: Министерство энергетики Республики Беларусь, 2011. – 593 с.
2. Анодный заземлитель с токопроводящей оболочкой: пат. 2622548 РФ, МПК C23F 13/16 /Р.Р. Зиннатуллин; заявитель ООО «Евразия-строй» №2015151160; заявл. 27.11.2015; опубл. 16.06.2017 // Бюл. Федеральной службы по интеллектуальной собственности. – 2017. – №17. – С. 2-7.
3. Компоненты системы молниезащиты. Требования к смесям, нормализующим заземление: ГОСТ Р МЭК 62561-7-2016 . – Введ. 01.01.2018. – М.: Стандартинформ, 2018. – Ч. 7. – 12 с.
4. Грибанов, А.Н. Бипрон – заземление электроустановок / А.Н. Грибанов // Экспозиция Нефть Газ. – 2016. – № 4. – С. 72-75.
5. IEEE Std 142 -2007 IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems. – Approved 7 June 2007. – 225 pp.
6. Shi, L. A novel poly(glutamic acid)/silk-sericinhydrogel for wound dressing: Synthesis, characterization and biological evaluation. / Shi, L., Yang N., Zhang H., Chen L., Tao L., Wei Y., Liu H., Luo Y. // Materials Science and Engineering: C. –2009.– Vol. 48 (1).– P. 533–540.
7. Ширинов, Ш.Д. Исследование кинетики набухания синтезированных гидросорберов на основе гидролизованного полиакрилонитрила / Ш.Д. Ширинов, А.Т. Джалилов // Химия и биология. – 2018. – № 3 (45).

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 28.11.2019

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРА ДЛЯ ПОДОГРЕВА ВОДЫ В МЕХАНИЧЕСКИХ МАСТЕРСКИХ

**К.В. Гаркуша,**

*ассистент каф. энергетики БГАТУ*

**В.А. Коротинский,**

*зав. каф. энергетики БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**К.Э. Гаркуша,**

*декан факультета довузовской подготовки и профессиональной ориентации молодежи БГАТУ,  
канд. техн. наук, доцент*

**С.С. Нефедов,**

*ассистент каф. практической подготовки студентов БГАТУ*

*В статье рассмотрено конструктивное решение по повышению эксплуатационной надежности вакуумного гелиоколлектора, используемого для подогрева воды в механических мастерских. Данное решение позволяет избежать выхода из строя стеклянных труб под действием града и упростить эксплуатацию гелиоколлектора, исключив ручную очистку его поверхности от снега зимой и зашторивание летом.*

*Ключевые слова: механические мастерские, гелиоколлектор, защитное покрытие, регулируемая прозрачность.*

*A constructive solution to improve the operational reliability of a vacuum solar collector for water heating in mechanical workshops is considered in the article. This solution avoids the failure of glass pipes under the influence of hail and simplifies the operation of the solar collector, eliminating the manual cleaning of its surface from snow in winter and shading in summer.*

*Keywords: mechanical workshops, solar collector, protective coating, adjustable transparency.*

### Введение

Ограниченность в оборотных финансовых средствах и низкий кредитный рейтинг сельскохозяйственных организаций не позволяют в полной мере обеспечить своевременное оснащение и обновление машинно-тракторного парка. В связи с этим большая роль отводится сохранности существующей техники и подготовке ее к посевной и уборочной кампаниям. Обслуживание и ремонт техники осуществляются как в специализированных организациях агросервиса, так и в механических мастерских сельскохозяйственных организаций. При этом механические мастерские играют важную роль не только в обеспечении механизаторов средствами производства, но и в обеспечении комфортных и безопасных условий их работы. Условия работы, в свою очередь, оказывают существенное влияние на рост производительности труда.

При реализации Государственной программы развития аграрного бизнеса Республики Беларусь на 2016-2020 годы, согласно данным министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, в 2018 году производство продукции сельского хозяйства составило 96,6 % к 2017 году, а сводный целевой показатель производительности труда за 2018 год к 2017 году не выполнен и составил 99,2 %

при задании 106,3 % [1]. Немаловажную роль при выполнении этого показателя играет энерговооруженность труда, которая падает при ненадлежащих санитарно-гигиенических условиях работающих.

Основной состав помещений санитарного блока механических мастерских должен включать душевые, туалет, комнату личной гигиены женщин или кабину с душем, умывальные с умывальниками для мойки рук, помещение для приема пищи и отдыха. Душевые должны обеспечиваться кабинами с подводкой холодной и горячей воды питьевого качества [2]. В настоящий момент требование об обеспечении душевых горячей водой в большинстве сельскохозяйственных организаций не соблюдается. Это связано, как с отсутствием доступных источников теплоснабжения, так и экономией энергоресурсов, в первую очередь электроэнергии, которая чаще всего применяется для нагрева воды.

При выборе того или иного варианта теплоснабжения необходим критический анализ затрат на выработку единицы теплоты с учетом КПД, стоимостей теплового оборудования и топлива, эксплуатационных затрат, экологичности проекта [3].

Критический анализ энергетического оборудования, применяемого для нужд горячего водоснабже-

ния, показал, что наибольшую эффективность имеют гелиоколлекторы с вакуумными трубками. При этом их функционирование не лишено ряда недостатков, к которым относится выход из строя стеклянных труб под действием града, необходимость ручной очистки от наледи поверхности в холодное время года, а также необходимость зашторивания гелиоколлектора летом при отсутствии водоразбора.

Целью работы является разработка конструктивного решения по повышению надежности работы гелиоколлектора в механических мастерских и упрощению его эксплуатации.

### Основная часть

Гелиоколлекторы различных конструкций, как источники нагрева воды, широко применяются в индивидуальных жилых домах и личных подсобных хозяйствах. При этом предпочтение все больше отдается трубчатому вакуумному гелиоколлекторам, которые по сравнению с плоскими гелиоколлекторами, имеют такие преимущества, как более высокая эффективность в течение всего года, максимально возможный КПД в зимний период и универсальность. К тому же плоские гелиоколлекторы имеют такие недостатки, как сложность монтажа, связанная с необходимостью доставки на крышу собранного коллектора, наличие проблемы размножения бактерий и других микроорганизмов, которой нет в системах с вакуумными коллекторами, а также высокая парусность при установке на подставке.

В солнечные летние дни разница в работе хороших плоских и вакуумных солнечных коллекторов практически незаметна. Однако при низкой температуре окружающей среды преимущества вакуумных коллекторов становятся очевидны. В летнее время максимальная температура воды в плоских коллекторах находится в пределах 80-90 °С, в вакуумных коллекторах она может превышать 100 °С.

Вакуумные трубчатые гелиоколлекторы пока не нашли широкого применения для нужд механических мастерских. В первую очередь, это связано с тем, что, несмотря на внешнюю простоту гелиосистем, в процессе их эксплуатации возникает множество проблем, главной из которых является частый выход из строя вакуумных трубок, а также закипание находящегося в трубках антифриза, после чего последний теряет свои свойства. Ко всему прочему, необходимо очищать поверхность гелиоколлектора от снега и инея в зимний период, защищать от града весной и осенью.

С целью устранения указанных выше недостатков, предлагается оснастить гелиоколлектор электрифицированной защитной пленкой с регулируемой прозрачностью (рис. 1-4).

Гелиоколлектор крепится на высокопрочной раме 1, в которой располагаются трубы с черными поверхностями 2. Трубы размещаются соосно с вакуумными кольцевыми зазорами внутри светопрозрачных стеклянных труб 3, которые присоединены входами и выходами соответственно к распределительному и

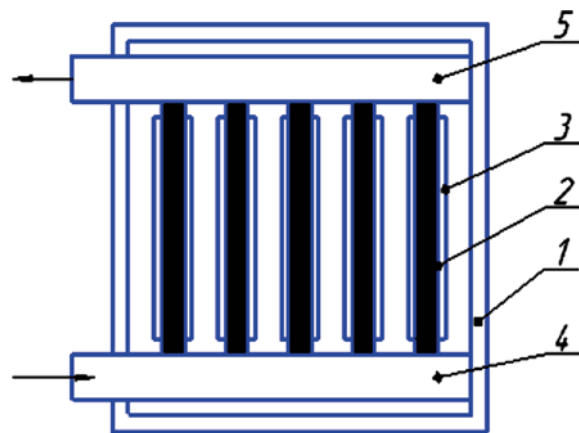


Рисунок 1. Общий вид гелиоколлектора

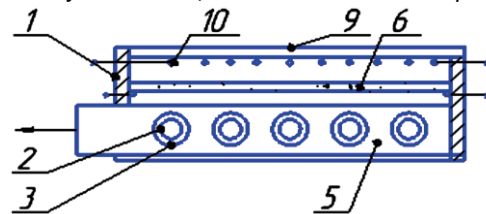


Рисунок 2. Вид гелиоколлектора сверху

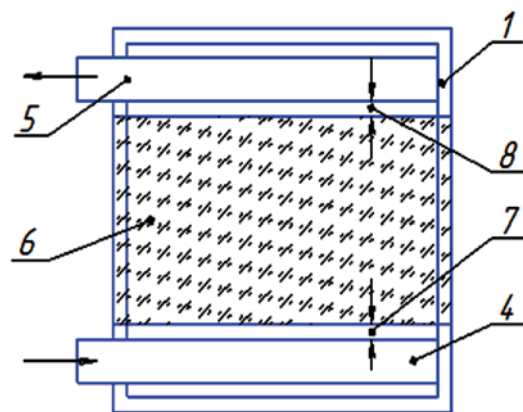


Рисунок 3. Схема крепления электрифицированной пленки

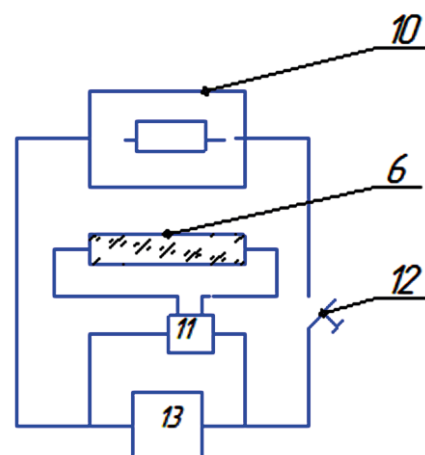


Рисунок 4. Электрическая схема управления работой пленки

собирающему коллекторам 4, 5 холодной и горячей воды. Защитное покрытие в виде электрифицированной пленки 6 прикрепляется к раме 1.

Работа гелиоколлектора осуществляется следующим образом.

В теплый период года при помощи регулятора 11 увеличивают напряжение, прикладываемое к пленке, и добиваются ее максимальной прозрачности, контролируя при этом температуру нагреваемой воды. Если температура воды превышает 90...95 °С, то прозрачность электрифицированной пленки уменьшают путем снижения напряжения.

В этом случае часть солнечного излучения преобразуется пленкой в тепловую энергию, которая нагревает наружный воздух, поступающий через поперечный зазор 7 в пространство между электрифицированной пленкой и светопрозрачным покрытием 9. Двигаясь в пространстве, воздух нагревается, и через поперечный зазор 8 поступает в окружающую среду.

Вторая часть солнечного излучения проходит через стеклянные трубы 3 и преобразуется черными поверхностями труб 2 в тепловую энергию, которая нагревает воду, движущуюся внутри труб. За счет уменьшения теплового излучения, поступающего на поверхность труб, предотвращается преобразование воды в пар. В теплый период года пленка защищает трубы от разрушения градом, и тем самым повышает надежность работы гелиоколлектора.

В холодный период года прозрачность электрифицированной пленки увеличивают путем повышения прикладываемого к ней напряжения. С целью повышения эффективности работы гелиоколлектора, удаления льда, снега и инея, осуществляют нагрев светопрозрачного покрытия до положительной температуры (2-10 °С). Для этого используют светопрозрачный электронагреватель 10, подключаемый к источнику электроэнергии 13 через коммутационный аппарат 12.

Таким образом, в процессе эксплуатации предложенного гелиоколлектора поставленная цель – повышение надежности работы и упрощение эксплуатации будет достигнута.

Для автоматизации процесса нагрева воды необходимо перейти от физической модели гелиоколлектора к математической модели. Сложность решения этой задачи состоит в том, что в рассматриваемой гелиосистеме параметры распределяются в зависимости от координаты. А математическое описание систем с распределенными параметрами основывается на дифференциальных уравнениях в частных производных, что усложняет синтез регуляторов для управления [4].

Существуют различные способы работы с такими системами. Некоторые из них основываются на непосредственном решении дифференциальных уравнений в частных производных, и уже дальнейшего синтеза управления для найденного решения. Такие способы, в большинстве своем, представляют лишь теоретический интерес и не могут быть реализованы в существующих системах автоматического регулирования. Это связано с их высокой вычислительной сложностью и сильной зависимостью от отклонений в исход-

ном математическом описании управляемого объекта [5]. Другой путь заключается в приближенном описании системы с распределенными параметрами в виде линейного обыкновенного дифференциального уравнения, либо системы обыкновенных дифференциальных уравнений. В основе замены дифференциальных уравнений в частных производных на обыкновенные дифференциальные уравнения лежат методы коллокации, Галеркина, конечных элементов [4, 5]. Такой подход позволяет лучше понять поведение управляемого объекта и использовать многочисленные разработанные методы синтеза регуляторов для систем с сосредоточенными параметрами.

Наиболее популярным способом работы с обыкновенными дифференциальными уравнениями, полученными либо на основе аппроксимации дифференциальных уравнений в частных производных, либо на основе фундаментальных законов физики, является использование преобразования Лапласа. Этот подход дает возможность перейти от обыкновенных дифференциальных уравнений к алгебраическим уравнениям, что значительно упрощает анализ и синтез системы управления. Далее рассмотрим пример системы с распределенными параметрами и возможность синтеза управления.

Примером системы с распределенными параметрами является коллекторная распределенная система на основе солнечных панелей (DCSF) [6]. Ее устройство состоит из металлической трубы, внутри которой находится теплоноситель, некоторая жидкость. Металлическая труба находится внутри коаксиальной стеклянной трубки, используемой для повышения теплопередачи. Ее работа основана на парниковом эффекте. Математическое описание DCSF выглядит следующим образом:

$$\frac{\partial}{\partial t} T(z, t) = -u \frac{\partial}{\partial z} T(z, t) + \alpha R(t), \quad (1)$$

где  $T(z, t)$  – температура жидкости (теплоносителя), К;

$u$  – скорость входящего потока жидкости (теплоносителя), м/с

$\alpha$  – коэффициент, связанный с эффективностью абсорбции тепловой энергии жидкостью, К/Дж;

$R(t)$  – мощность солнечной радиации, Вт.

Мощностью солнечной радиации можно пренебречь и работать только с уравнением вида:

$$\frac{\partial}{\partial t} T(z, t) = -u \frac{\partial}{\partial z} T(z, t). \quad (2)$$

Используя выражение (2), можно с помощью преобразования Лапласа получить передаточную функцию, описывающую систему с распределенными параметрами:

$$\frac{T(z, s)}{T(0, s)} = e^{-\frac{s}{u} z}, \quad (3)$$

где  $s$  – комплексная переменная,

$T(z,s)$  – температура жидкости на входе в трубу, К.

Выражение (3) можно упростить, используя ряды Тейлора и ограничиваясь первыми тремя членами ряда. Упрощенное выражение, удобное для анализа и синтеза управляющих законов, будет иметь вид:

$$\frac{T(z,s)}{T(0,s)} = \frac{1}{\frac{(zs)^3}{6u^3} + \frac{(zs)^2}{2u^2} + \frac{zs}{u} + 1}. \quad (4)$$

Передаточную функцию (4) при соответствующем выборе координаты  $z$  можно использовать для приблизительного изучения динамики и статики процесса передачи теплоты в распределенном коллекторе солнечной энергии.

Для более детального исследования необходимо учитывать и влияние солнечной радиации, и тепловые потери, связанные с взаимодействием с окружающей средой.

Систему автоматического управления можно рассматривать как комбинацию динамических звеньев (типовых и нетиповых). Каждое звено имеет определенное математическое описание, выраженное чаще всего в виде передаточной функции  $W(s)$ . Зная математическое описание звеньев и связи между ними, всегда можно получить математическое описание всей системы в целом.

#### Заключение

1. Эксплуатация гелиосистем требует квалифицированного обслуживания. В настоящее время в сельском хозяйстве отсутствуют сервисные организации, поэтому проектируемые гелиосистемы должны быть технически простыми и оборудованными системами автоматики.

2. Предложенная конструкция гелиоколлектора позволяет повысить его эксплуатационную надежность и использовать для подогрева воды в механических мастерских.

3. Автоматизация процесса нагрева воды в гелиоколлекторе позволит отказаться от обслуживающего персонала для исключения перегрева и вскипания рабочего вещества гелиоколлектора при отсутствии водоразбора.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. [Краткая информация о реализации Государственной программы развития агробизнеса Республики Беларусь на 2016–2020 гг.](https://www.mshp.gov.by/programms/e1e36fee4a2be4c3.html) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.mshp.gov.by/programms/e1e36fee4a2be4c3.html>. – Дата доступа: 11.10.2019.
2. Об утверждении Санитарных норм и правил. Требования к организациям, осуществляющим сельскохозяйственную деятельность: пост. Министерства здравоохранения Респ. Беларусь от 07.10.2019 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://minzdrav.gov.by/ru/dlya-spetsialistov/normativno-pravovaya-baza/tekhnicheskie-normativnye-pravovye-akty/index.php>. – Дата доступа: 11.10.2019.
3. Булчаев, Н.Д. Безопасность и экологичность проекта: учеб. пос / Н.Д. Булчаев, Ю.Н. Безбородов, Л.Н. Горбунова. – СФУ, 2015. – 96 с.
4. Рапопорт, Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами / Э.Я. Рапопорт. – М.: Высшая школа, 2003. – 299 с.
5. Radhakant Padhi, Sk. Faruque Ali. An account of chronological developments in control of distributed parameter systems // Annual Reviews in Control. – 2009. – № 33. – P. 59-68.
6. Lemos M. Joao, Neves-Silva Rui, Igreja M. Jose. Adaptive control of solar energy collector systems. Springer, 2014. – 253 p.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 11.12.2019

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

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

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

**Стоимость подписки на 1-е полугодие 2020 года: для индивидуальных подписчиков - 21,06 руб., ведомственная подписка - 24,51 руб.**

## СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВАЛЬЦОВЫХ ПЛЮЩИЛОК-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ С БЕЗДАТЧИКОВЫМ СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

**М.А. Прищепов,**

*профессор каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ, докт. техн. наук, доцент*

**В.А. Дайнеко,**

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

**Е.М. Прищепова,**

*ст. преподаватель каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ*

*В современных частотно-регулируемых асинхронных электроприводах (ЭП) используются, как правило, принципы блочно-модульного построения по типовым функциональным схемам скалярного и векторного управления. Поэтому проектирование систем автоматизированного ЭП сводится к определению его функциональной схемы и синтезу параметров регуляторов. В статье получены выражения, позволяющие определить параметры настройки регулятора скорости, а также передаточные функции частотно-регулируемого асинхронного электропривода с отрицательной обратной связью по скорости без датчика при скалярном управлении, обеспечивающие проведение оценки точности поддержания скорости электропривода в установившемся режиме и качество переходных процессов при набросе или сбросе нагрузки.*

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

*As a rule, the principles of block-modular construction according to typical functional schemes of scalar and vector control are used in modern frequency-controlled asynchronous electric drives (ED). Therefore, the design of automated ED systems is determining its functional scheme and synthesizing the parameters of regulators. The formula allowing to define the settings for the speed controller and the transmission of the frequency-regulated asynchronous electric drive with negative feedback on speed without sensor during scalar control when providing the assessment of the accuracy of maintaining the speed of the drive in the steady state and quality of transients at load surge or shedding are determined in the article.*

*Keywords: frequency-controlled electric drive, transfer functions, settings, control accuracy, scalar control, transient quality analysis.*

### Введение

Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы (ЧРАЭП) используют блочно-модульные принципы построения и реализуются по типовым функциональным схемам скалярного и векторного управления. Выбор способа управления, структуры его реализации и закона скалярного управления ЧРАЭП для конкретного производственного механизма определяется в основном требованиями к статическим и динамическим характеристикам электропривода (ЭП), а также условиями эксплуатации. Статические характеристики в основном определяются диапазоном регулирования скорости валцов и их механическими характеристиками в этом диапазоне регулирования. Динамические характеристики определяются в основном набросом нагрузки при мгновенном открытии нижней заслонки вертикальной шахты загрузки плющилки-измельчителя зерна.

Что касается условий эксплуатации вальцевых плющилок-измельчителей фуражного зерна, то их можно характеризовать высокой пыленностью и влажностью, а при определенных условиях – взрывоопасностью, когда создаются взрывоопасные концентрации взвешенной горючей пыли от измельченного фуражного зерна. При таких условиях эксплуатации производственного механизма целесообразно иметь систему частотно-регулируемого ЭП без датчиков скорости, что делает ее более надежной в реальных условиях эксплуатации. Использование системы управления без датчиков скорости обосновано также диапазоном регулирования скорости.

### Основная часть

По литературным данным [1, 2], жесткости рабочей части механической характеристики с включенными асинхронными двигателями (АД) достаточно для регулирования скорости в разомкнутой системе

скалярного ЧРАЭП в диапазоне 1:10. Для расширения диапазона регулирования в разомкнутой системе регулирования возможно использование корректировки вольт-частотной характеристики для IR-компенсации в области малых частот, как правило, меньших половины номинальной. Для расширения диапазона регулирования до 20...50 при скалярном управлении применяют модули коррекции  $U_d$  напряжения на шинах постоянного напряжения, IR-компенсации и компенсации сигнала по скорости (скольжению). Для еще большего расширения диапазона регулирования скорости до 120 в скалярных системах управления используют замкнутые системы с обратной связью по скорости [3].

Преобразователи частоты со скалярным управлением, как наиболее простые, могут также беспрепятственно использоваться в многодвигательных электроприводах (без обратной связи по скорости) для управления параллельно АД. Однако при этом необходимо решать вопросы распределения нагрузок, механически взаимосвязанных между собой, или работающих на общую нагрузку двигателей.

При необходимости, для систем регулирования ЭП при большем диапазоне регулирования скорости или жесткими требованиями к динамике, целесообразно применять системы векторного управления без датчиков скорости.

ЧРАЭП с векторным управлением без обратной связи по скорости может обеспечить диапазон регулирования скорости 1:20, с обратной связью по скорости, но без датчика скорости, в диапазоне 1:100...120, обеспечивая при этом высокие динамические показатели регулирования скорости [3]. Однако векторное управление не может использоваться для группы двигателей, включенных параллельно и питающихся от общего преобразователя частоты (ПЧ). В ПЧ с векторным управлением предусматривается возможность согласованного управления многодвигательного ЭП, механически взаимосвязанных между собой по нагрузке, или через обрабатываемый материал по принципу «ведущий-ведомый».

Обобщенная функциональная схема ЧРАЭП со скалярным управлением приведена на рисунке 1.

На схеме символом \* обозначены сигналы задания и управления и приняты следующие обозначения:

$f_{кс}, U_{км}$  – компенсационные сигналы управления соответственно в канале регулирования частоты и напряжения;

$\omega$  – фактическое значение угловой скорости вращения ротора АД;

ЗИС – задатчик интенсивности скорости вращения ротора АД с линейной или S-образной характеристикой;

РС – регулятор скорости;

ФНУ1 – формирователь напряжений управления двухфазным АД;

$$U_{\alpha}^* = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \sin 2\pi f, \quad U_{\beta}^* = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \cos 2\pi f; \quad (1)$$

ФНУ2 – преобразователь напряжений управления двухфазным двигателем в напряжения управления трехфазным АД;

БФ – блок формирования закона частотного регулирования.

Принцип организации скалярного частотного управления АД с короткозамкнутым ротором при питании от источника напряжения следует из структурной схемы обобщенной двухфазной машины в неподвижной системе координат  $\alpha$  и  $\beta$  [4]. Все физические переменные (напряжения, токи и потокосцепления) в этом случае рассматриваются как скалярные переменные. Характер согласования напряжения и частоты определяется законом частотного регулирования и задается отношением  $U/f$ . При этом управление осуществляется изменением  $U$  в функции частоты  $f$  без коррекции и компенсации или с коррекцией и (или) компенсацией напряжений и частоты. Так как система скалярного частотного управления будет использоваться без датчика скорости, то в обобщенной функциональной схеме (рис. 1) соответственно исключается отрицательная обратная по скорости  $\omega$  с блоком сравнения и регулятор скорости РС. С учетом этого функциональная схема системы скалярного частотного управления АД без датчика скорости приведена на рисунке 2. Аналогичную функциональную схему со скалярным управлением без датчика скорости имеют ПЧ фирмы Siemens [2].

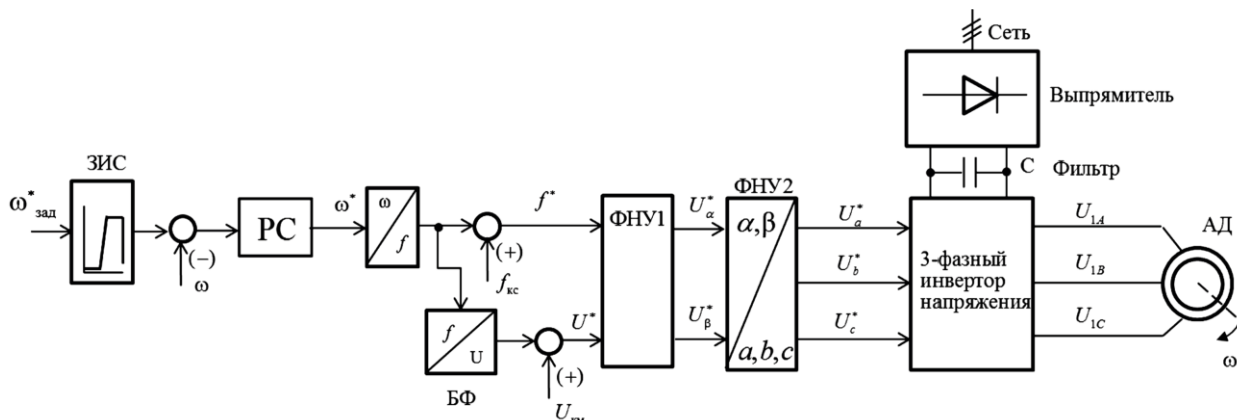
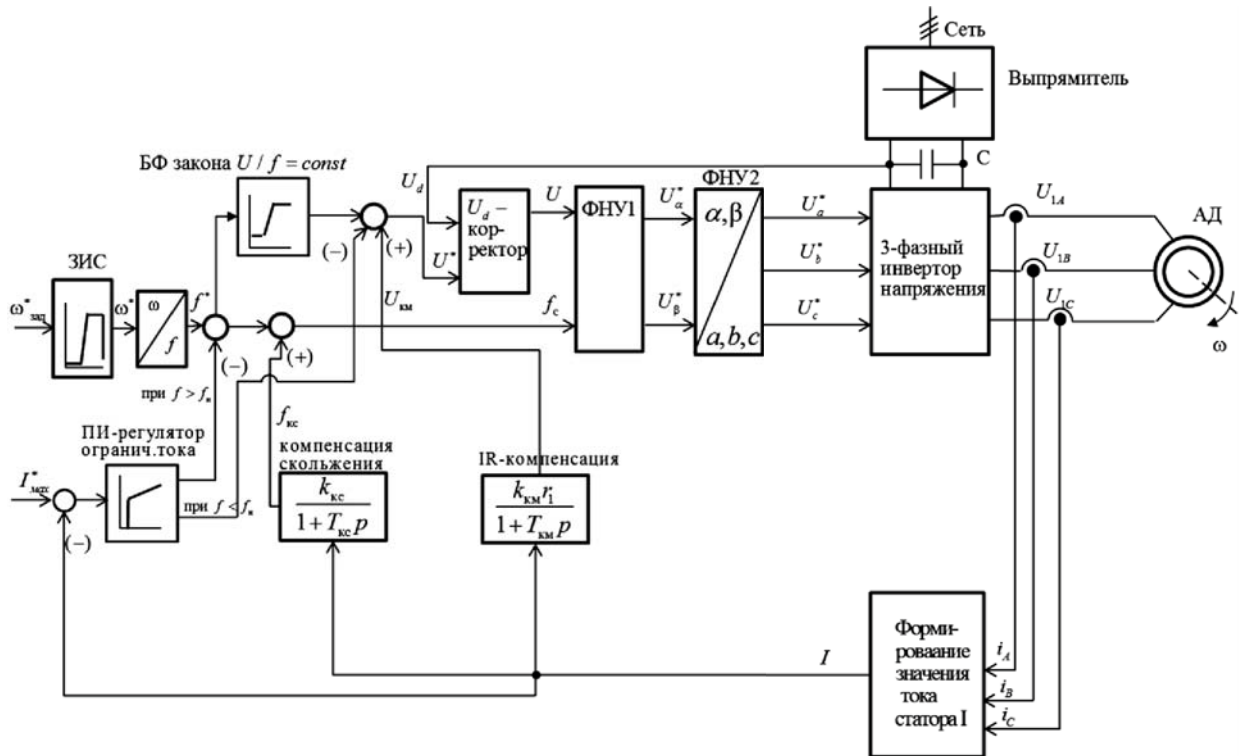


Рисунок 1. Обобщенная функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением [2]



**Рисунок 2. Функциональная схема системы скалярного частотного управления асинхронными электроприводами без датчика скорости со скалярной компенсацией момента (IR – компенсация) и скольжения**

В приведенной функциональной схеме используются модули  $U_d$  – коррекции напряжения на шинах постоянного напряжения и  $IR$  – компенсации. В результате достигается компенсация уменьшения момента двигателя для нагрузок с постоянным моментом сопротивления, а также увеличение пускового момента двигателя.

Компенсация падения напряжения на активном сопротивлении статора  $r_1$  возможна как скалярная, так и векторная. При скалярной  $IR$  – компенсации сигнал управления  $U^*$  является суммой сигналов регулирования  $U_f$  и положительной обратной связи по току  $U_{км}$ :

$$U^* = U_f + U_{км} = U_f + k_{км} r_1 I, \quad (2)$$

где  $k_{км}$  – коэффициент положительной обратной связи по току;

$I$  – значение тока статора, пропорциональное действующим значениям токов обмоток статора АД, А.

Сигнал управления  $U^*$  является входным для формирователя напряжений управления двухфазным АД ФНУ1, на выходе которого формулируются напряжения управления двухфазным АД  $U_\alpha^*$  и  $U_\beta^*$ .

Принцип действия системы скалярного частотного управления асинхронным ЭП с положительной обратной связью по току заключается в том, что при увеличении момента на валу АД увеличится и значение тока статора  $I$ , а соответственно, и компенсационный сигнал управления, компенсирующий напря-

жение положительной обратной связи  $U_{км}$ , в канале регулирования напряжения, вычисляемое по входному току  $I$  звеном с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{k_{км} r_1}{1 + T_{км} p}, \quad (3)$$

где  $T_{км}$  – постоянная времени задержки контура тока, с.

С ростом компенсационного сигнала возрастает и сигнал управления  $U^*$ , что приводит к росту напряжения питания статора АД и увеличению его критического момента, пропорционального квадрату напряжения питания статора –  $M_k \equiv U_1^2$ . В результате действия положительной обратной связи ЭП формирует механическую характеристику замкнутой системы, жесткость которой определяется коэффициентом  $k_{км}$ .

Для формирования сигнала положительной обратной связи по току статора могут использоваться по одному или в комбинации модуль тока статора  $|I|$ , его активная составляющая, ток  $I_d$  в звене постоянного тока.

У большинства серийно выпускаемых ПЧ значения тока статора, пропорциональное действующим значениям токов обмоток статора АД, снимается с трех резистивных шунтов, включенных по одному в фазы переменного тока инвертора напряжения. Однако, если через обмотки статора АД протекают одинаковые токи, то есть если через них не протекают токи нулевой последовательности, то достаточно использования двух резистивных шунтов, а ток в третьей



фазе, например, В, можно определить через токи фаз А и С.

$$\vec{i}_B = -(\vec{i}_A + \vec{i}_C), \quad (4)$$

где  $i_A, i_B, i_C$  – мгновенные значения токов в соответствующих фазах, А.

При скалярной  $IR$  – компенсации меняется только модуль напряжения питания обмоток статора АД без изменения его фазового угла, что приводит к непостоянству векторов ЭДС и потокосцепления статора АД [1].

Если напряжения управления  $U_{ya}, U_{yb}$  и  $U_{yc}$  напряжением фаз статора  $U_{1A}, U_{1B}$  и  $U_{1C}$  формируются сложением соответствующих напряжений задания  $U^*_A, U^*_B$  и  $U^*_C$  и сигналов  $i_a r_1 k_{KM}, i_b r_1 k_{KM}$  и  $i_c r_1 k_{KM}$ , вводимых с целью компенсации падения напряжения в фазах АД, то такое управление называется скалярным частотным управлением с векторной  $IR$  – компенсацией. Векторное сложение сигналов производится во временной области, то есть суммируются сигналы переменного напряжения [1]:

$$\vec{U}_{yi} = U_i^* + \vec{i}_i r_1 k_{KM}, \quad (5)$$

где  $\vec{U}_{yi}$  – вектор напряжения управления  $i$ -ой фазой автономного инвертора напряжения, В;

$U_i^*$  – вектор напряжения задания  $i$ -ой фазы, В;

$\vec{i}_i$  – ток  $i$ -ой фазы АД, А.

Функциональная схема системы скалярного частотного управления асинхронным электроприводом без датчика скорости с векторной  $IR$  – компенсацией приведена на рисунке 3.

При векторной  $IR$  – компенсации векторы ЭДС и потокосцепления обмоток статора АД остаются постоянными при изменении нагрузки, а модуль вектора напряжения и его фазовый угол меняются. Постоянство вектора потокосцепления обмоток статора АД способствует устойчивой работе ЭП. В ЭП с микропроцессорным управлением векторная  $IR$  – компенсация дополнительной настройки, как правило, не требует, то есть при выборе такого закона регулирования настройка производится по заложенной в ЭП программе автоматически [1]. Там, где требуется настройка  $IR$  – компенсации, теоретически коэффициент положительной обратной связи по току  $k_{KM}$  может иметь максимальное значение, равное 1 (при этом происходит полная  $IR$  – компенсация), что вытекает из формулы эквивалентного активного сопротивления обмотки статора  $r_{1ЭКВ}$ , которое далее используется в расчетах характеристик АД вместо активного сопротивления обмоток статора  $r_1$ :

$$r_{1ЭКВ} = r_1 - k_{KM} r_1.$$

Учитывая, что  $r_{1ЭКВ} \geq 0$ , то  $k_{KM}$  может при полной компенсации принимать максимальное значение, равное 1. Однако из теоретических и экспериментальных исследований известно, что, чем больше коэффициент положительной обратной связи по току, тем больше будет колебательность электромагнитного момента электродвигателя, как на начальном, так и на конечном участке переходного процесса. Поэтому при окончательной настройке ЭП эту колебательность при необходимости уменьшают уменьшением  $k_{KM}$  и (или) увеличением постоянной времени задерж-

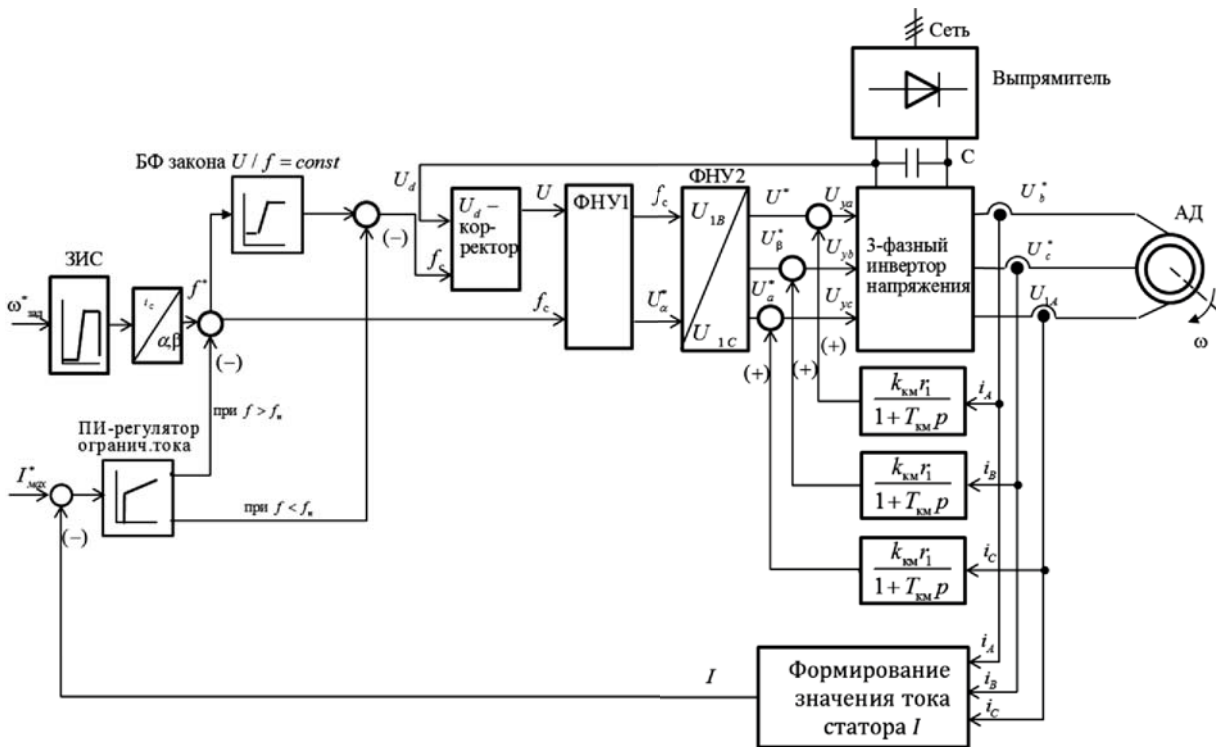


Рисунок 3. Функциональная схема системы скалярного частотного управления асинхронными электроприводами без датчика скорости с векторной  $IR$  – компенсацией

ки контура тока  $T_{км}$ .

Стандартная постоянная времени задержки контура тока  $T_{км}$ , устанавливаемая в заводской настройке фирм ABB, HITACHI, Siemens, Веспер, и составляет 0,02 с, хотя время достаточное для определения мгновенного значения тока статора АД с современными контроллерами составляет  $T_{км}=0,001$  с.

Уменьшение коэффициента положительной обратной связи по току  $k_{км}$  обусловлено также и тем, что при снижении частоты напряжения питания обмоток статора при полной IR-компенсации возрастет ток намагничивания АД, а соответственно, и его поток намагничивания (возбуждения) двигателя. Поэтому для стабилизации потока возбуждения, по мере уменьшения частоты напряжения питания обмоток статора, коэффициент положительной обратной связи по току  $k_{км}$  уменьшают до 0,7 и менее.

Для ограничения момента двигателя в пуско-тормозных режимах электропривода механизмов, применяется задатчик интенсивности скорости ЗИС с линейной или S-образной характеристикой, который устанавливается на входе САР в контуре задания скорости. При больших кратковременных перегрузках в САР ЭП предусмотрен модуль ограничения максимально допустимого тока ЭП. Выходной сигнал регулятора ограничения тока воздействует на напряжение и частоту статора, чтобы одновременно с ограничением тока производилось и ограничение момента АД на допустимом уровне при двузонном регулировании скорости АД, так как при скорости, выше номинальной, напряжение двигателя остается равным номинальному. При этом длительно и кратковременно допустимые моменты двигателя должны быть уменьшены на скоростях выше номинальных.

Модули IR-компенсации и компенсации скольжения имеют положительные обратные связи в контурах регулирования амплитуды и частоты напряжения статора АД и используются только в области скоростей двигателя ниже номинальных. Ограничение тока двигателя пропорционально-интегральным регулятором ограничения тока исключает аварийное отключение ЭП средствами защитной аппаратуры при кратковременных перегрузках.

Для расширения диапазона регулирования асинхронного ЭП используется модуль компенсации скольжения, так как сигналом тока можно воздействовать как на канал напряжения, так и на канал частоты (рис. 2). При одновременном воздействии на каналы частоты (компенсация скольжения) и компенсации момента, поддержание скорости на требуемом уровне можно обеспечить при меньших значениях напряжения обмоток статора АД. Модуль компенсации скольжения работает аналогично, как и модуль IR – компенсации. При увеличении момента на валу АД увеличивается и значение тока статора I, пропорциональное действующим значениям токов обмоток статора.

При этом одновременно с увеличением напряжения положительной обратной связи  $U_{км}$ , увеличивается сигнал положительной обратной связи по частоте  $f_{кс}$ , вычисляемой звеном с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{k_{кс}}{1 + T_{кс}p}, \quad (6)$$

где  $k_{кс}$  – коэффициент компенсации скольжения (коэффициент положительной обратной связи по току в канале регулирования частоты), Гц/А;

$T_{кс}$  – постоянная времени задержки контура компенсации скольжения, с.

Постоянную времени задержки контура компенсации скольжения  $T_{кс}$  можно приравнять постоянной времени задержки контура тока  $T_{км}$ , так как они оба получают сигнал тока I от одного и того же блока формирования значения тока статора.

С ростом сигнала положительной обратной связи по току возрастает, как сигнал управления  $U^*$  канала напряжения, что приводит в конечном итоге к росту напряжения питания обмоток статора АД, так и сигнала управления  $f_c = f^* + f_{кс} = f^* + k_{кс}I$  канала частот, что приводит к росту частоты напряжения питания обмоток статора.

Из работы [5] известно, что системы управления ЭП с компенсацией частоты являются чувствительными к параметрам настроек и при сильной положительной обратной связи  $k_{кс}$  могут оказаться неустойчивыми. Для повышения устойчивости системы управления ЭП при использовании компенсации момента и скольжения целесообразно компенсацию момента использовать только в зоне низких значений частот напряжения питания обмоток статора АД. Поэтому с ростом задающей частоты  $f^*$  коэффициент  $k_{км}$  можно значительно уменьшить вплоть до нуля, изменяя его, например, в функции  $f^*$ .

Для расширения диапазона регулирования скорости до 120 возможно использование функциональной схемы системы скалярного частотного управления асинхронным электроприводом с бездатчиковой обратной связью по скорости (рис. 4).

В приведенной функциональной схеме используется динамическая модель АД в неподвижной системе координат  $\alpha$  и  $\beta$  для вычисления угловой скорости ротора АД.

Тогда, попарно, из уравнений третьего и первого, четвертого и второго системы уравнений (21) статьи [4] выразим, соответственно, составляющие вектора потокосцепления ротора  $\Psi_2$ :

$$\Psi_{2\alpha} = \frac{k_2 L_m - T_2 r_2 (T_3 p + 1)}{k_2 T_2 p} I_{1\alpha} + \frac{1}{k_2 p} U_{1\alpha}; \quad (7)$$

$$\Psi_{2\beta} = \frac{k_2 L_m - T_2 r_2 (T_3 p + 1)}{k_2 T_2 p} I_{1\beta} + \frac{1}{k_2 p} U_{1\beta}, \quad (8)$$

где  $\Psi_{2\alpha}, \Psi_{2\beta}$  – составляющие потокосцепления ротора в неподвижной системе координат  $\alpha, \beta$ , Вб;  
 $L_m$  – результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, Гн;

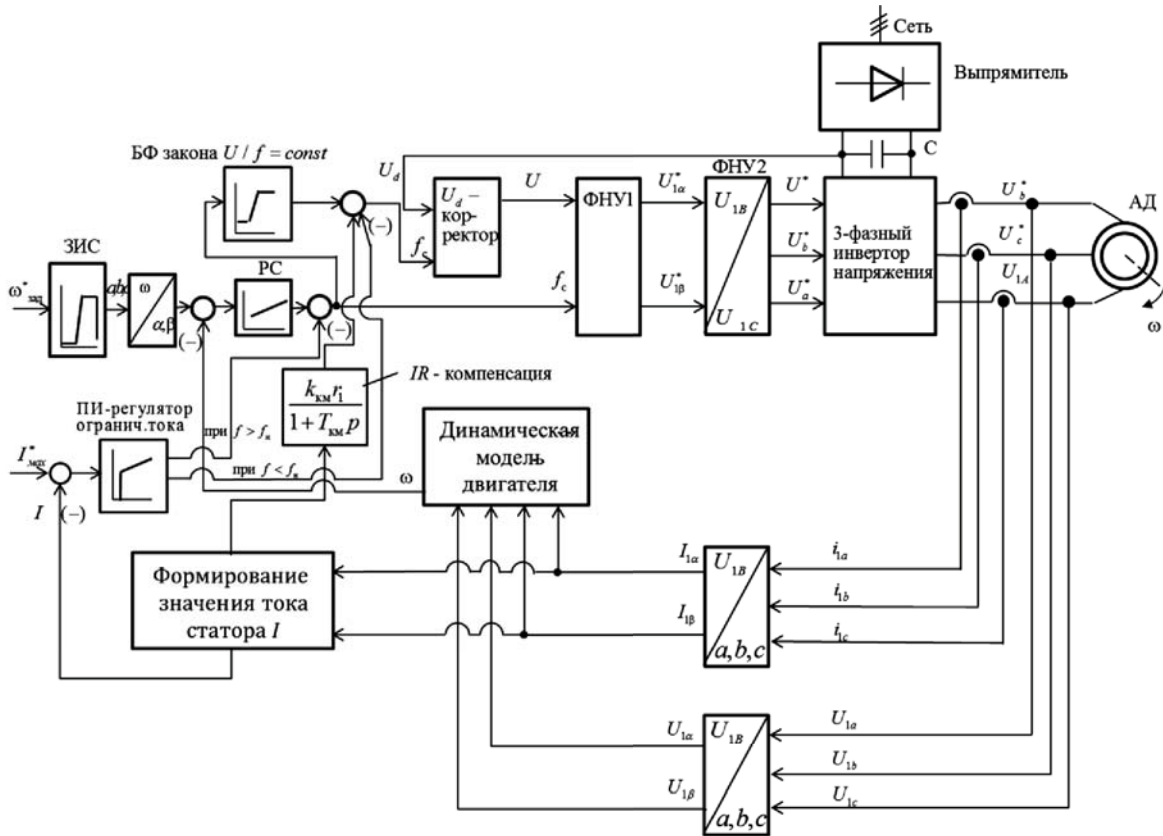


Рисунок 4. Функциональная схема системы скалярного частотного управления асинхронными электроприводами с бездатчиковой обратной связью по скорости

$U_{1\alpha}, U_{1\beta}, I_{1\alpha}, I_{1\beta}$  – напряжения и токи статора в системе координат  $\alpha, \beta$ , В, А;

$r_3$  – эквивалентное сопротивление обмоток АД, Ом,

$T_3$  – эквивалентная электромагнитная постоянная времени, с;

$T_2$  – электромагнитная постоянная времени цепи ротора, с;

$k_2$  – коэффициент электромагнитной связи ротора.

Угловую скорость ротора АД  $\omega$  при известных составляющих потокосцепления ротора  $\Psi_{2\alpha}$  и  $\Psi_{2\beta}$  определим из третьего или четвертого уравнений системы (21) [4]:

$$\omega = \frac{L_m I_{1\alpha} - (T_2 p + 1) \Psi_{2\alpha}}{T_2 p \Psi_{2\beta}} = \frac{(T_2 p + 1) \Psi_{2\beta} - L_m I_{1\beta}}{T_2 p \Psi_{2\alpha}} \quad (9)$$

На основании этих уравнений разработана структурная схема устройства для вычисления изменяющейся угловой скорости ротора АД  $\omega$  в неподвижной системе координат  $\alpha, \beta$  по мгновенным значениям тока и напряжения обмоток статора АД (рис. 5).

Далее на основании функциональной схемы системы скалярного частотного управления асинхронного электропривода (рис. 4), структурной схемы АД в неподвижной системе координат  $\alpha, \beta$  (рис. 2) [4], а

также структурной схемы устройства вычисления угловой скорости ротора АД  $\omega$  в неподвижной системе координат  $\alpha$  и  $\beta$  (рис. 5) представим разработанную структурную схему частотно-регулируемого асинхронного электропривода с отрицательной обратной связью по скорости  $\omega$  без датчика при скалярном управлении (рис. 6).

На рисунке 6 приняты следующие, ранее не встречающиеся обозначения физических величин:

$W_{psc}(p)$  – передаточная функция регулятора скорости скалярного;

$$K_{и} = \frac{\sqrt{2} U_{н}}{U_{уп.макс}} \quad \text{– коэффициент усиления преобразователя частоты,}$$

где  $U_{уп.макс}$  – максимальное значение напряжения управления, В. Принимаем  $U_{уп.макс} = 10$  В;

$$T_{и} = \frac{0,5}{f_{шмм}} \quad \text{– эквивалентная постоянная времени преобразователя частоты, с,}$$

где  $f_{шмм}$  – несущая частота инвертора ПЧ, Гц;

$$K_c = \text{коэффициент обратной связи по скорости, } \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}};$$

$r_1$  – активное сопротивление обмоток статора АД, Ом;

$p$  – количество пар полюсов обмоток статора, шт;

$J_3$  – эквивалентный момент инерции ЭП,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

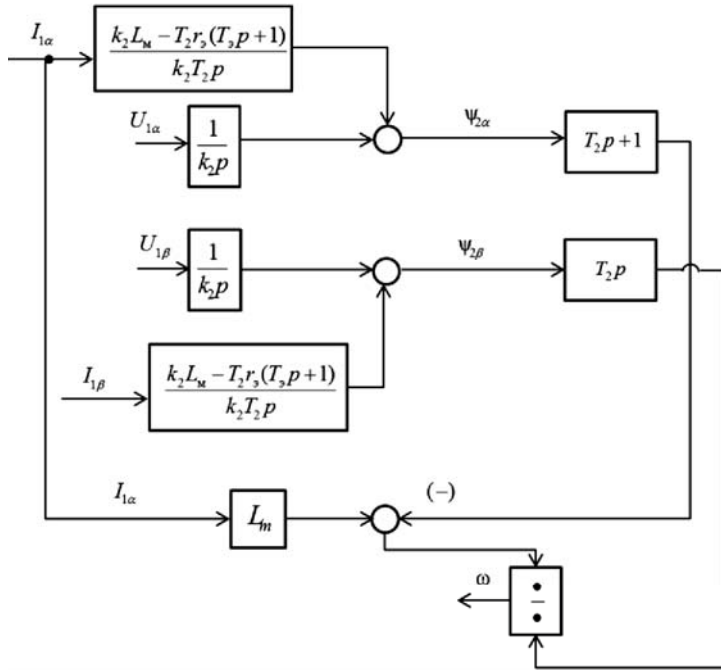


Рисунок 5. Структурная схема устройства вычисления угловой скорости ротора АД  $\omega$  в неподвижной системе координат  $\alpha$  и  $\beta$

$U_n$  – номинальное фазное напряжение питающей сети, В.

$$T_{co} = \frac{T_{cc}}{3} \text{ – постоянная времени за}$$

паздывания в цепи обратной связи по скорости, с;

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

(измерения) скорости, с. Принимаем количество расчетов (измерений)  $n_c \geq 3$ .

Синтез параметров регулятора скорости для приведенной структурной схемы произведем, настраивая контур скорости на модульный оптимум (МО). Разомкнутый контур скорости, при настройке на МО, должен иметь следующую передаточную функцию:

$$W_{moc}(p) = \frac{1}{a_{\mu cc} T_{\mu cc} p (T_{\mu cc} p + 1)}, \quad (10)$$

где  $a_{\mu cc} = 1 \dots 6$  – коэффициент настройки на модульный оптимум контура скорости;

$a_{\mu cc} = 2$  – стандартный коэффициент настройки;

$T_{\mu cc}$  – малая постоянная времени

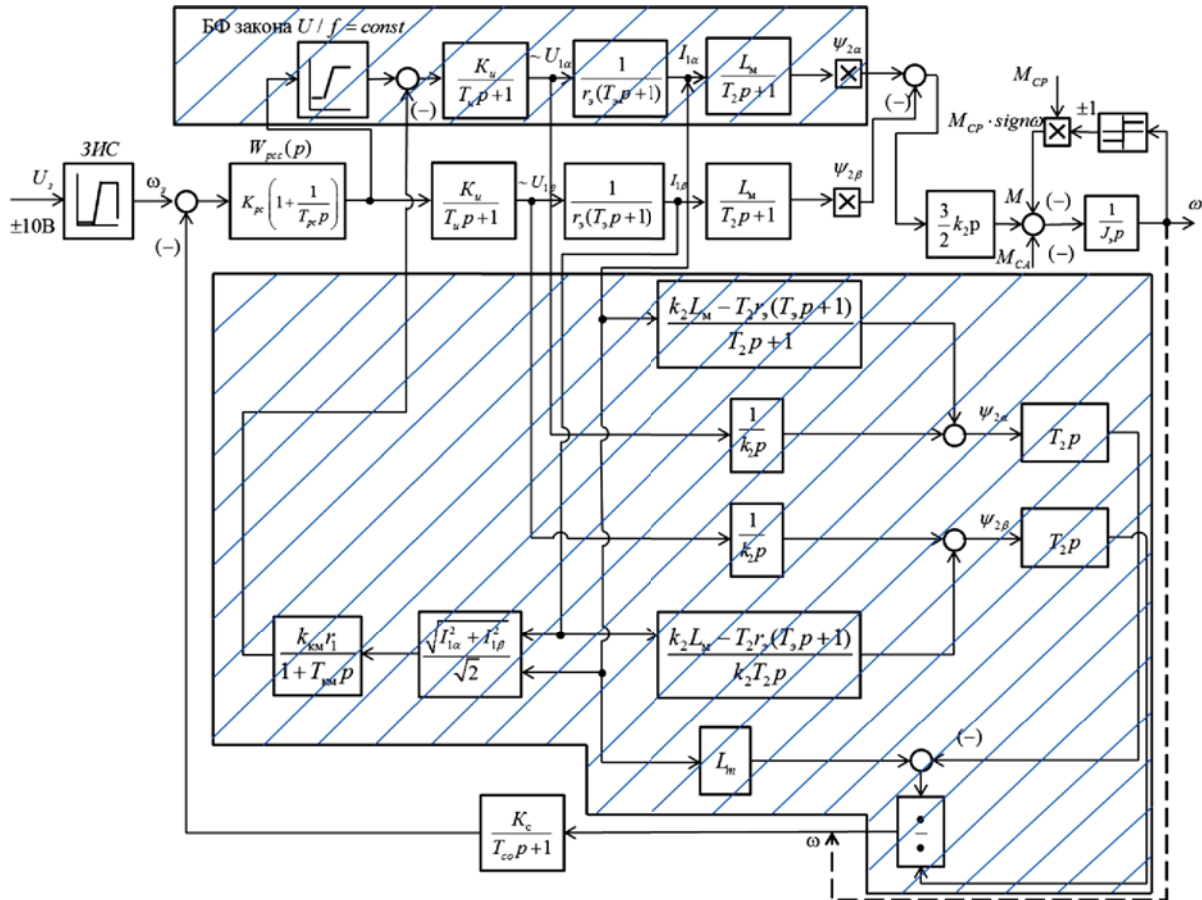


Рисунок 6. Структурная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода с отрицательной обратной связью по скорости  $\omega$  без датчика при скалярном управлении

настраиваемого контура скорости, с.

Так как в системе координат  $\alpha, \beta$   $U_{1\alpha}$  синусоидальная, а  $U_{1\beta}$  – косинусоидальная по форме составляющие напряжения статора АД, то в силу симметрии структурной схемы АД и составляющие токов статора  $I_{1\alpha}, I_{1\beta}$  и ротора  $I_{2\alpha}, I_{2\beta}$  будут также синусоидальными и косинусоидальными. Следовательно, проекции токов, попарно, одна будет иметь максимальную амплитуду, а вторая равную нулю и наоборот. Согласно формуле (4) [4], потокосцепление ротора будет равно сумме произведений соответствующих проекций токов и индуктивностей. Тогда согласно правилам преобразования звеньев структурных схем, звенья каналов перед суммирующим узлом заменим одним суммарным звеном после него, то есть в структурной схеме (рис. 6) исключим блоки  $\frac{L_M}{T_2 p + 1}$ ,

а вместо них в блок  $\frac{3}{2} K_2 p$  дополнительно введем

суммарное потокосцепление ротора  $\Psi_2$ . В структурной схеме регулятора скорости имеется блок формирования (БФ) закона  $U/f$ , обеспечивающий заданное поддерживание отношения  $U/f$  в первой зоне регулирования скорости, когда частота напряжения обмоток статора не превышает частоты напряжения питающей сети и постоянство питающего напряжения обмоток статора при частоте, превышающей частоту напряжения питающей сети.

После такой замены передаточная функция разомкнутого контура скорости рассматриваемой структурной схемы (рис. 6) определится следующим образом:

$$W_{ксс}(p) = W_{рсс}(p) \cdot \frac{K_{и}}{T_{и}p + 1} \cdot \frac{1/r_3}{T_3 p + 1} \cdot \frac{K_M}{J_3 p} \cdot \frac{K_c}{T_{со}p + 1}, \quad (11)$$

где  $K_M = \frac{3}{2} K_2 p \Psi_2$  – коэффициент момента АД, Вб;

$\Psi_2$  – суммарное потокосцепление ротора АД, Вб.

Для упрощения решения, понизим порядок передаточной функции контура скорости. Для этого найдем суммарную малую постоянную времени контура скорости  $T_{см} = T_{и} + T_3 + T_{со}$ . Тогда выражение (11) примет следующий вид:

$$W_{ксс}(p) = W_{рсс}(p) \cdot \frac{K_{и} \cdot 1/r_3 \cdot K_M \cdot K_c}{T_{см}p + 1} \cdot \frac{1}{J_3 p}. \quad (12)$$

Приравняв правые части выражений (10), (12) и решая полученное уравнение относительно переда-

точной функции регулятора скорости, после преобразований получим

$$W_{рсс}(p) = \frac{1}{a_{\mu cc} T_{\mu cc} p (T_{\mu cc} p + 1)} \cdot \frac{(T_{см} p + 1) \cdot J_3 \cdot p}{K_{и} \cdot 1/r_3 \cdot K_M \cdot K_c}. \quad (13)$$

Если приравнять постоянные времени  $T_{см} = T_{\mu cc}$ , то регулятор скорости будет иметь передаточную функцию

$$W_{рсс}(p) = \frac{J_3 r_3}{a_{\mu cc} T_{см} \cdot K_{и} \cdot K_M \cdot K_c} = K_{рсс}. \quad (14)$$

Таким образом, при настройке контура скорости на МО регулятор скорости будет пропорционального типа, то есть П-регулятор с коэффициентом  $K_{рсс}$ .

Передаточная функция разомкнутого контура регулирования скорости тогда будет равна

$$\begin{aligned} W_{раз.сс}(p) &= W_{рсс}(p) \cdot \frac{K_{и}}{T_{и}p + 1} \cdot \frac{1/r_3}{T_3 p + 1} \cdot \frac{K_M}{J_3 p} \cdot \frac{K_c}{T_{со}p + 1} = \\ &= \frac{J_3 r_3}{a_{\mu cc} T_{см} \cdot K_{и} \cdot K_M \cdot K_c} \cdot \frac{K_{и}}{T_{и}p + 1} \cdot \frac{1/r_3}{T_3 p + 1} \cdot \frac{K_M}{J_3 p} \cdot \frac{K_c}{T_{со}p + 1} = \\ &= \frac{1}{a_{\mu cc} T_{см} \cdot T_{и} \cdot T_3 \cdot T_{со} \cdot p^4 + a_{\mu cc} T_{см}^3 \cdot p^3 + a_{\mu cc} T_{см}^2 \cdot p^2 + a_{\mu cc} T_{см} p}. \quad (15) \end{aligned}$$

Далее определим передаточную функцию замкнутого контура по управлению для регулирования скорости

$$\begin{aligned} W_{зам.сс}(p) &= \frac{1}{W_{со}(p)} \cdot \frac{W_{раз.сс}(p)}{1 + W_{раз.сс}(p)} = \\ &= \frac{1/K_c \cdot (T_{со}p + 1)}{a_{\mu cc} T_{см} \cdot T_{и} \cdot T_3 \cdot T_{со} \cdot p^4 + a_{\mu cc} T_{см}^3 \cdot p^3 + a_{\mu cc} T_{см}^2 \cdot p^2 + a_{\mu cc} T_{см} p + 1} \approx \\ &\approx \pi \frac{1/K_c \cdot (T_{со}p + 1)}{a_{\mu cc} T_{см}^3 \cdot p^3 + a_{\mu cc} T_{см}^2 \cdot p^2 + a_{\mu cc} T_{см} p + 1}. \quad (16) \end{aligned}$$

Для анализа реакции контура скорости на возмущающее воздействие, т.е. наброс или сброс нагрузки  $\Delta M_c$ , определим передаточную функцию замкнутого контура скорости по возмущению

$$W_{зам.всс}(p) = \frac{\omega(p)}{-M_c} = \frac{W_{об.м}(p)}{1 + W_{раз.сс}(p)}, \quad (17)$$

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

Тогда

$$W_{\text{зам.всс}}(p) = \frac{(1/J_3) \cdot p}{1 + \frac{a_{\text{мсс}} T_{\text{см}} \cdot T_{\text{и}} \cdot T_{\text{э}} \cdot T_{\text{со}} \cdot p^4 + a_{\text{мсс}} T_{\text{см}}^3 \cdot p^3 + a_{\text{мсс}} T_{\text{см}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{мсс}} T_{\text{см}} p}{(1/J_3) \cdot a_{\text{мсс}} T_{\text{см}} (T_{\text{и}} \cdot T_{\text{э}} \cdot T_{\text{со}} \cdot p^3 + T_{\text{см}}^2 \cdot p^2 + T_{\text{см}} p + 1)}} = \frac{(1/J_3) \cdot a_{\text{мсс}} T_{\text{см}} (T_{\text{и}} \cdot T_{\text{э}} \cdot T_{\text{со}} \cdot p^3 + T_{\text{см}}^2 \cdot p^2 + T_{\text{см}} p + 1)}{a_{\text{мсс}} T_{\text{см}} \cdot T_{\text{и}} \cdot T_{\text{э}} \cdot T_{\text{со}} \cdot p^4 + a_{\text{мсс}} T_{\text{см}}^3 \cdot p^3 + a_{\text{мсс}} T_{\text{см}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{мсс}} T_{\text{см}} p + 1} \quad (18)$$

В тех случаях, когда электропривод с П-регулятором скорости не обеспечивает заданных показателей статической погрешности механических характеристик в принятом диапазоне регулирования скорости, контур скорости следует настраивать на симметричный оптимум (СО).

Тогда правую часть передаточной функции разомкнутого контура рассматриваемой схемы (рис. 6) выражение (12) приравнивают к правой части выражения типовой передаточной функции разомкнутого контура, настроенного на СО

$$W_{\text{рсс}}(p) = \frac{b_c \cdot a_c \cdot T_{\text{мсс}} p + 1}{a_{\text{сс}} \cdot T_{\text{мсс}}^2 p^2 (T_{\text{мсс}} p + 1)} = \frac{4T_{\text{мсс}} p + 1}{a_{\text{сс}} \cdot T_{\text{мсс}}^2 p^2 (T_{\text{мсс}} p + 1)}, \quad (19)$$

где  $b_c \cdot a_c = 4$ , так как коэффициенты оптимизации  $b_c = a_c = 2$ ;

$a_{\text{сс}} = 4 \dots 16$  – коэффициент настройки контура скорости на симметричный оптимум;

$a_{\text{сс}} = b_c \cdot a_c^2 = 8$  – стандартный коэффициент настройки, так как коэффициенты оптимизации  $b_c = a_c = 2$ ;

$T_{\text{мсс}}$  – малая постоянная времени настраиваемого контура скорости, с.

Решая полученное равенство относительно передаточной функции регулятора скорости, получим

$$W_{\text{рсс}}(p) = \frac{4T_{\text{мсс}} p + 1}{a_{\text{сс}} \cdot T_{\text{мсс}}^2 p^2 (T_{\text{мсс}} p + 1)} \cdot \frac{(T_{\text{см}} p + 1) \cdot J_3 \cdot p}{K_{\text{и}} \cdot 1 / r_3 \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{с}}} \quad (20)$$

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

$$W_{\text{рсс}}(p) = \frac{(4T_{\text{см}} p + 1) \cdot J_3 \cdot r_3}{a_{\text{сс}} \cdot T_{\text{см}}^2 \cdot p \cdot K_{\text{и}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{с}}} \quad (21)$$

Разделив числитель полученного выражения на его знаменатель, получим

$$W_{\text{рсс}}(p) = K_{\text{рсс}} + \frac{1}{T_{\text{рсс}} \cdot p}, \quad (22)$$

где  $K_{\text{рсс}} = \frac{4 \cdot J_3 \cdot r_3}{a_{\text{сс}} \cdot T_{\text{см}} \cdot K_{\text{и}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{с}}}$  – коэффициент передачи регулятора скорости, о.е.;

$T_{\text{рсс}} = \frac{a_{\text{сс}} \cdot T_{\text{см}}^2 \cdot K_{\text{и}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{с}}}{J_3 \cdot r_3}$  – постоянная времени регулятора скорости, с.

Полученную передаточную функцию регулятора скорости преобразуем к другому виду, разделив и умножив знаменатель уравнения (21) на 4

Полученную передаточную функцию регулятора скорости преобразуем к другому виду, разделив и умножив знаменатель уравнения (21) на 4

$$W_{\text{рсс}}(p) = \frac{(4T_{\text{см}} p + 1) \cdot J_3 \cdot r_3}{a_{\text{сс}} \cdot T_{\text{см}}^2 \cdot p \cdot K_{\text{и}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{с}} \cdot 4 / 4} = \frac{(4T_{\text{см}} p + 1) \cdot 4 \cdot J_3 \cdot r_3}{a_{\text{сс}} \cdot T_{\text{см}}^2 \cdot p \cdot K_{\text{и}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{с}} \cdot 4} = K_{\text{рсс}} \left( \frac{4T_{\text{см}} p + 1}{4T_{\text{см}} p} \right) = K_{\text{рсс}} \frac{T_{\text{рсс}} p + 1}{T_{\text{рсс}} p} = K_{\text{рсс}} \left( 1 + \frac{1}{T_{\text{рсс}} p} \right), \quad (23)$$

где постоянная времени регулятора скорости  $T_{\text{рсс}} = 4T_{\text{см}}$ , а коэффициент его передачи  $K_{\text{рсс}}$  остался прежним.

Из полученных передаточных функций очевидно, что при настройке регулятора на СО в контуре регулирования скорости будет обеспечиваться ПИ-закон регулирования. При этом в передаточной функции регулятора скорости имеется звено  $T_{\text{рсс}} p + 1 = 4T_{\text{см}} p + 1$ , которое компенсирует инерционные звенья контура и интегрирующее звено объекта

$$W_{\text{об}}(p) = \frac{1}{J_3 p}$$

Далее определим передаточную функцию разомкнутого контура регулирования скорости с ПИ-регулятором

$$W_{\text{раз.сс}}(p) = W_{\text{рсс}}(p) \cdot \frac{K_{\text{и}}}{T_{\text{и}}p+1} \cdot \frac{1/r_{\text{э}}}{T_{\text{э}}p+1} \cdot \frac{K_{\text{м}}}{J_{\text{э}}p} \cdot \frac{K_{\text{с}}}{T_{\text{с}}p+1} = \frac{(4T_{\text{см}}p+1) \cdot J_{\text{э}} \cdot r_{\text{э}}}{a_{\text{сс}} \cdot T_{\text{см}}^2 \cdot p \cdot K_{\text{и}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{с}}}$$

$$\cdot \frac{K_{\text{и}}}{T_{\text{и}}p+1} \cdot \frac{1/r_{\text{э}}}{T_{\text{э}}p+1} \cdot \frac{K_{\text{м}}}{J_{\text{э}}p} \cdot \frac{K_{\text{с}}}{T_{\text{с}}p+1} = \frac{4T_{\text{см}}p+1}{a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^2 \cdot p^2 (T_{\text{и}} \cdot T_{\text{э}} \cdot T_{\text{с}} \cdot p^3 + T_{\text{см}}^2 \cdot p^2 + T_{\text{см}}p+1)} =$$

$$= \frac{4T_{\text{см}}p+1}{a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^2 \cdot T_{\text{и}} \cdot T_{\text{э}} \cdot T_{\text{с}} \cdot p^5 + a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^4 \cdot p^4 + a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^3 p^3 + a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^2 p^2} \quad (24)$$

Передаточная функция замкнутого контура по управлению для регулирования скорости

$$W_{\text{зам.сс}}(p) = \frac{1}{W_{\text{с}}(p)} \cdot \frac{W_{\text{раз.сс}}(p)}{1 + W_{\text{раз.сс}}(p)} =$$

$$= \frac{1}{K_{\text{с}} \cdot a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^2 \cdot T_{\text{и}} \cdot T_{\text{э}} \cdot T_{\text{с}} \cdot p^5 + a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^4 \cdot p^4 + a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^3 \cdot p^3 + a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^2 p^2 + 4T_{\text{см}}p + 1} \cdot \frac{(4T_{\text{см}}p+1) \cdot (T_{\text{с}}p+1)}{K_{\text{с}} \cdot a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^2 \cdot T_{\text{и}} \cdot T_{\text{э}} \cdot T_{\text{с}} \cdot p^5 + a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^4 \cdot p^4 + a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^3 \cdot p^3 + a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^2 p^2 + 4T_{\text{см}}p + 1} \quad (25)$$

Для анализа реакции контура скорости на возмущающее воздействие, то есть наброс и сброс нагрузки  $\Delta M_{\text{с}}$ , определим передаточную функцию замкнутого контура скорости по возмущению согласно выражению (17)

$$W_{\text{зам.всс}}(p) = \frac{(1/J_{\text{э}}) \cdot p}{1 + \frac{4T_{\text{см}}p+1}{a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^2 \cdot T_{\text{и}} \cdot T_{\text{э}} \cdot T_{\text{с}} \cdot p^5 + a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^4 \cdot p^4 + a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^3 p^3 + a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^2 p^2}} =$$

$$= \frac{(1/J_{\text{э}}) \cdot a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^2 p (T_{\text{и}} \cdot T_{\text{э}} \cdot T_{\text{с}} \cdot p^3 + T_{\text{см}}^2 \cdot p^2 + T_{\text{см}}p+1)}{a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^2 \cdot T_{\text{и}} \cdot T_{\text{э}} \cdot T_{\text{с}} \cdot p^5 + a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^4 \cdot p^4 + a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^3 \cdot p^3 + a_{\text{сс}} T_{\text{см}}^2 p^2 + 4T_{\text{см}}p + 1} \quad (26)$$

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

**Таблица 1. Коэффициенты передачи и постоянные времени П- и ПИ-регуляторов, передаточные функции разомкнутых и замкнутых по управлению и возмущению контура регулирования скорости при скалярном управлении**

Регуляторы скорости	Расчетные формулы
ПИ-регулятор	$K_{\text{рсс}} = \frac{J_{\text{э}} r_{\text{э}}}{a_{\text{мсс}} T_{\text{см}} \cdot K_{\text{и}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{с}}};$
	$W_{\text{раз.сс}}(p) = \frac{1}{a_{\text{мсс}} T_{\text{см}} \cdot T_{\text{и}} \cdot T_{\text{э}} \cdot T_{\text{с}} \cdot p^4 + a_{\text{мсс}} T_{\text{см}}^3 \cdot p^3 + a_{\text{мсс}} T_{\text{см}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{мсс}} T_{\text{см}} p};$
	$W_{\text{зам.сс}}(p) = \frac{1/K_{\text{с}} \cdot (T_{\text{с}}p+1)}{a_{\text{мсс}} T_{\text{см}} \cdot T_{\text{и}} \cdot T_{\text{э}} \cdot T_{\text{с}} \cdot p^4 + a_{\text{мсс}} T_{\text{см}}^3 \cdot p^3 + a_{\text{мсс}} T_{\text{см}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{мсс}} T_{\text{см}} p + 1} \approx$
	$\approx \frac{1/K_{\text{с}} \cdot (T_{\text{с}}p+1)}{a_{\text{мсс}} T_{\text{см}}^3 \cdot p^3 + a_{\text{мсс}} T_{\text{см}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{мсс}} T_{\text{см}} p + 1};$
	$W_{\text{зам.всс}}(p) = \frac{(1/J_{\text{э}}) \cdot a_{\text{мсс}} T_{\text{см}} (T_{\text{и}} \cdot T_{\text{э}} \cdot T_{\text{с}} \cdot p^3 + T_{\text{см}}^2 \cdot p^2 + T_{\text{см}}p+1)}{a_{\text{мсс}} T_{\text{см}} \cdot T_{\text{и}} \cdot T_{\text{э}} \cdot T_{\text{с}} \cdot p^4 + a_{\text{мсс}} T_{\text{см}}^3 \cdot p^3 + a_{\text{мсс}} T_{\text{см}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{мсс}} T_{\text{см}} p + 1}.$

**Продолжение таблицы 1**

ПИ-регулятор	$K_{pcc} = \frac{4 \cdot J_{\varepsilon} \cdot r_{\varepsilon}}{a_{cc} \cdot T_{cm} \cdot K_{и} \cdot K_c \cdot K_c}; T_{pc} = \frac{a_{cc} \cdot T_{cm}^2 \cdot K_{и} \cdot K_M \cdot K_c}{J_{\varepsilon} \cdot r_{\varepsilon}};$
	$W_{раз.сc}(p) = \frac{4T_{cm}p + 1}{a_{cc} T_{cm}^2 \cdot T_{и} \cdot T_{\varepsilon} \cdot T_{co} \cdot p^5 + a_{cc} T_{cm}^4 \cdot p^4 + a_{cc} T_{cm}^3 \cdot p^3 + a_{cc} T_{cm}^2 \cdot p^2};$
	$W_{зам.сc}(p) = \frac{1}{K_c} \cdot \frac{(4T_{cm}p + 1) \cdot (T_{co}p + 1)}{a_{cc} T_{cm}^2 \cdot T_{и} \cdot T_{\varepsilon} \cdot T_{co} \cdot p^5 + a_{cc} T_{cm}^4 \cdot p^4 + a_{cc} T_{cm}^3 \cdot p^3 + a_{cc} T_{cm}^2 \cdot p^2 + 4T_{cm}p + 1};$
	$W_{зам.всc}(p) = \frac{(1/J_{\varepsilon}) \cdot a_{cc} T_{cm}^2 p (T_{и} \cdot T_{\varepsilon} \cdot T_{co} \cdot p^3 + T_{cm}^2 \cdot p^2 + T_{cm}p + 1)}{a_{cc} T_{cm}^2 \cdot T_{и} \cdot T_{\varepsilon} \cdot T_{co} \cdot p^5 + a_{cc} T_{cm}^4 \cdot p^4 + a_{cc} T_{cm}^3 \cdot p^3 + a_{cc} T_{cm}^2 \cdot p^2 + 4T_{cm}p + 1}.$
$a_{цсc}=1...6 (a_{цсc}=2); T_{cm}=T_{и}+T_{\varepsilon}+T_{то};$ $b_c=a_c=2; a_{cc}=4...16 (a_{cc}=b_c \cdot a_c^2=8); T_{pc}=4T_{cm}.$	

**Заключение**

1. Показатели качества работы оптимизированного контура скорости по управлению зависят от соотношения его постоянных времени.

2. Настройка контура скорости с П-регулятором соответствует постройке на МО системы 4-го порядка. Замкнутый контур скорости представляет собой астатическую систему 1-го порядка по управлению. Основные показатели качества его работы по управлению определяются следующими значениями [6]:

- статическая ошибка по скорости при постоянном значении задающего сигнала равна нулю;
- полоса пропускания контура скорости по модулю и по фазе  $\omega_{п}^{(м)} = 0,284 / T_{cm}, \text{ рад/с};$   
 $\omega_{п}^{(\phi)} = 0,18 / T_{cm}, \text{ рад/с};$

– перерегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5% зону при набросе или сбросе нагрузки  $\sigma=6,2\%; t_{py1}^{(5)} = 13,6 \cdot T_{cm}, \text{ с}; t_{py2}^{(5)} = 20,3 \cdot T_{cm}, \text{ с}.$

1. Настройка контура скорости с ПИ-регулятором близка к настройке на СО системы 5-го порядка. Замкнутый контур скорости представляет собой астатическую систему 2-го порядка по управлению. Аналогично п. 2, основные показатели качества работы контура скорости [7]:

- статическая ошибка по скорости равна нулю;
- $\omega_{п}^{(м)} = 0,3 / T_{cm}, \text{ рад/с}; \omega_{п}^{(\phi)} = 0,158 / T_{cm}, \text{ рад/с}.$
- $\sigma=51,6\%; t_{py1}^{(5)} = 11 \cdot T_{cm}, \text{ с}; t_{py2}^{(5)} = 37,2 \cdot T_{cm}, \text{ с}.$

2. Анализ показателей качества работы контура скорости с П- и ПИ-регуляторами показывает, что в обоих случаях статическая ошибка равна нулю, быстрейшее действие ПИ-регулятора несколько выше, но при этом он имеет большее перерегулирование и время окончательного вхождения в 5% зону колебания скорости в сравнении с П-регулятором.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Дементьев, Ю.Н. Автоматизированный электропривод: учеб. пос. / Ю.Н. Дементьев, А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев. – Томск: ТПУ, 2009. – 224 с.
2. Удут, Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: 4.8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учеб. пос./ Л.С. Удут, Н.В. Кояин, О.П. Мальцева. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 448 с.
3. Мальцева, О.П. Системы управления электроприводов: учеб. пос./ О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 82 с.
4. Прищепов, М.А. Структурные схемы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором для частотно-регулируемого электропривода со скалярным и векторным управлением / М.А. Прищепов, В.А. Дайнеко, Е.М. Прищепова // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. – 2019. – Том 57. – №4. – С. 481-493.
5. Справочник по электрическим машинам: в 2-х т./ Под общ. ред. И. П. Копылова, Б.К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 688 с.
6. Удут, Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: часть 1. Введение в технику регулирования линейных систем: часть 2. Оптимизация контура регулирования: учеб. пос. / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 156 с.
7. Удут, Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: часть 7. Теория оптимизации непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов: учеб. пос. / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 164 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 10.02.2020



УДК 631.3

## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ УТИЛИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ В АПК РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**В.С. Герасимов,**

*зав. лабораторией ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Россия, г. Москва)*

**В.И. Игнатов,**

*гл. специалист ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», докт. техн. наук  
(Россия, г. Москва)*

**С.А. Буряков,**

*ст. науч. сотр. ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Россия, г. Москва)*

*В статье отражены наиболее важные аспекты, характеризующие взаимодействие окружающей среды с функционированием процессов утилизации сельскохозяйственной техники. Отмечаются виды негативного воздействия, представлена методика оценки вреда окружающей среде компонентами отходов утилизируемой сельскохозяйственной техники.*

*Ключевые слова: утилизация, сельскохозяйственная техника, отходы утилизации, компоненты, экология, окружающая среда, методика, затраты, убытки, нормативы.*

*The most important aspects of the environment interaction with the functioning of the utilization processes of agricultural machinery (hereinafter-SHT) are considered in the article. The types of negative impact are noted, the assessment method of environmental damage by the waste components from recycled agricultural machinery is presented.*

*Keywords: recycling, agricultural machinery, waste disposal, components, ecology, environment, methodology, costs, losses, standards.*

### Введение

Последние десятилетия развития общества характеризуются высокими темпами урбанизации и интенсификацией промышленного производства, которые, наряду с повышением общего уровня жизни людей, способствуют росту отходов жизнедеятельности населения планеты. Объемы этих отходов увеличиваются в 3 – 4 раза быстрее, чем растет само население. Отходы производства и потребления начинают создавать угрозу экологии не только для технически развитых стран, но и для всего населения земли. Воздействие этих отходов на природу и человека снижает общий эффект использования производимой продукции, ухудшает комфортность жизни всей флоры и фауны Земли.

Также проблемой, с которой столкнулись технически развитые страны в процессе развития промышленности, является необходимость утилизации выводимой из эксплуатации техники. Устаревшая техника, требующая утилизации, содержит большое количество материалов, поддающихся рециклингу и повторному использованию, а также ряд опасных для флоры и фауны компонентов. При этом процесс получения большинства материалов, при трудозатратах в разы меньших по сравнению с переработкой коммунальных и твердых бытовых отходов, позволяет рециклировать до 95 % и более массы техники.

Практически во всех странах, имеющих большой парк используемой техники, а тем более в странах-производителях техники, созданы и успешно функционируют системы ее утилизации. При этом до настоящего времени в Российской Федерации и Республике Беларусь Единая система утилизации ВЭТ не сформирована.

Известен ряд работ [1, 2], посвященных теории создания систем утилизации, в основном для автомобилей. Выполнен ряд теоретических работ по утилизации сельскохозяйственной техники (СХТ) [3, 4].

Следует отметить, что с баланса сельскохозяйственных организаций и предприятий агропромышленных комплексов Российской Федерации и Республики Беларусь ежегодно списывается около 8 – 12 % единиц сельскохозяйственной техники, животноводческого и специального оборудования, транспортных средств от общего парка.

Проблема утилизации техники, завершившей свой жизненный цикл, является составной частью глобальной проблемы рационального использования ресурсов, вовлекаемых в процессы производства и потребления. Значимость этой проблемы проистекает из ее комплектности. Она объединяет, по меньшей мере, такие направления, как экологическое, технологическое, организационно-экономическое и правовое. Рассмотрим наиболее важное направление – экологи-

ческое, имея в виду негативные воздействия на окружающую среду со стороны системы утилизации.

### **Основная часть**

Деятельность по обращению с отходами утилизируемой сельскохозяйственной техники имеет два основных целевых ориентира: ресурсосбережение (формирование отходоперерабатывающей отрасли) и снижение вреда окружающей среде.

Не менее значимой является экологическая составляющая функционирования системы утилизации СХТ, определяемая не только уровнем негативного воздействия на окружающую среду несанкционированного размещения отходов утилизируемой техники, но и условиями транспортирования отходов и продуктов переработки, а также другими многочисленными факторами. Это в совокупности оказывает существенное влияние на экономический механизм проведения утилизации сельскохозяйственной техники через природоохранные регуляторы.

Выведенная из эксплуатации СХТ и не переданная на специализированные предприятия по утилизации, оказывает негативное воздействие на окружающую среду в виде:

- захламления, деградации и химического загрязнения земель, почв, водных объектов;
- отвлечения земель на размещение объектов системы утилизации СХТ;
- загрязнения водных объектов в результате разлива нефтепродуктов и других загрязняющих веществ;
- порчи, засорения и загрязнения земель объектов водоохраных зон;
- засорения акватории, дна и берегов водных объектов затопленной СХТ и ее компонентами, брошенными владельцами;
- уничтожения и повреждения зеленых насаждений, повреждения мест обитания объектов животного мира;
- загрязнения атмосферного воздуха предприятиями по сбору, переработке отдельных видов СХТ.

При этом оценка размера вреда окружающей среде производится посредством расчета [5]:

- затрат, которые могут возникнуть в связи с проведением мероприятий по локализации и ликвидации негативных последствий загрязнения компонент окружающей природной среды и осуществлением компенсационных выплат (затрат на расследование аварий, в случае возникновения таковых);
- затрат на восстановление здоровья населения, свойств имущества и качества окружающей среды;
- затрат, связанных с временным отселением и эвакуацией людей с загрязненной территории;
- выплат компенсаций вследствие гибели и (или) травмирования людей и иных фактически возникших убытков.

Оценка ущерба заключается в определении фактических и возможных (предотвращаемых) материальных и финансовых потерь и убытков от изменения (ухудшения в результате антропогенного воздействия или улучшения в результате проведения природо-

охранных мероприятий) качественных и количественных параметров окружающей природной среды в целом и ее отдельных эколого-ресурсных компонентов (атмосферный воздух, водные ресурсы, земельные ресурсы, ресурсы растительного и животного мира) в сфере обращения с отходами утилизируемой СХТ, а также ухудшения социально-гигиенических условий проживания для населения в результате захламления территории отходами утилизируемой СХТ и производственной деятельности предприятий по их сбору, хранению, демонтажу, переработке, захоронению.

Методика оценки вреда окружающей среде элементами системы утилизации сельскохозяйственной техники включает методы количественной оценки отдельных видов негативного воздействия, приведенные в источнике [6].

Величина вреда окружающей среде элементами системы утилизации техники зависит от объемов образования отходов утилизируемой СХТ и площади территории, несанкционированно занимаемой ими, от уровней загрязнения земель, водных объектов, атмосферного воздуха, а также от уровня повреждения или уничтожения зеленых насаждений.

Величины вреда соответственно от загрязнения земель ( $V_{pз}$ ), водных объектов ( $V_{pв}$ ), атмосферного воздуха ( $V_{pа}$ ), повреждения или уничтожения зеленых насаждений ( $V_{pзн}$ ) в общем виде представлены в формуле (1)

$$V_{poc} = V_{pз} + V_{pв} + V_{pа} + V_{pзн} \quad (1)$$

При этом следует различать вред, возникающий от аварийного сброса и загрязнения окружающей среды твердыми, жидкими, газообразными отходами в результате их несанкционированного размещения на территории, а также вред, возникающий в процессе штатной работы технологического оборудования специализированных предприятий по утилизации СХТ и образования на них отходов. На рис. 1 приведена блок-схема оценки вреда окружающей среде отходами сельскохозяйственной техники и их компонентами.

Наибольший вред окружающей среде причиняется в результате несанкционированного размещения на территории изношенных шин, отработанных аккумуляторов, преднамеренного или аварийного загрязнения почвы, водных объектов твердыми отходами утилизируемой СХТ, а также отработанными маслами, антифризами, электролитами, сливаемыми на землю или в канализацию владельцами СХТ.

Оценить объемы несанкционированно размещенных отходов утилизируемой СХТ, используемых не по назначению или сжигаемых в целом по территории, возможно только экспертными методами. Однако в каждом конкретном случае это можно сделать визуальным или с использованием инструментальных методов.

Общий размер вреда от захламления, загрязнения и деградации земель исчисляется затратами на приведение земельного участка в состояние, отвечающее нормативным требованиям (затраты на восстановление) и стоимостью поврежденного имущества (земельного участка) [7]:

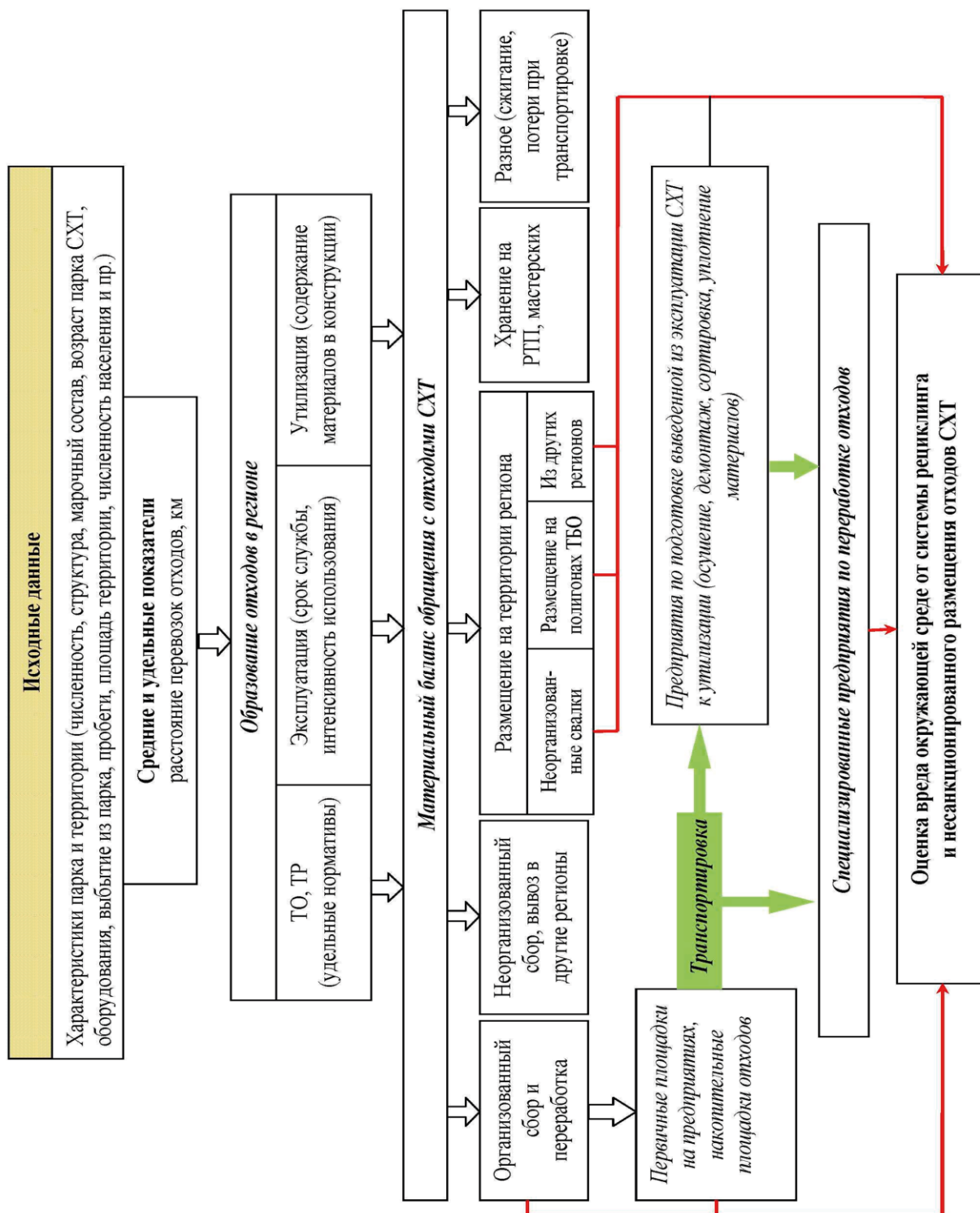


Рисунок 1. Блок-схема оценки вреда окружающей среде отходами СХТ и их компонентами

$$V_{рз} = V_{рзакл} + V_{рзагр} + V_{рдегр} , \quad (2)$$

где  $V_{рдегр}$  – вред от деградации почв и земель, рос. руб.;

$V_{рзагр}$  – вред от загрязнения земель, рос. руб.;

$V_{рзакл}$  – вред от захламления земель несанкционированными свалками, рос. руб.

Вред от захламления земель рассчитывается как сумма средств, затраченных на транспортировку, захоронение отходов, размещение в установленных местах, а также стоимость земельного участка за период вывода его из состояния, отвечающего нормативным требованиям, вызванного захламлением, по формуле:

$$Vp_{\text{захл}} = 3V_{\text{захл}} + C3У_{\text{захл}}, \quad (3)$$

где  $3V_{\text{захл}}$  – затраты на восстановление участка от захламления земель, рос. руб.;

$C3У_{\text{захл}}$  – стоимость земельного участка за период вывода его из состояния, отвечающего нормативным требованиям, вызванного захламлением земель, рос. руб.

Поправочные коэффициенты на степень опасности размещенных отходов ( $K_{\text{токс}}$ ) зависят от видов отходов и имеют следующие значения [5, 6]: для нетоксичных отходов – 1; для 1-го класса опасности (чрезвычайно опасные) – 10; для 2-го класса опасности (высокоопасные) – 8; для 3-го класса опасности (умеренно опасные) – 4; для 4-го класса опасности (малоопасные) – 2.

Оценку вреда от захламления земель несанкционированными свалками также можно производить по формуле

$$Vp_{\text{захл}} = \sum_{i=1}^n Hn(i)M_i K_{\text{эз}} 25K_v, \quad (4)$$

где  $Hn(i)$  – норматив платы за захламление земель 1 т (куб. м) отходов  $i$ -го вида, рос. руб.;

$M_i$  – масса выброса или сброса  $i$ -го загрязняющего вещества, масса (объем) отхода  $i$ -го вида, т ( $M^3$ );

$K_{\text{эз}}$  – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории;

$K_v$  – коэффициент пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению загрязненных сельскохозяйственных земель.

Вред от деградации земель рассчитывается по затратам на восстановление испорченного или уничтоженного слоя почвы ( $3V_{\text{дегр}}$ ), а также величины капитализированной стоимости земельного участка за период вывода его из состояния, отвечающего нормативным требованиям, вызванного деградацией земель:

$$Vp_{\text{дегр}} = 3V_{\text{дегр}} + C3У_{\text{дегр}}, \quad (5)$$

где  $C3У_{\text{дегр}}$  – стоимость земельного участка за период вывода его из состояния, отвечающего нормативным требованиям, вызванного деградацией земель, рос. руб.

В формуле (5) затраты на восстановление участка от деградации земель ( $3V_{\text{дегр}}$ ) определяются как

$$3V_{\text{дегр}} = (H3_{\text{подг-нач}} + K_{\text{глуб-дегр}} H3_{\text{подг-5-см}}) K_5 S_d, \quad (6)$$

где  $H3_{\text{подг-5-см}}$  – норматив затрат на подготовку 5-сантиметрового ровного слоя земли, рос. руб/ $M^2$ ;

$H3_{\text{подг-нач}}$  – норматив затрат на начальную подготовку территории, рос. руб/ $M^2$ ;

$K_{\text{глуб-дегр}}$  – коэффициент, учитывающий мощность уничтоженного слоя почвы. Устанавливается на основании данных о степени деградации земель (мощности уничтоженного плодородного слоя почвы);

$K_5$  – действующий на момент установления деградации коэффициент индексации цен для нормативов затрат на подготовку территории под газоны;

$S_d$  – площадь земель, подвергшихся деградации (нарушению),  $M^2$ .

Источниками вреда окружающей среде выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух являются:

– технологические процессы на площадках, предприятиях системы рециклинга;

– отработавшие газы транспортных средств, осуществляющих перемещение отходов СХТ.

Размер вреда и убытков, причиненных загрязнением атмосферного воздуха стационарными источниками загрязнения (площадками и предприятиями системы рециклинга) при аварийных выбросах определяется по формуле:

$$Vp_{\text{cu-a}} = K_u \sum_{i=1}^n H_i M_i, \quad (7)$$

где  $H_i$  – такса для исчисления размера вреда и убытков от загрязнения атмосферного воздуха  $i$ -м загрязняющим веществом, рос. руб/т;

$M_i$  – масса  $i$ -го загрязняющего вещества.

По этой же формуле производится оценка вреда в результате пожаров.

Таксы для исчисления размера вреда и убытков, причиненных окружающей среде загрязнением атмосферного воздуха стационарными объектами и в результате пожаров, приведенные в табл. 1, установлены с учетом затрат на восстановление окружающей среды, приравненных к затратам на противопожарную защиту, очистку выбросов и убытков субъекта Российской Федерации, обусловленных заболеваемостью населения в результате загрязнения воздуха.

**Таблица 1. Установленные расценки для исчисления размера вреда и убытков, причиненных загрязнением атмосферного воздуха стационарными источниками загрязнения при утилизации СХТ, тыс. рос. руб/т**

Отрасли, производства	Группы загрязняющих веществ						
	Взвешенные вещества	SO <sub>2</sub>	CO	NOx	Угледородороды	Вещества I класса опасности	Другие вещества
Предприятия по утилизации СХТ	135,0	385,0	155,0	216,0	366,0	6 560,0	98,0
Другие производства АПК	96,0	282,0	120,0	180,0	251,0	39 978,0	97,0
Пожары	96,0	94,0	62,0	92,0	92,0	565,0	61,0

### Заключение

Методика оценки вреда окружающей среде учитывает основные его виды, связанные с утилизацией сельскохозяйственной техники, животноводческого и специального оборудования, транспортных средств, используемых в АПК Российской Федерации. При использовании данной методики для оценки вреда окружающей среде, возникающего при утилизации СХТ и другого оборудования, требуется ее адаптация, связанная с уточнением исходной информации, необходимой для установления значений, входящих в используемые формулы составляющих.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трофименко, Ю.В. Утилизация автомобилей: монография / Ю.В. Трофименко, Ю.М. Воронцов, К.Ю. Трофименко. – М.: АКПРЕСС, 2011. – 336 с.
2. Утилизация сельскохозяйственной техники: проблемы и решения / С.А. Соловьев и [др.]. – М.: Росинформагротех, 2015. – 172 с.

3. Современные тенденции формирования системы рециклинга техники: монография / В.И. Игнатов и [др.]. – М.:Перо. – 2019. – 557 с.

4. Особенности формирования системы утилизации сельскохозяйственной техники в АПК Республики Беларусь: монография / Н.К. Лисай и [др.]. – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – 2017. – 247 с.

5. Медведева, О.Е. Правовые и экономические основы применения современной методологии стоимостной оценки ущерба, причиняемого окружающей среде и природным ресурсам / О.Е. Медведева, М.А. Вакула // Эколог. вестн. России. – 2007. – №4. – С. 22-25.

6. Трофименко, Ю.В. Оценка вреда, наносимого окружающей среде автотранспортным комплексом региона // Вестник МАДИ. – 2009. – Вып. 2 (17). – С. 97-102.

7. Методика оценки убытков, вызываемых загрязнением, захламлением и деградацией земель на территории Москвы: утв. распоряжением мэра Москвы от 27.07.99 № 801-РМ.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 03.02.2020

### Режущий механизм волчка

**Предназначен** для первичного измельчения мясного сырья при производстве колбасных изделий.

Новый режущий механизм позволяет на 15...20% повысить производительность волчка при существенном улучшении качества процесса измельчения и снизить удельные энергозатраты на 10...15%.



Режущие механизмы используются на следующих мясоперерабатывающих предприятиях:

- ОАО «Борисовский мясокомбинат»;*
- ОАО «Омьянский мясокомбинат»;*
- ОАО «Гродненский мясокомбинат»;*
- ОАО «Кричевский мясокомбинат»;*
- ОАО «Витебский мясокомбинат».*

#### Основные технические данные

Производительность волчка, кг/ч.....	до 6800
Количество отверстий ножевой решетки, шт.....	1515
Диаметр ножевой решетки, мм.....	200
Количество режущих кромок ножа, шт.....	8

УДК 665.753:662.767.2

## РЕЗУЛЬТАТЫ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ДИЗЕЛЯ 4ЧН 11,0/12,5 НА СМЕСЯХ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С БИОГАЗОМ

А.Н. Карташевич,

зав. каф. тракторов, автомобилей и машин для природообустройства БГСХА, докт. техн. наук, профессор

В.А. Шапорев,

аспирант каф. тракторов, автомобилей и машин для природообустройства БГСХА

*В статье приведены результаты стендовых испытаний работы автотракторного дизеля 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2) на чистом дизельном топливе (ДТ) и на смесях 85 % ДТ + 15 % биогаза (БГ) и 70 % ДТ + 30 % БГ. Исследовались эффективные показатели работы дизеля и показатели его дымности и токсичности при работе на этих смесях по внешней скоростной характеристике, снятой при рациональном значении угла опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{оп.впр}=22^\circ$  до верхней мертвой точки (в.м.т.) и номинальной нагрузке. Проведенный комплекс экспериментальных исследований подтвердил возможность использования биогаза в качестве альтернативного топлива для дизельных двигателей. Применение газомоторного топлива на основе биогаза может частично или полностью заменить традиционные нефтяные топлива, сэкономить нефтяные ресурсы и сократить импорт нефтепродуктов, а также возможно их использование в существующих двигателях внутреннего сгорания без существенного изменения их конструкции.*

*Ключевые слова:* биогаз, дизель, дизельное топливо, характеристика, отработавшие газы, дымность, токсичность.

*The results of development testing of the 4chn 11.0/12.5 (D-245.5S2) tractor diesel engine using pure diesel fuel (DF) and mixtures of 85% diesel fuel + 15% biogas (BG) and 70% DF + 30% BG are given in the article. Performance measures of the diesel engine and its exhaust smoke and toxicity indicators were studied. They were working on these mixtures based on the external speed characteristic taken at the rational value of the fuel injection advance  $\Theta_{VPR}=22^\circ$  to the upper dead point (V. M. T.) and the rated load. The conducted set of experimental studies confirmed the possibility of using biogas as an alternative fuel for diesel engines. The use of gas fuel based on biogas can partially or completely replace traditional oil fuels, save oil resources and reduce the import of oil products, as well as it can be used in existing internal combustion engines without significantly changing their design.*

*Keywords:* biogas, diesel, diesel fuel, characteristics, exhaust gases, exhaust smoking, toxicity.

### Введение

Истощение запасов нефти и традиционных энергоресурсов, рост цен на них и обострение экологических проблем обусловили глобальный интерес к разработке и использованию биогазовой технологии для получения механической, тепловой, электрической энергий и биоудобрений. Биогазовая технология может быть использована для переработки многих видов органических отходов, навоза, сточных вод и отходов сельскохозяйственных культур, улучшая экологическую обстановку местности.

Одним из перспективных видов альтернативного моторного топлива является биогаз, индустрия которого появилась за короткий промежуток времени во многих странах мира. Если в 80-х годах прошлого века в мире насчитывалось около 8 млн установок для получения биогаза суммарной мощностью в 1,7 – 2 млрд м<sup>3</sup> в год, то в настоящее время данные показа-

тели соответствуют производительности только одной страны – Китая [1-3].

В процессе переработки органических отходов в биогазовых установках получают два основных продукта – биоудобрение и БГ, которые можно использовать в сельскохозяйственном производстве и в быту [4, 5].

Биогаз – это смесь из 50...80 % метана (СН<sub>4</sub>), 20...50 % углекислого газа (СО<sub>2</sub>), до 1 % сероводорода (Н<sub>2</sub>С) и незначительных следов азота (N<sub>2</sub>), кислорода (О<sub>2</sub>) и водорода (Н<sub>2</sub>), а также продуктов метанового брожения органических веществ растительного и животного происхождения, осуществляемого специфическим природным биоценозом анаэробных бактерий различных физиологических групп. Энергия, заключенная в 1 м<sup>3</sup> БГ (20...25 МДж), эквивалентна энергии 0,6 м<sup>3</sup> природного газа, 0,74 литра нефти или 0,66 литра дизельного топлива. Соотношение СН<sub>4</sub> и СО<sub>2</sub> зависит от вида исходного субстрата и характеристик процесса брожения (температуры, времени пребывания

### Основная часть

массы в реакторе и загрузки его рабочего пространства). Теплотворная способность БГ составляет 22...19 МДж/м<sup>3</sup> и 1 м<sup>3</sup> его эквивалентен 0,7...0,8 кг условного топлива. В результате брожения из 1 тонны органического вещества (по сухой массе) получается 350...600 м<sup>3</sup> БГ, при этом КПД превращения энергии органических веществ в БГ составляет 80...90 % [6, 7].

Республика Беларусь относительно бедна собственными топливными ресурсами, поэтому экономически целесообразно наращивать потребление местных видов топлива и использовать нетрадиционные источники энергии.

Хотелось бы отметить, что Беларусь обладает существенным потенциалом для выработки биогаза, ведь активное развитие животноводческого комплекса страны обуславливает необходимость утилизации большого количества животноводческих отходов [8]. Действующие биогазовые комплексы Беларуси представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Действующие биогазовые комплексы Беларуси**

Предприятие	Год ввода БГК в действие	Мощность, МВт
РУСП «СГЦ «Западный», Брестский р-н	2008	0,54
РУП «Племптицецезавод «Белорусский», Минский р-н	2008	0,34
ОАО «Гомельская птицефабрика»	2009	0,34
ОАО «Бобруйский завод биотехнологий»	2010	2,1
СПК «Агрокомбинат «Снов», Несвижский р-н	2011	2
ПТБО «Тростенецкий», г. Минск	2011	2
«БрестгорЖКХ», г. Брест	2011	3,15
СПК «Лань-Несвиж», Несвижский р-н	2012	1,4
СПК «Рассвет» им. К. П. Орловского, Кировский р-н	2012	4,8
ПТБО КУП «Оршакомхоз», г. Орша	2012	0,635
Агрофирма «Лебедево» Молодечненский р-н	2013	0,5
Э/б «Зазерье» НАН Беларуси, Пуховичский р-н	2015	0,35
Итого		18,155

Как видно из таблицы 1, биогаз имеет широкое распространение в рамках нашей страны, также его можно рассматривать в качестве альтернативного возобновляемого компонента для моторных топлив.

Целью работы является оценка влияния замещения ДТ биогазом на эффективные и экологические показатели работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2).

При проведении исследований ДТ замещалось БГ в процентном отношении по величине суммарной, вводимой в цилиндры дизеля теплоты (нижней теплотворной способности топлив). Содержание БГ в объеме 15 % и 30 % было выбрано из условия наличия необходимого воздуха для обеспечения полноты процесса сгорания, а также без регулирования штатной системы подачи ДТ.

С целью выявления влияния смесевых видов топлива, состоящих из 85 % ДТ + 15 % БГ и 70 % ДТ + 30 % БГ, на показатели работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S5), в научно-исследовательской лаборатории испытания двигателей внутреннего сгорания, на кафедре тракторов, автомобилей и машин для природообустройства БГСХА были проведены экспериментальные исследования.

В качестве тормозного устройства использовался электротормозной нагрузочный стенд SAK-N670, позволяющий регулировать скоростной и нагрузочный режим. Массовый расход ДТ определялся электронным расходомером АИР-50 с весовым устройством и комплектом измерительных приборов с выводом данных на монитор компьютера. Подача БГ осуществлялась системой питания, конструкция которой защищена патентом Республики Беларусь № 12202 [9]), объемный расход БГ определялся газовым счетчиком СМГ-4, а также блоком управляемых форсунок данной системы. Анализ проб отработавших газов (ОГ) производился с помощью автоматического газоанализатора Маха MGT-5. Дымность ОГ измерялась с помощью дымомера СИДА-107 «АТЛАС». Все приборы прошли государственную поверку. Общий вид экспериментальной установки и пульта управления представлены на рисунке 1.

Графическое изображение влияния БГ в смесевых составах с ДТ на изменение эффективных показателей дизеля представлено на рисунке 2.

Из графика видно, что работа дизеля на смесях ДТ и БГ вызывает некоторое изменение его эффективных показателей. Так, кривые значений эффективного КПД снижаются в сравнении с аналогичной кривой для ДТ во всем диапазоне изменения частоты вращения коленчатого вала. Величина КПД при  $n=1800 \text{ мин}^{-1}$  составляет  $\eta_e=37,2 \%$  для ДТ, а для случая смеси 85 % ДТ + 15 % БГ –  $\eta_e=35 \%$ , и, наконец,  $\eta_e=34,1 \%$  для смеси 70 % ДТ + 30 %. Следовательно, эффективный КПД дизеля понижается с ростом замещения чистого ДТ биогазом на 5,91 % и 8,1 %.

Незначительное снижение эффективной мощности и крутящего момента дизеля с добавлением БГ происходит по всему диапазону изменения частоты вращения коленчатого вала. При  $n=1800 \text{ мин}^{-1}$  мощность дизеля, работающего на ДТ, составляет  $N_e = 68 \text{ кВт}$ , а на смесях 85 % ДТ + 15 % БГ и 70 % ДТ + 30 % БГ ее значение составляет  $N_e = 67 \text{ кВт}$  и  $N_e = 65 \text{ кВт}$ , соответственно. Характерно, что мощность незначительно уменьшается с замещением ДТ в процентном отношении на смесях 15 % БГ и 30 % БГ на 1,47 % и 4,41 %. Крутящий момент при  $n=1800 \text{ мин}^{-1}$  дизеля, работающего



Рисунок 1. Общий вид экспериментальной установки (а) и пульта управления (б) для проведения стендовых испытаний

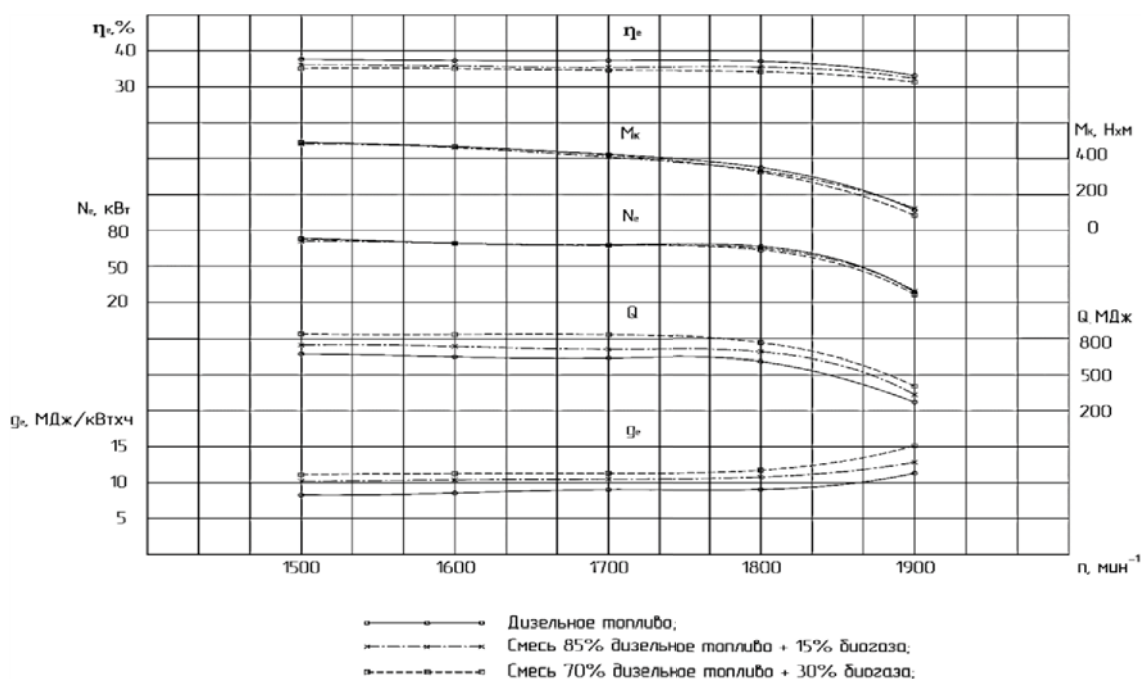


Рисунок 2. Скоростная характеристика дизеля 4CH 11,0/12,5 при рациональном значении угла опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{оп.впр}=22^\circ$  до в.м.т.

на ДТ, составляет  $M_k=363 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , а на смесях 15 % БГ и 30 % БГ его значение составляет  $M_k=354 \text{ Н}\cdot\text{м}$  и  $M_k=344 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . Крутящий момент уменьшается с замещением ДТ на смесях 15 % БГ и 30 % БГ на 2,47 % и 5,23 %.

Снижение мощности крутящего момента и эффективного КПД дизеля на смесях ДТ и БГ означает, что снизилась эффективность процесса сгорания (его скорость и полнота). Общее количество теплоты, вводимой в цилиндры дизеля, поддерживалось на одинаковом уровне, но вблизи ВМТ теплоты выделяется меньше, дальше от ВМТ – больше. Количество теплоты, выделяющейся вблизи ВМТ, как раз и определяет эффективность рабочего цикла.

Характер изменения требуемого значения вводимой теплоты  $Q$  в цилиндры дизеля сопровождается ее ростом по всему диапазону изменения частоты вращения. Значения теплоты  $Q$  при  $n=1800 \text{ мин}^{-1}$  для ДТ и смесей 85 % ДТ + 15 % БГ и 70 % ДТ + 30 % БГ составляют  $Q=616,25 \text{ МДж}$ ,  $Q=695,94 \text{ МДж}$  и  $Q=738,08 \text{ МДж}$ , соответственно. Теплоты  $Q$ , вводимой в цилиндры дизеля при работе на смесях 85 % ДТ + 15 % БГ и 70 % ДТ + 30 % БГ, необходимо больше, чем для работы на чистом ДТ на 12,93 % и 19,77 %.

Кроме того, из графика видно (рис. 2), что при работе дизеля на чистом ДТ значение удельного эффективного расхода теплоты  $q_e$  значительно меньше, чем на топливах с добавлением 15 % БГ и 30 % БГ. Так, при



$n=1800 \text{ мин}^{-1}$  и работе на ДТ удельный эффективный расход теплоты составляет  $g_e = 9,00 \text{ МДж/кВт}\cdot\text{ч}$ . Для смесей с добавлением 15 % БГ и 30 % БГ его значения равны  $g_e = 10,44 \text{ МДж/кВт}\cdot\text{ч}$  и  $g_e = 10,61 \text{ МДж/кВт}\cdot\text{ч}$ . В отношении к ДТ этот рост равен 16 % и 17,88 %, соответственно, для смесей с добавлением 15 % БГ и 30 % БГ. Данное увеличение удельного эффективного расхода теплоты и общего потребного количества теплоты, вводимой в цилиндры дизеля, объясняется меньшим значением низшей расчетной теплоты сгорания БГ и замедлением скорости его сгорания по отношению к ДТ.

Влияния применения смесей, состоящих из 85 % ДТ + 15 % БГ и 70 % ДТ + 30 % БГ на экологические показатели работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 по внешней скоростной характеристике представлены на рисунке 3.

В результате проведенных исследований было выявлено, что добавление 15 % БГ и 30 % БГ в ДТ приводит к уменьшению количества оксидов азота  $\text{NO}_x$  и диоксида углерода  $\text{CO}_2$  в ОГ дизеля 4ЧН 11,0/12,5. При номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя  $n=1800 \text{ мин}^{-1}$  и работе на чистом ДТ содержание оксидов азота  $\text{NO}_x$  составляет 909 ppm, а для смесей 85 % ДТ + 15 % БГ и 70 % ДТ + 30 % БГ эти значения равны 889 ppm и 876 ppm. То есть, содержание оксидов азота  $\text{NO}_x$  в ОГ дизеля при его работе на смесях 15 % БГ и 30 % БГ меньше, чем при работе на ДТ на 2,2 % и 3,63 %. А выбросы диоксида углерода  $\text{CO}_2$  с ОГ незначительно уменьшаются с ростом замещения чистого ДТ биогазом, что в процентном соотношении составляет 1,2 % и 11 % для смеси 15 % БГ и 30 % БГ с ДТ. Снижение оксидов азота  $\text{NO}_x$  можно объяснить тем, что их эмиссия находится в прямой зависимости от содержания свободного кислорода в пламени при условии достаточ-

но высокой его температуры [10]. Снижение локальной и средней температуры цикла в случае работы дизеля на смесях с БГ непосредственно обуславливает снижение эмиссии оксидов азота.

С увеличением частоты вращения коленчатого вала содержание сажи С в ОГ (рис. 3) снижается. Так, при  $n=1800 \text{ мин}^{-1}$  уровень сажи в ОГ дизеля, работающего на чистом ДТ, составляет  $S=8,8 \%$ , а при работе дизеля на смесях 85 % ДТ + 15 % БГ и 70 % ДТ + 30 % БГ и той же частоте вращения коленчатого вала выбросы сажи составляют  $S=7,4 \%$  и  $S=6,3 \%$ . То есть, с увеличением БГ в смесевых составах при  $n=1800 \text{ мин}^{-1}$  снижается содержание сажи на 15,9 % и 28,4 %.

Анализируя результаты замера выбросов оксида углерода  $\text{CO}$  и углеводородов  $\text{C}_n\text{H}_m$ , можно видеть, что данные показатели изменяются с увеличением количества БГ и с увеличением частоты вращения коленчатого вала. Так, на номинальном режиме  $n=1800 \text{ мин}^{-1}$  при работе на смеси 85 % ДТ + 15 % БГ и 70 % ДТ + 30 % БГ выбросы  $\text{CO}$  в процентном отношении к ДТ увеличиваются на 33,3 % и 46,4 %. Выбросы углеводородов  $\text{C}_n\text{H}_m$  увеличиваются на 8,3 % и 66,4 %. Рост выбросов несгоревших углеводородов при работе дизеля с добавками БГ можно объяснить наличием в последнем многочисленных, плохо горящих компонентов, а рост выбросов оксида углерода  $\text{CO}$  можно объяснить снижением коэффициента избытка воздуха в топливовоздушной смеси и снижением наличия свободного кислорода [10].

### Заключение

1. Эффективные показатели работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2) на смесях 85 % ДТ + 15 % БГ и 70 % ДТ + 30 % БГ в отличие от работы на чистом ДТ

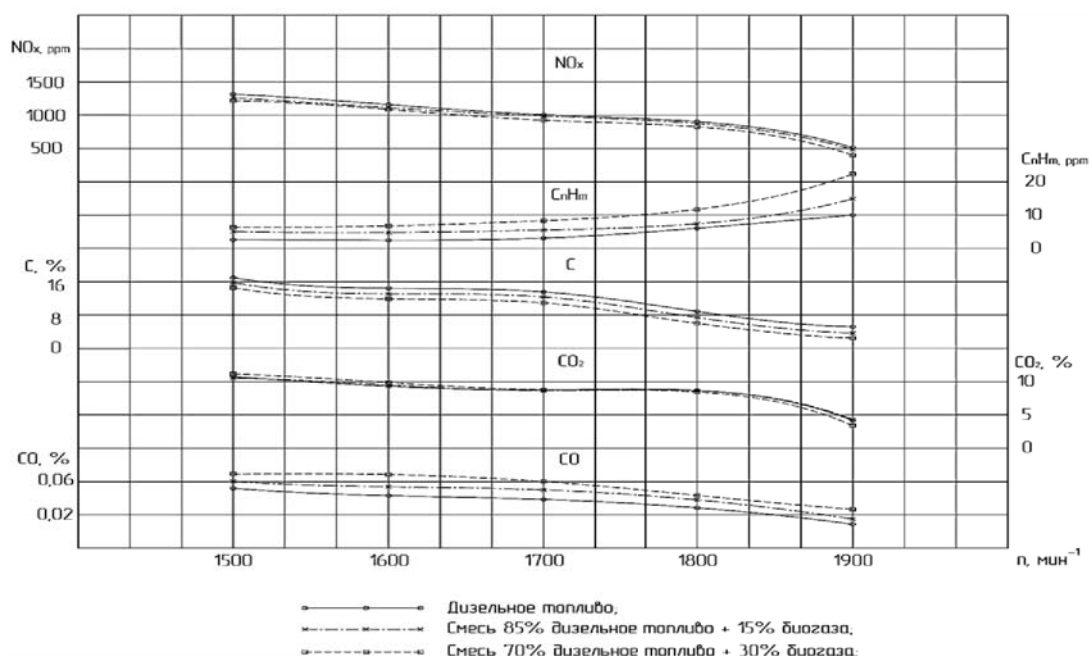


Рисунок 3. Показатели токсичности и дымности дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от частоты вращения коленчатого вала при рациональном значении угла опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{оп.впр}=22^\circ$  до в.м.т.

имеют снижение мощности на 1,47 % и 4,41 %; снижение крутящего момента – на 2,47 % и 5,23 %; КПД – на 5,91 % и 8,1 %. Увеличение потребной теплоты, вводимой в цилиндры, на 12,93 % и 19,77 %; увеличение удельного эффективного расхода теплоты – на 16 % и 17,88 %.

2. Показатели токсичности и дымности дизеля 4ЧН 11,0/12,5 по внешней скоростной характеристике на смесевых топливах 85 % ДТ + 15 % БГ и 70 % ДТ + 30 % БГ относительно показателей работы дизеля на чистом ДТ на номинальном режиме  $n=1800$  мин<sup>-1</sup> сопровождаются снижением выбросов оксидов азота на 2,2 % и 3,63 %, диоксида углерода – на 1,2 % и 11 %, частиц сажи – на 15,9 % и 28,4 %, увеличением выбросов углеводородов на 8,3 % и 66,4 %, оксидов углерода – на 33,3 % и 46,4 %.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Альтернативные виды топлива для двигателей: монография / А.Н. Карташевич [и др.]. – Горки: БГСХА, 2013. – 376 с.

2. Кавтарадзе, Р.З. Теплофизические процессы в дизелях, конвертированных на природный газ и водород / Р.З. Кавтарадзе. – М: Московский гос. технич. ун-т им. Н.Э. Баумана. – 2011. – 238 с.

3. Плотников, С.А. Система питания генераторным газом ДВС и установка для его осуществления. Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе современных информационно-коммуникационных технологий: сб. науч. тр.

/ С.А. Плотников, А.С. Зубакин, А.Н. Коротков. – Воронеж, 2015. – С. 66-69.

4. Васильев, Ю.Н. Газовые и газодизельные двигатели / Ю.Н. Васильев, Л.С. Золотаревский, С.И. Ксенофонтов. – М: Газпром. – 1992. – 127 с.

5. Марков, В.А. Работа дизелей на нетрадиционных топливах: учеб. пос. / В.А. Марков, А.И. Гайворонский, Л.В. Грехов, Н.А. Ивашенко. – М.: Легион-Автодата, 2008. – 464 с.

6. Kartashevich, A.N. Flammability of New Diesel Fuels / A.N. Kartashevich, S.A. Plotnikov // Russian Engineering Research, 2018. – Vol. 38. – № 6. – P. 424-427.

7. Карташевич, А.Н. Возобновляемые источники энергии: науч.-практ. пос. / А.Н. Карташевич, В.С. Товстыка. – Горки: БГСХА, 2008. – 261 с.

8. Клочков, А.В. Биогаз: итоги и перспективы использования / А.В. Клочков, П.М. Новицкий // Наше сельское хозяйство. – Минск, 2017. – Вып. 74. – С. 34-35.

9. Система подачи газообразного топлива в дизель: пат. 12202 Респ. Беларусь, МПК F 02M 43/00 / А.Н. Карташевич, В.А. Шапорев, П.Ю. Малышкин, заяв. Белорус. гос. с-х. академия. – № u 20190044; заявл. 18.02.2019; опубл. 01.11.2019 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2019.

10. Образование и разложение загрязняющих веществ в пламени: пер. с англ. / Под ред. Ю.Ф. Дитякина. – М.: Машиностроение, 1981. – 408 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 17.12.2019

## Микропроцессорная система кормления свиней

*Предназначена* для оперативного изменения доз кормления, контроля процесса кормления, учета расхода сухого и жидкого корма.

Разработанная система позволяет автоматизировать процесс кормления свиней, повысить эффективность и снизить издержки производства свинины.

### Основные технические данные

1. Полная совместимость с типовым технологическим оборудованием КПС-54, КПС-108.
2. Нормированное кормление, оперативное изменение норм кормления.
3. Расчет фактических объемов замеса и раздачи жидкого корма без остатков.
4. Сокращение времени кормления в 1,5...2 раза.
5. Значительно дешевле и лучше западных аналогов.



# Правила для авторов

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

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

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

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

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

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

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

4) при наборе формул необходимо следовать общепринятым правилам:

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

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

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

г) цифры набираются шрифтом прямого начертания;

д) аббревиатуры функций набираются прямо;

е) специальные символы и элементы, обозначаемые буквами греческого алфавита, используются 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 осветить содержание исследований, проведенных авторами.

В разделе «Заклучение» 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 импульсного закалочного охлаждения жидкостью (ТИЗОЖ)

**Предназначена** для упрочнения сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники.

**Преимущества ТИЗОЖ:** используются конструкционные нелегированные стали (типа 60ПП); высокая износостойкость изделий (ресурс лемехов, долот, дисков - не менее 50 га; ).

**Разработанная технология внедрена** на 13 предприятиях Республики Беларусь и применяется при изготовлении деталей на ОАО «КЗТШ», ПРУП «МЗШ», ДП «Минойтовский РЗ», ОАО «БЭМЗ», ОАО «Дрогиченский ТРЗ», ОАО «Бобруйскагропроммаш», ОАО «Оршаагропроммаш», КУПП «Берёза РАС», ОАО «Минский РАС», ОАО «Лида РАС», ОАО «Лидсельмаш», ОАО «Бобруйксельмаш», ОАО «Витебский МРЗ».

**Годовой экономический эффект** использования ТИЗОЖ на ОАО «БЭМЗ», ОАО «Минский РАС», ОАО «Витебский МРЗ» в 2017 году составил свыше 80 тыс. руб.

