



ISSN 2078-7138

# Агропанорама

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

№ 2  
апрель  
2016

**В номере:**

*Закономерности уплотнения почвы под воздействием колес сельскохозяйственных машин*

*Совершенствование ходовых систем тракторных прицепов грузоподъемностью 4...5 тонн*

*Использование мочевиноформальдегидной смолы в качестве консерванта-обогатителя при закладке кукурузного сilosа*

*Иновационные подходы к формированию и закреплению управленческого персонала в аграрном секторе экономики Республики Беларусь*



**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И  
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ФГБОУ ВО «РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. П.А. КОСТЫЧЕВА»**

**КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**Факультет предпринимательства и управления**

**Уважаемые коллеги!**

*Приглашаем Вас принять участие в работе  
8-й Международной научно-практической конференции  
**«Формирование организационно-эконо-  
мических условий эффективного  
функционирования АПК»,**  
которая состоится в Белорусском государственном  
аграрном техническом университете  
**26 - 27 мая 2016 г.***

**Основные направления работы конференции:**

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

**г. Минск, пр-т Независимости, 99, корпус 1  
Контактные телефоны: (+ 375 17) 267-60-64, 267-51-83  
E-mail: vms-2016g@mail.ru  
www.batu.edu.by**

# АГРОПАНОРАМА 2 (114) апрель 2016

Издается с апреля 1997 г.

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

Учредитель  
*Белорусский государственный  
аграрный технический университет*

Главный редактор  
Иван Николаевич Шило

Заместитель главного редактора  
Михаил Александрович Прищепов

Редакционная коллегия:

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

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

*Компьютерная верстка*  
В.Г. Леван

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

Прием статей и работа с авторами:  
Минск, пр-т Независимости, 99/5, к. 602, 608  
Тел. (017) 385-91-02, 267-22-14  
Факс (017) 267-25-71  
E-mail: [AgroP@batu.edu.by](mailto:AgroP@batu.edu.by)

БГАТУ, 2016.  
Формат издания 60 x 84 1/8.  
Подписано в печать с готового оригинала-  
макета 22.04.2016 г. Зак. № 354 от 20.04.2016 г.  
Дата выхода в свет 29.04.2016 г.  
Печать офсетная. Тираж 100 экз.  
Статьи рецензируются.  
Отпечатано в ИПЦ БГАТУ по адресу: г. Минск,  
пр-т. Независимости, 99, к.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 полгода 2016 г.:  
для индивидуальных подписчиков - 123 600 руб.;  
ведомственная - 152 052 руб.;  
Цена журнала - 32 000 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  
Закономерности уплотнения почвы под воздействием колес  
сельскохозяйственных машин.....2

- Г.И. Гедроитъ, А.Ф. Безручко, А.В. Матусевич  
Совершенствование ходовых систем тракторных прицепов  
грузоподъемностью 4...5 тонн.....8

- Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев, М.М. Дечко,  
Е.В. Сенчуро  
Факторный анализ процесса магнитно-абразивной обработки  
по производительности и качеству поверхности.....12

### Технологии производства продукции растениеводства и животноводства. Зоотехния

- Н.Н. Вечер, Е.А. Городецкая, И.Б. Дубодел,  
Т.А. Непарко, Ю.К. Городецкий, Д.Цвирко  
Влияние норм высева на продуктивность лекарственного  
сырья иссопа лекарственного (*Hyssopus officinalis L.*).....17

- В.А. Люндышев, В.Ф. Радчиков, Е.Ф. Саранчина,  
А.С. Краснослободцева, В.Е. Шредер, М.О. Касимова  
Использование мочевиноформальдегидной смолы в  
качестве консерванта-обогатителя при закладке  
кукурузного сilosа.....21

### Энергетика. Транспорт

- М.А. Прищепов, Д.М. Иванов, В.В. Смоленчук  
Анализ существующих и обоснование перспективной системы  
электропривода обкаточно-испытательных стендов  
механических передач.....26

- А.В. Крутов, М.А. Бойко  
Удаление взвешенных частиц в электромагнитном гидроциклоне  
при очистке сточных вод.....33

- А.М. Кравцов, Д.С. Шахрай  
Использование гидроструйных эжекторов в напорных  
гидравлических системах.....37

### Технический сервис в АПК. Экономика

- Н.С. Яковчик, А.Э. Шибеко  
Инновационные подходы к формированию и закреплению  
управленческого персонала в аграрном секторе экономики  
Республики Беларусь.....44

УДК 631.43:629.1

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ УПЛОТНЕНИЯ ПОЧВЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КОЛЕС СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ 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**

*ст. научн. сотр. РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук*

**В статье на основании теории распространения и поглощения энергии получены зависимости плотности различных слоев почвы от оказываемого на нее давления. Рассмотрены варианты деформирования исходной почвы с одинаковыми свойствами по глубине и почвы с плотным подстилаемым основанием.**

**Ключевые слова:** плотность, почва, напряжение, ходовая система, колесо, поглощение энергии, деформация сжатия, деформатор.

*In the article on the basis of the distribution and absorption theory of energy dependences of density of soil various layers on pressure put upon it are received. Options of deformation of the initial soil with identical properties on depth and soils with the dense spread basis are considered.*

**Keywords:** density of soil, stress, running system, wheel, energy absorption, compression, distortion, warp.

### **Введение**

Из-за воздействия ходовых систем машинно-тракторных агрегатов (МТА) снижается урожайность сельскохозяйственных культур. Так, урожайность зерновых в следах тракторов снижается на 10-15 %, а корнеклубнеплодов – на 20-30 %. Суммарная площадь следов движителей МТА почти в 2 раза превышает площадь обрабатываемой поверхности.

Повышение плотности почвы, вызванное воздействием движителей тракторов и сельскохозяйственных машин, привело к увеличению твердости почвы в 2-3 раза. Удельное сопротивление при обработке пахотного слоя после прохода тракторов повышается на 15-65 %, а транспортных средств и комбайнов – на 60-90 % [1].

При многократном воздействии на почву идет накопление уплотнения почвы, как в пахотном, так и в подпахотном горизонтах. Плохая заделка семян из-за образовавшейся колеи, высокая плотность почвы по следам ходовых систем значительно снижают биологический урожай сельскохозяйственных культур. Поэтому одним из резервов повышения урожайности и снижения энергетических затрат на их производство является поддержание и регулирование свойств почвы в оптимальном состоянии.

### **Основная часть**

Характер и закономерности уплотнения почвы зависят от размеров и режимов нагружения деформатора, а также от исходного состояния почвенного массива. При наличии взрыхленного слоя конечной толщины в расчетах, как правило, допускают, что уплотняется лишь этот слой.

Тракторы и другая сельскохозяйственная техника уплотняют почву на глубину, превышающую пахотный слой. Высота уплотняемого слоя зависит от размеров ходового аппарата и нагрузки, передаваемой через него на почву.

Анализ механико-математических моделей показал, что при расчете уплотнения почвы лучше всего подходит энергетический метод, учитывающий влияние закона поглощения энергии на изменение свойств почвы. Любое изменение свойств системы характеризуется изменением координат ее состояния, или обобщенных зарядов. Обобщенным зарядом воздействующего на почву колеса является его количество движения [1]:

$$k = m \cdot \vartheta,$$

где  $m$  – масса колеса, кг;

$\vartheta$  – скорость деформации почвы колесом, м/с.

Н.А. Умов установил, что в сплошных средах происходит распространение энергии и предложил следующую формулу потока энергии [2]:

$$\bar{q} = \bar{\vartheta} \left( p + \rho \cdot E_{\text{ен}} + \rho \frac{\vartheta^2}{2} \right),$$

где  $\bar{q}$  – вектор потока энергии;

$\bar{\vartheta}$  – вектор скорости;

$p$  – давление, Па;

$\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;

$E_{\text{ен}}$  – внутренняя энергия вещества, Дж.

Связь потока энергии и потока массы вещества такова, что энергия и количество массы, проходящие за единицу времени через малую площадку, изменяются пропорционально, а направления движения их совпадают. Н.А. Умов также выявил, что при движении энергии в твердых телах постоянной упругости сила упругости  $P$  связана следующей зависимостью с количеством протекающей через элемент в единицу времени энергии  $\mathcal{E}$ :

$$P \cdot i_p = -\mathcal{E} \cdot i_s,$$

где  $i_p$  – слагающая скорости элемента по направлению силы упругости;

$i_s$  – слагающая скорости по нормали к элементу площадки.

При распространении энергии в почвах происходит ее поглощение. В.В. Кацыгин [3] предложил следующую зависимость распределения энергии  $J_x$  впереди деформатора:

$$J_x = J_0 \cdot e^{-\beta_s x}, \quad (1)$$

где  $J_0$  – первоначальная энергия, Дж;

$\beta_s$  – коэффициент поглощения энергии, м<sup>-1</sup>;

$x$  – расстояние от опорной поверхности деформатора до точки полупространства, энергия в которой равна  $J_x$ , м.

В зависимости от интенсивности поглощения различными слоями почвы потока энергии происходит изменение напряженного состояния почвы, т.е. в ней возникает градиент напряжения. Возникшие в почве напряжения являются обобщенными потенциалами. Изменение обобщенного потенциала (напряжения) вызывает изменение сопряженного с ним обобщенного заряда.

Экспериментально установлено, что при возникновении в почве градиента напряжения, из всех физико-механических свойств ее наибольшему изменению подвергается плотность, поэтому ее можно принять в качестве обобщенного заряда.

Таким образом, увеличение плотности при воздействии колеса на почву является функцией напряжения почвы

$$\rho = f(\sigma).$$

Продифференцируем эту зависимость

$$d\rho = \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma,$$

$$\text{Тогда, получим } d\rho = k_1 \cdot d\sigma, \frac{\text{КГ}}{\text{м}^3 \times \text{Па}},$$

где  $k_1 = \partial \rho / \partial \sigma$  – коэффициент уплотнения почвы.

Коэффициент  $k_1$  – можно рассматривать как скорость изменения плотности почвы с ростом напряжения.

Установим закономерность распределения напряжений по глубине. При деформировании почвы наряду с ее уплотнением имеет место и сдвиг (рис. 1).

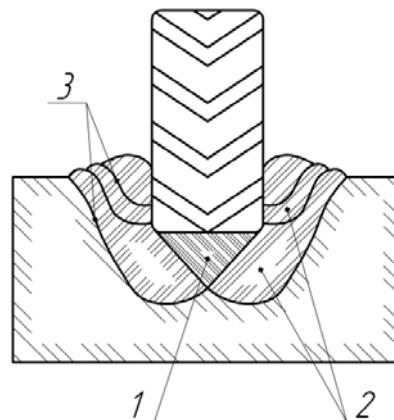


Рисунок 1. Схема образования ядра уплотнения в почве под движителем мобильной сельскохозяйственной техники: 1 – ядро уплотнения почвы; 2 – зоны сдвигов; 3 – площадки скольжения

Зависимость между напряжением  $\sigma$  и деформацией  $h$  подчиняется функции гиперболического тангенса, при этом интенсивность роста напряжения отстает от деформации (рис. 2) [3].

$$\sigma = p_0 \cdot \operatorname{th} \left( \frac{k}{p_0} \cdot h \right),$$

где  $p_0$  – предел несущей способности почвы, Па;  $k$  – коэффициент объемного смятия почвы, Па/м.

Зависимость деформации сжатия (уплотнения) неограниченного полупространства почвы, имеющей одинаковые физико-механические свойства по глубине, от напряжения пропорциональная (рис. 2, прямая ОА):

$$h_{\text{упл}} = \frac{\sigma}{k}. \quad (2)$$

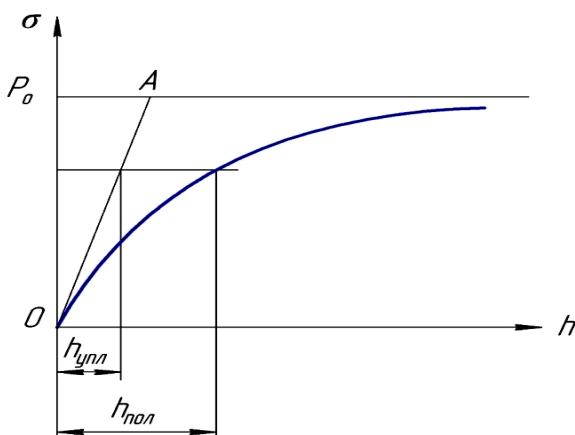


Рисунок 2. Зависимость между напряжением и деформацией почвы

Максимальная деформация уплотнения почвы каким-либо деформатором определяется отношением несущей способности к коэффициенту объемного смятия

$$h_{ypl\ max} = \frac{\rho_0}{k}. \quad (3)$$

Затраченная (поглощенная) на уплотнение почвы удельная энергия равна удельной работе, совершающей деформатором при перемещении его на величину  $h_{ypl}$ :

$$\mathcal{E}_{ypl} = \int h_{ypl}(\sigma) d\sigma \cdot \int \frac{\sigma}{k} = \frac{\sigma_0^2}{2 \cdot k}.$$

где  $\sigma_0$  – напряжение почвы в контакте с деформатором.

На расстоянии  $x$  поглощенная энергия будет равна

$$\frac{\sigma_x^2}{2k}$$

Подставив полученные выражения в уравнение (1), имеем

$$\frac{\sigma_x^2}{2k} = \frac{\sigma_0^2}{2k} \cdot e^{-\beta \cdot x}$$

Тогда

$$\sigma_x = \sigma_0 \cdot e^{-(1/2) \cdot \beta \cdot x}$$

Запишем это уравнение в виде

$$\sigma_x = \sigma_0 \cdot e^{-\beta \cdot x}, \quad (4)$$

где  $\beta = (1/2) \cdot \beta_0$  – коэффициент распределения напряжений,  $\text{м}^{-1}$ .

Приращение плотности почвы на участке  $dx$  пропорционально градиенту напряжения

$$d\rho_x = k_1 \cdot \psi_x dx,$$

где  $k_1$  – коэффициент уплотнения,  $\text{кг}/\text{Н}\cdot\text{м}$ ;

$\psi_x$  – градиент напряжения,  $\text{Па}/\text{м}$ .

При изучении процесса поглощения почвой энергии В. В. Кацыгиным [3] было принято следующее исходное уравнение:

$$\psi_x = -\beta_0 \cdot J,$$

где  $\psi_x$  – удельная поглощенная энергия, Дж;

$J$  – поток энергии, Дж·м.

Рассуждая аналогично, принимаем, что градиент напряжения пропорционален действующему напряжению

$$\psi_{\sigma_x} = -\beta \cdot \sigma_x.$$

Тогда, приращение плотности

$$d\rho_x = -k_1 \cdot \beta \cdot \sigma_x dx.$$

Подставив зависимость (4) распределения напряжений по глубине в последнее уравнение, получим

$$d\rho_x = -k_1 \cdot \beta \cdot \sigma_0 \cdot e^{-\beta \cdot x} dx. \quad (5)$$

Общий интеграл дифференциального уравнения (5)

$$\rho_x = k_1 \cdot \sigma_0 \cdot e^{-\beta \cdot x} + C$$

Постоянную интегрирования С находим из условия, что при  $x = 0$ ,  $\rho = \rho_0$

( $\rho_0$  – плотность почвы у основания деформатора по окончании процесса деформирования)

$$C = \rho_0 - k_1 \cdot \sigma_0.$$

Частное решение дифференциального уравнения (5):

$$\rho_x = \rho_0 - k_1 \cdot \sigma_0 \cdot (1 - e^{-\beta \cdot x}) \quad (6)$$

представляет собой закон распределения плотности по глубине деформированного полупространства.

Коэффициенты распределения напряжений  $\beta$  и уплотнения почвы  $k_1$  находятся на основании результатов экспериментальных данных по следующим формулам:

$$\beta = \frac{1}{x} \ln \frac{\sigma_0}{\sigma_x}, \quad (7)$$

$$k_1 = \frac{1}{\sigma_0} \cdot \frac{\rho_0 - \rho_x}{1 - e^{-\beta \cdot x}}. \quad (8)$$

Плотность верхнего слоя почвы  $\rho_0$  при напряжении  $\sigma_0$  – найдем исходя из того, что при воздействии на почву деформатором уплотняется только эффективный ее слой, высота которого зависит от величины контактного напряжения и физико-механических свойств почвы. Из зависимости (4) находим высоту эффективного слоя почвы

$$x_h = \frac{1}{\beta} \ln \left( \frac{\sigma_0}{\sigma_x} \right). \quad (9)$$

Напряжение  $\sigma_h$  выбирается из условия развития в зоне его действия только упругих деформаций (отсутствия уплотнения почвы). Его значение обусловлено свойствами почвы и колеблется в пределах 5 – 20 кПа.

Плотность  $\rho_h$  на нижней границе эффективного слоя после деформации равна плотности, не подвергшейся воздействию почвы.

Из уравнения (6)

$$\rho_0 = \rho_h + k_1 \cdot \sigma_0 \cdot (1 - e^{-\beta \cdot h}). \quad (10)$$

Учитывая, что  $\rho_h = \rho_n$ , а значение  $x_h$  вычисляется по формуле (9)

$$\rho_0 = \rho_h + k_1 \cdot \sigma_0 \cdot (1 - e^{-\ln(\sigma_0/\sigma_h)}).$$

Поскольку

$$e^{-\ln(\sigma_0/\sigma_h)} = \frac{\sigma_h}{\sigma_0},$$

то получим:

$$\rho_0 = \rho_n + k_1 \cdot \sigma_0 - k_1 \cdot \sigma_h.$$

При отсутствии воздействия ( $\sigma_0 = 0$ ) величина максимальной плотности  $\rho_0$  равняется плотности почвы  $\rho_n$ . С учетом этого, член  $k_1 \cdot \sigma_h$  (наличие его обусловлено некоторым уплотнением почвы в зоне действия напряжения  $\sigma_h$ ) в последнем уравнении должен равняться нулю. Величиной  $k_1 \cdot \sigma_h$  можно пренебречь, так как напряжение  $\sigma_h$  во много раз меньше  $\sigma_0$ .

Оценим величину погрешности в связи с пренебрежением членом  $k_1 \cdot \sigma_h$ . Воспользуемся при этом экспериментальными данными по уплотнению почвы. При воздействии на почву влажностью 19,2 % давлением 150 кПа плотность увеличилась с 970 до 1260 кг/м<sup>3</sup>.

Подставив эти данные в последнюю зависимость и приняв  $\sigma_h = 10$  кПа, можно записать:

$$1260 = 970 + 150 k_1 - 10 k_1.$$

Если обозначить член  $10 k_1$  через  $x$ ,

$$1260 = 970 + 15 x - x.$$

Отсюда  $x = 20$  кг/м<sup>3</sup>.

Таким образом,  $k_1 \cdot \sigma_h = 20$  кг/м<sup>3</sup> при начальной плотности почвы 970 кг/м<sup>3</sup>, что меньше величины колебаний плотности в зависимости от места взятия образца [1].

Тогда зависимость между плотностью почвы в контакте с деформатором и контактным напряжением, в случае деформации бесконечного полупространства почвы, линейна

$$\rho_0 = \rho_n + k_1 \cdot \sigma_0. \quad (11)$$

Установим, как соотносятся между собой коэффициент  $k_1$  с коэффициентами распределения напряжений  $\beta$  и объемного смятия почвы  $k$ .

С этой целью, максимальную плотность почвы при напряжении  $\sigma_0$  находим из условия, что на

уплотнение эффективного слоя  $x_h$  (рис. 1) идет объем почвы с высотой, равной величине деформации уплотнения  $h_{y_{pp}}$ , определяемой по формуле (2).

Масса слоя, подвергающегося уплотнению, с основанием, равным площади опорной поверхности деформатора  $F$ , до деформирования

$$M_\Pi = F \cdot \rho_\Pi \left( x_h + \frac{\sigma_0}{k} \right).$$

Масса уплотненного эффективного слоя почвы

$$M_\Pi = F \int_0^{x_h} [\rho_0 - k_1 \cdot \sigma_0 (1 - e^{-\beta \cdot x})] dx$$

Значение этого интеграла равно

$$\begin{aligned} M_\Pi &= F \left[ \rho_0 \cdot x - k_1 \cdot \sigma_0 \left( x + \frac{1}{\beta} e^{-\beta \cdot x} \right) \right] \Big|_0^{x_h} = \\ &= F \left[ \rho_0 \cdot x_h - k_1 \cdot \sigma_0 \left( x_0 + \frac{1}{\beta} e^{-\beta \cdot x_h} - \frac{1}{\beta} \right) \right]. \end{aligned}$$

Приравняв правую часть полученного выражения к значению массы эффективного слоя почвы до деформирования, получим

$$\rho_0 \cdot x_h - k_1 \cdot \sigma_0 \left( x_h + \frac{1}{\beta} e^{-\beta \cdot x_h} - \frac{1}{\beta} \right) = \rho_\Pi \left( x_h + \frac{\sigma_0}{k} \right),$$

откуда

$$\rho_0 = \rho_\Pi + k_1 \cdot \sigma_0 + \frac{\rho_\Pi}{k} \cdot \frac{\sigma_0}{x_h} - \frac{k_1}{\beta} \cdot \frac{\sigma_0}{x_h} + \frac{k_1}{\beta} \cdot \frac{\sigma_h}{x_h}.$$

Для значений  $\beta > 1$  членом  $(k_1 / \beta) \cdot (\sigma_h / x_h)$  можно пренебречь.

Тогда

$$\rho_0 = \rho_\Pi + k_1 \cdot \sigma_0 + \frac{\rho_\Pi}{k} \cdot \frac{\sigma_0}{x_h} - \frac{k_1}{\beta} \cdot \frac{\sigma_0}{x_h}. \quad (12)$$

В соответствии с формулами (11) и (12)

$$\frac{\rho_\Pi}{k} \cdot \frac{\sigma_0}{x_h} = \frac{k_1}{\beta} \cdot \frac{\sigma_0}{x_h}.$$

Отсюда

$$k_1 = \frac{\rho_\Pi \cdot \beta}{k}.$$

При этом зависимость (11) плотности верхнего слоя почвы от напряжения примет вид

$$\rho_0 = \rho_\Pi \left( 1 + \frac{\beta}{k} \sigma_0 \right). \quad (13)$$

Зависимость распределения плотности почвы по глубине с учетом полученного значения коэффициента уплотнения  $k_1$  и формулы (13) примет вид

$$\rho_x = \rho_\Pi \left( 1 + \frac{\beta}{k} \sigma_0 \cdot e^{-\beta \cdot x} \right). \quad (14)$$

Зависимость (14) получена исходя из предположения, что распределение напряжений и плотности почвы по глубине не зависит от величины давления. Однако известно [4], что при достижении давлением величины предела несущей способности почвы, плотность в образовавшемся ядре уплотнения одинакова по глубине. Распределение плотности почвы по высоте уплотненного ядра в этом случае изобразится прямой линией, параллельной оси ординат (рис. 3а), что соответствует характеру протекания пластических деформаций. Поэтому при контактных напряжениях, близких к пределу несущей способности почвы, зависимость (13) может отклониться от пропорциональной (рис. 3б, линия 1).

Установлено [5], что при сжатии сравнительно

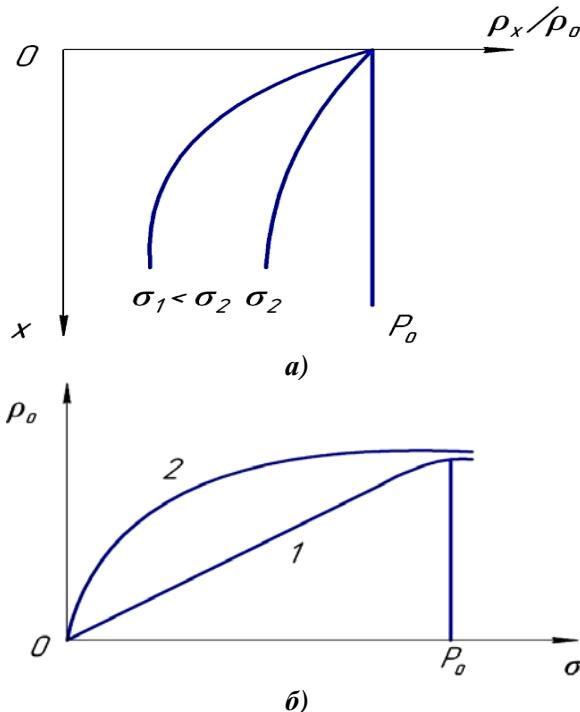


Рисунок 3. Зависимость плотности почвы от напряжения: а – по глубине; б – верхнего слоя;  
1 – с возможностью бокового расширения;  
2 – без возможности бокового расширения

тонкого слоя грунта без возможности бокового расширения зависимость плотности почвы от удельного давления имеет вид экспоненты (рис. 3б, кривая 2). Нарастание уплотнения почвы в этом случае будет происходить интенсивнее, чем при деформировании полупространства с ограниченной возможностью бокового расширения, так как во втором случае затрачивается дополнительная энергия на уплотнения нижележащих слоев почвы. Однако в связи с тем, что плотность почвы имеет верхний предел, определяемый типом, структурой и влажностью ее, при дальнейшем увеличении давления интенсивность нароста-

ния плотности снижается, что и определяет экспоненциальный характер кривой 2.

Уплотнение верхнего слоя почвы найдем из выражения (13)

$$\frac{\rho_0}{\rho_n} = 1 + \frac{\beta}{k} \sigma_0. \quad (15)$$

Таким образом, уплотняющее воздействие можно оценивать величиной плотности почвы в контакте с деформатором (13), или уплотнением верхнего слоя почвы (15), высотой уплотняемого слоя (9) и распределением плотности по глубине (14).

Проанализируем, как соотносятся деформации уплотнения и сдвига для различных типов почв. При воздействии нагрузкой на рыхлые почвы под подошвой штампа наблюдается четкий контур уплотненного ядра [5], линии сдвига внутри массива обнаруживаются лишь при достижении давлением величины, близкой к несущей способности почвы. При нагружении уплотненных песчаных почв на поверхности появляются линии выпора уже при небольших деформациях, после чего происходит формирование уплотненного ядра. Относительная величина сдвига в общей осадке для данного случая выше, чем для рыхлых почв.

Рассмотрим процесс уплотнения почвы, подстилаемой плотным основанием (рис. 4.4а). При выводе зависимости между контактным напряжением и плотностью почвы будем допускать, что уплотняется только пахотный слой, высотой  $H$ . Это допущение основано на том, что рыхлая почва характеризуется повышенной способностью поглощения.

Масса слоя почвы, подвергающегося уплотнению штампом с единичной площадью основания, равна

$$M_n = (H - 2 \cdot v \cdot h) \cdot \rho_n, \quad (16)$$

где  $v$  – коэффициент бокового расширения почвы для случая деформации почвы с ограниченной возможностью бокового расширения.

После уплотнения эффективный слой почвы имеет высоту  $(H - h)$ .

Тогда масса слоя почвы после воздействия штампом с единичной площадью

$$M_n = F \int_0^{H-h} \rho(x) dx$$

Зависимость плотности почвы от глубины  $x$  выражается формулой (6). С учетом этого

$$M_n = \int_0^{H-h} \left[ \rho_0 - k_1 \cdot \sigma_0 \cdot (1 - e^{-\beta \cdot x}) \right] dx$$

Значение этого интеграла равно

$$M_n = \left\{ \rho_0 (H-h) - k_1 \cdot \sigma_0 \cdot \left[ (H-h) + \frac{1}{\beta} e^{-\beta(H-h)} - \frac{1}{\beta} \right] \right\}. \quad (17)$$

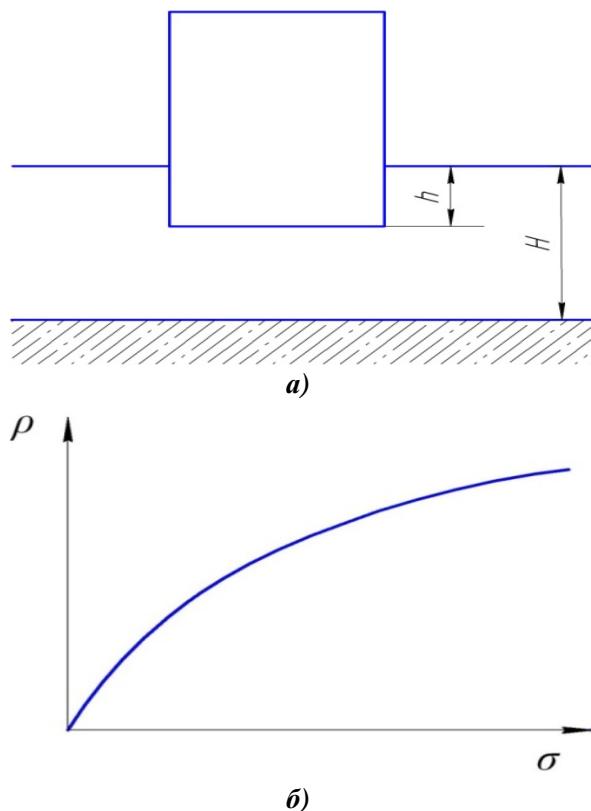


Рисунок 4. Влияние плотного подстилающего слоя на уплотнение почвы: а) схема нагружения; б) зависимость между напряжением и плотностью

Из зависимостей (16) и (17) найдем плотность верхнего слоя почвы после уплотнения:

$$\rho_0 = \rho_n \frac{H - 2 \cdot v \cdot h}{H - h} + \frac{k_1 \cdot \sigma_0}{H - h} \times \left[ (H - h) + \frac{1}{\beta} \left( e^{-\beta(H-h)} - 1 \right) \right]. \quad (18)$$

Значение величины деформации почвы  $h$  предварительно определяется по формуле

$$\sigma = \frac{a}{b} \cdot \operatorname{tg}(a \cdot b \cdot h), \quad (19)$$

где  $a = \sqrt{k_0}$ ;

$$b = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{h_{yml} \sqrt{k_0}},$$

$$h_{yml} = H \cdot \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_{min}}{(1 + \varepsilon_0)[1 - 2 \cdot v(1 + \varepsilon_{min})]},$$

где  $h_{yml}$  – предельная величина деформации, м;  $H$  – высота пахотного слоя, м;

$\varepsilon_0$  – коэффициент пористости почвы до нагружения;  $\varepsilon_{min}$  – минимально возможный коэффициент пористости почвы;

$v$  – коэффициент бокового расширения почвы для случая деформирования с ограниченной возможностью расширения.

Значение коэффициента  $b$  находилось из предположения о недеформируемости подстилаемого основания.

Зависимость между плотностью верхнего слоя почвы и величиной контактного напряжения показана на рис. 4, б.

## Выводы

Степень уплотняющего воздействия ходовых систем на почву можно оценивать величиной плотности верхнего слоя почвы, характером распределения плотности почвы по глубине и высотой уплотняемого слоя. Предложенные закономерности уплотнения почв позволяют определить основные критерии и величины, которые оказывают наибольшее влияние на изменение свойств почвы. Данные зависимости могут быть использованы для выбора типа и параметров ходовых систем, а также режимов работы почвообрабатывающих машинно-тракторных агрегатов, обеспечивающих допустимое воздействие ходовых систем на почву.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орда, А. Н. Эколого-энергетические основы формирования машинно-тракторных агрегатов: автореф. дис... докт. техн. наук: 05.20.03 / А.Н. Орда; Белор. аграрный технич. ун-т. – Мин., 1997. – 269 с.
2. Гуло, Д. Д. Пособие для учащихся / Д.Д. Гуло, Н.А. Умов. – М.: Просвещение. – 1977. – 128 с.
3. Кацыгин, В. В. Основы теории выбора опимальных параметров мобильных сельскохозяйственных машин и орудий / В.В. Кацыгин // Вопросы сельскохозяйственной механики: т. 3. – Минск: Ураджай, 1964. – С. 5-147.
4. Кушнарев, А.С. Уменьшение водного воздействия на почву рабочих органов и ходовых систем машинных агрегатов при внедрении индустриальных технологий возделывания сельскохозяйственных культур / А.С. Кушнарев, В.М. Мацепуро. – М.: Всесоюзный орден «Знак Почета» сельскохозяйственный институт заочного образования, 1986. – 56 с.
5. Черкасов, И. И. Механические свойства грунтов в дорожном строительстве / И.И. Черкасов. – М.: Транспорт, 1976. – 248 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 15.02.2016

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ХОДОВЫХ СИСТЕМ ТРАКТОРНЫХ ПРИЦЕПОВ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 4...5 ТОНН

**Г.И. Гедроить,**

зав. каф. тракторов и автомобилей БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

**А.Ф. Безручко,**

доцент каф. тракторов и автомобилей БГАТУ, канд. техн. наук

**А.В. Матусевич,**

ассистент каф. моделирования и прогнозирования экономики АПК БГАТУ

*Приведены результаты полевых и дорожных исследований тракторных прицепов, оборудованных пневматическими шинами, обеспечивающими разное давление на почву.*

*Ключевые слова:* прицеп, пневматическая шина, трактор, почва, давление, плотность почвы, глубина следа, сопротивление качению

*Data quotation for field and road service tests of tractor trailers with pneumatic tires ensuring different ground pressure.*

*Keywords:* trailer, pneumatic, tractor, ground pressure, soil density, track depth, rolling resistance.

## Введение

Транспорт в сельском хозяйстве обеспечивает технологические процессы внутри отрасли, а также связь сельского хозяйства с другими отраслями народного хозяйства. От степени развития транспорта и эффективности его использования во многом зависят результаты всего сельскохозяйственного производства. Из-за несвоевременной поставки грузов срываются графики работы, простаивает машинно-тракторный парк, не вывозится своевременно сельскохозяйственная продукция, снижается ее качество. Это приводит к значительным потерям. В современном сельскохозяйственном производстве на каждый гектар пашни приходится 40...45 т грузов. Внутрихозяйственные перевозки достигают 80..85 % от всего объема транспортных работ, характеризуются небольшими расстояниями (5..7 км) и выполняются в основном по грунтовым и полевым дорогам [1].

Современные колесные тракторы приспособлены для выполнения внутрихозяйственных транспортных работ. Имеется комплект тягово-цепных устройств для агрегатирования машин, гидропривод для управления внешними потребителями, привод тормозных механизмов прицепа, система электрооборудования. Транспортные скорости в зависимости от дорожных условий, типа машины и загрузки составляют 15...35 км/ч. Однако конструкции ходовых систем тракторов и прицепов противоречивы. Ходовая система трактора сконструирована с учетом выполнения большинства работ в полевых условиях, а прицепов для дорог. Рабочее давление воздуха в шинах тракторов устанавливается

преимущественно в пределах 0,10...0,17 МПа, а в шинах прицепов – 0,25...0,41 МПа.

Цель настоящей работы – обосновать типоразмер шин для прицепов грузоподъемностью 4...5 т, обеспечивающих соизмеримый с тракторами уровень воздействия на почву.

## Основная часть

На территории Беларуси до 2000 года одним из основных тракторных прицепов являлся прицеп российского производства 2 ПТС-4 и его модификации. Эксплуатируются такие прицепы и в настоящее время. Однако в Беларуси рядом предприятий освоено производство тракторных прицепов и полуприцепов (табл. 1). В зависимости от грузоподъемности они агрегатируются с тракторами тягового класса 1,4 и выше, как одиночные, или в составе тракторных поездов. Выпускаются также прицепы меньшей грузоподъемности: ПТУ-3,5; ПСМ-2,5; ПСТ-1,5 и др.

В настоящее время в качестве стандартных нормируемых показателей уровня воздействия ходовых систем на почву приняты максимальные давления движителей на почву и нормальные напряжения в почве на глубине 0,5м [2]. Основой для расчета указанных показателей являются: нормальная нагрузка на колесо и параметры пятна контакта шины на жестком основании. Среднее давление шин на жесткое основание обычно несколько выше давления воздуха в шинах, однако для некоторых широкопрофильных и арочных шин оно может быть и ниже [3]. Такие отклонения связаны с особенностями конструкции протекторной части шин, характером их деформирования, жестко-

стью каркаса и принятой методикой определения параметров контакта шины с жестким основанием.

Для почв средней влажности большинство тракторов ОАО «МТЗ» соответствуют нормам по уровню воздействия на почву [4]. Максимальное давление на почву шин тракторных прицепов в 2...3 раза выше. Наиболее реально обеспечить допустимый уровень воздействия на почву ходовых систем для прицепов невысокой грузоподъемности. Поэтому в качестве объектов исследований выбраны прицепы с базовой грузоподъемностью – 4 т (табл. 2).

При установке шин другого размера происходит изменение колеи, габаритов, показателей торможения, положения центра тяжести, поперечной устойчивости и других параметров машин. Выбранная для модернизации шина 16,5/70-18 позволяет снизить уровень воздействия ходовой части прицепа на почву при соблюдении допустимых параметров

прицепа (рис. 1). Так, транспортный габарит по боковинам шин одной оси составил 2,45 м (допустимый для дорог общего пользования в Беларусь – 2,55 м), а угол поперечной устойчивости по расчетам для модернизированного прицепа увеличился до 42,2° по сравнению с 41,8° у серийного. Установка шин большего размера нарушила бы эти требования. Значения



Рисунок 1. Прицеп 2ПТС-4М

**Таблица 1. Параметры тракторных прицепов и полуприцепов**

Наименование производителя	Марка прицепа	Масса груза, кг	Масса* прицепа, кг	Кол-во осей/колес, шт	Шины	Колея, м	Объем кузова*, м <sup>3</sup>
ОАО «УКХ «Бобруйскагромаш»	2 ПТС-4,5	4500	2250	2/4	13,0/75-16	1,95	4,7
	2 ПТС-6	6000	2350	2/4	13,0/75-16		4,7
	ПСТБ-6	6500	2440	1/2	16,5/70-18		7,5
	ПСТ-9	9500	3400	б.т.**/4	16,5/70-18		10,5
	ПСТ-12	12000	3500	б.т./4	16,5/70-18		12,5
	ПСТБ-12	12000	4500	б.т./4	16,5/70-18		15
	ПСТБ-17	17000	6300	1/2+б.т./4	16,5/70-18		20,5
ОАО «Бобруйск-сельмаш»	ПТУ-7,5	7500	2500	б.т./4	13,0/75-16		5,5
ОАО «Дрогичинский трактороремонтный завод»	ПТ-6,2	6000	2180	2/4	13,0/75-16	1,62	8,4
ОАО «Лидаагропроммаш»	2 ПТС-14	14000	3750	2/4		2,0	9,8
ОДО «Дормашэкспо»	2 ПТС-4,5	4500	2000	2/4	9,00-16 10,00/80-15,3	1,85	5,0
	2 ПТС-6,5	6500	2200	2/4	10,00-16	1,85	6,0
	3 ПТС-9	9000	3200	3/6	11,5/80-15,3	1,85	10,0
ОАО «Оршаагропроммаш»	2 ПТС-5	5000	1800	2/4		1,8	5,0
ОАО «Завод Минскагромаш»	ПСМ-4,5	4500	2000	2/4	100/75-15,3	1,9	5,2
ОАО «Мозырский машиностроительный завод»	2 ПТС-4,5	4500	1750	2/4	9,00-16		5,0

\* – без надставных бортов; \*\* – балансирная тележка

**Таблица 2. Характеристика объектов исследований**

Объект	Масса с грузом, кг	Обозначение шин	Давление воздуха в шинах, кПа	Среднее давление на жесткое основание, кПа	Статический радиус шины, мм	Колея, мм
2 ПТС -4	5490	9,00-16	350	369	412	1800
2ПТС-4М	6100	16,5/70-18	70 130	134 183	477 494	1970
БЕЛАРУС-80	3235	7,5-20 (передние) 15,5-38 (задние)	100 100	– –	– –	1480 1500

давления воздуха в шинах – 16,5/70-18 выбирались из условия обеспечения их относительной деформации – 16...20 %. Разница в массе прицепов связана с увеличением массы модернизированного прицепа. Масса груза в обоих случаях составляла 4000 кг.

Выполнены исследования статических характеристик шин, дорожные исследования прицепов на грунтовой дороге, асфальте и полевые исследования на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве влажностью 25...28 %, вспаханной на глубину 0,25 м за 15 дней до опытов. Влажность почвы соответствует примерно 0,9 ее наименьшей влагоемкости (НВ) [2].

Применение шин 16,5/70-18 на прицепе 2ПТС-4М позволяет снизить среднее давление на жесткое основание в 2 и 2,75 раза при давлении воздуха в шинах 130 и 70 кПа. Максимальные давления на почву составляют 425 кПа у серийного прицепа, 229 и 168 кПа у модернизированного. По этому параметру ходовая часть модернизированного прицепа при давлении воздуха в шинах – 70 кПа обеспечивает допустимые нормы [2] для почв с влажностью 0,6...0,7 НВ и на 8 % превышает нормы для почв влажностью 0,7...0,9 НВ. Значение допустимого максимального давления для рассматриваемых почвенных условий составляет соответственно 182 и 156 кПа. Нормальные напряжения в почве на глубине 0,5 м во всех вариантах ниже допустимых.

Отмечено уменьшение плотности почвы и глубины следа под ходовой системой прицепа 2ПТС-4М (табл. 3). Плотность почвы на контролльном участке в слое 200...300 мм составляла 1231 кг/м<sup>3</sup>.

**Таблица 3. Плотность почвы и глубина следа после проходов прицепов и трактора БЕЛАРУС-80**

Объект	Масса, кг	Давление воздуха в шинах, кПа	Плотность почвы по следу, кг/м <sup>3</sup>		Глубина следа, мм	
			слой 0...100 мм	слой 100...200 мм	1 проход	2 проход
Контроль			949	1147	-	-
2ПТС-4	1490	350	1362	1376	129	144
	5490	350	1381	1429	190	208
2ПТС-4М	2100	70	1266	1256	92	113
	6100	70	1315	1385	97	110
	6100	130	1371	1377	118	-
БЕЛАРУС-80	3235	100	1347	1380	135	-
HCP <sub>05</sub>			33	41	7	-

Повышение плотности почвы в слое 0...200 мм по следам прицепа 2ПТС-4 составило 321...357 кг/м<sup>3</sup>, а ее значения достигли 1362...1429 кг/м<sup>3</sup>. Изменение плотности почвы по следам прицепа 2ПТС-4М при давлении воздуха в шинах 70 кПа ниже на 54 и 107 кг/м<sup>3</sup> соответственно для груженого и разгруженного прицепов. Отметим, что при движении прицепа 2ПТС-4 наблю-

далось выдавливание почвы в стороны и можно ожидать, что на более сухих почвах указанная разница увеличится. Это подтверждают и полученные данные. Так, в слое 100...200 мм разность значений плотности почвы в следах груженых прицепов составляет 44 кг/м<sup>3</sup>, а в следах разгруженных прицепов, когда глубина следа серийного прицепа снизилась более чем в 1,4 раза и уменьшились сдвиги почвы, эта разность увеличилась до 121 кг/м<sup>3</sup>.

Выявлены преимущества ходовой системы загруженного прицепа 2ПТС-4М и по глубине следа, которая в 2 и 1,6 раза меньше при давлении воздуха в шинах, соответственно, 70 и 130 кПа. Глубина следа колес серийного прицепа достигает 190 мм, что недопустимо, так как затрудняется выполнение и ухудшается качество проведения последующих операций, уменьшается скорость движения других агрегатов, а, следовательно, их производительность. Кроме того, такая глубина следа снижает плодородие пахотного горизонта, поскольку при вспашке, особенно поворотных полос, в него может выноситься неплодородная почва подстилающего слоя. Почва остается уплотненной и после вспашки, глубина которой на дерново-подзолистых почвах составляет 0,22 м. При повторных проходах по одному следу глубина его увеличивалась на 10...25 %. Абсолютные значения глубины следов высоки даже после проходов 2ПТС-4М и составляют 92 и 97 мм. Это связано с тем, что допустимый уровень максимального давления на почву для условий опытов не был достигнут. При соблюдении норм [2] глубина следов не превышает 50 мм [4].

В результате исследований установлено (табл. 4), что в полевых условиях сила сопротивления качению груженого прицепа 2ПТС-4М при давлении воздуха в шинах 70 кПа в 1,55 раза меньше, чем груженого 2ПТС-4. При этом коэффициент сопротивления качению ниже в 1,72 раза. Повышение давления воздуха в шинах 2ПТС-4М до 130 кПа приводит к увеличению силы сопротивления качению по полю, однако эта сила

остается в 1,37 раза меньше, чем у 2ПТС-4.

Следует полагать, что силы сопротивления качению могут быть снижены путем обеспечения одинаковой колеи трактора и прицепа, так как в этом случае уменьшаются потери на деформацию почвы колесами прицепа. Косвенно это подтверждается и результатами повторных проходов агрегатов по одному

**Таблица 4. Силы сопротивления качению прицепов**

Объект	Масса, кг	Давление воздуха в шинах, кПа	Сила сопротивления качению, Н			Коэффициент сопротивления качению		
			Поле	Асфальт	Грунтовая дорога	Поле	Асфальт	Грунтовая дорога
2ПТС-4	1490	350	1879	176	-	0,126	0,012	-
	5490	350	8624	1105	1784	0,157	0,020	0,033
2ПТС-4М	2100	70	2245	722	-	0,107	0,034	-
		100	-	517	-	-	0,025	-
		130	2368	346	-	0,113	0,017	-
6100	70	5560	2693	3100	0,091	0,044	0,051	
	100	-	2145	2657	-	0,035	0,044	
	130	6310	1732	2343	0,103	0,028	0,038	

следу. Коэффициент сопротивления качению уменьшался в 1,2...1,7 раз и был ниже у прицепа 2ПТС-4М.

Как указывалось выше, исследования проведены в условиях высокой влажности почв. В более типичных для работы прицепов условиях значения глубины следа и сил сопротивления качению будут ниже. Из-за запаса допустимой нагрузки на шины и более прочной конструкции узлов прицепа 2ПТС-4М его грузоподъемность на сухих почвах и на дорогах может быть увеличена до 5 т.

При движении по асфальту и грунтовой дороге потери на перекатывание прицепа 2ПТС-4М больше, чем серийного. Это объясняется большими значениями гистерезисных потерь в материале шин, трения в контакте и повышенной (на 40 %) массой 2ПТС-4М. Четко прослеживается закономерность снижения силы сопротивления качению при увеличении давления воздуха в шинах прицепа 2ПТС-4М. Так, при давлении воздуха в шинах – 70 кПа коэффициент сопротивления качению груженого прицепа 2ПТС-4М на асфальте больше, чем прицепа 2ПТС-4 в 2,2 раза, а при давлении воздуха 130 кПа – в 1,4 раза. На грунтовой дороге при этом коэффициент сопротивления качению прицепа 2ПТС-4М выше только в 1,15 раза. Потери в шинах, как известно, можно уменьшить увеличением давления воздуха в них при выезде на дорогу. Однако это усложняет конструкцию машин, требуется время на установку давления в шинах.

Отметим, что шина 16,5/70-18 создана под нагрузки 3250...3650 кг. Соответственно имеет и более массивные элементы конструкции и потери в них. Поэтому для прицепов грузоподъемностью 4...5 тонн с нагрузкой на колесо 1500...2000 кг важно создавать специальные шины низкого давления с близкими к указанной выше размерами, уменьшенным числом слоев корда, усовершенствованным профилем, протекторной частью и диапазоном рабочих давлений воздуха 60...150 кПа. Это позволит уменьшить потери на передвижение в полевых условиях и особенно

по дорогам. Радикально повысить эффективность ходовых систем машин можно путем разделения их на полевые и дорожные.

### Заключение

Применение шин 16,5/70-18 вместо 9,00-16 на прицепах типа 2ПТС-4 позволяет уменьшить уплотнение почвы и сократить потери на качение в полевых условиях. Обеспечивается допустимый уровень воздействия на почву при ее влажности 0,6...0,7 НВ и работоспособность на переувлажненных участках. На транспортных работах и на сухих почвах возможно увеличение грузоподъемности прицепов.

Целесообразно создание шин для тракторных прицепов с рабочим давлением воздуха в них – 60..150 кПа и соответствующими элементами конструкции. Такие прицепы эффективно использовать в качестве полевых (только для перевозок по полю).

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков, А.В. Техническое обеспечение производства растениеводства. Практикум: учеб. пос. / А.В. Новиков, А.П. Ляхов, Т.А. Непарко [и др.]. – Минск: БГАТУ , 2011. – 408 с.

2. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву: ГОСТ 26955-86 . – М.: Издательство стандартов, 1986. – 7 с.

3. Гедроить, Г.И. Опорные свойства шин для сельскохозяйственной техники / Г.И. Гедроить //Агропанорама, 2009. – № 4. – С. 23-27.

4. Гедроить, Г.И. Допустимый уровень воздействия ходовых систем сельскохозяйственной техники на почву / Г.И. Гедроить, Ю.И. Томкунас, Ф.Д. Чечеткин // Агропанорама, 2013. – № 5. – С. 10-15.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 09.03.2016

УДК 621.923.04 + 519.237.7

# ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ПО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВУ ПОВЕРХНОСТИ

**Л.М. Акулович,**

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

**Л.Е Сергеев,**

доцент каф. технологии металлов БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

**М.М. Дечко,**

доцент каф. основ научных исследований и проектирования БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

**Е.В. Сенчурев,**

нач. отдела внедрения НТР НИИМЭСХ БГАТУ

*Представлены результаты статистического анализа экспериментального исследования параметров качества обработанной поверхности колец шарикоподшипников из стали ШХ15 и производительности процесса при магнитно-абразивной обработке (МАО). Выявленные корреляционные связи позволяют объединить параметры в три независимые группы, которые можно использовать для анализа влияния режимов МАО на качество поверхности и производительность процесса и для их оптимизации.*

*Ключевые слова:* магнитно-абразивная обработка, качество поверхности, съем материала, статистический анализ, оптимизация.

*Results of the statistical analysis of a pilot study of parameters of the quality processed surface of rings of ball-bearings from ShH15 (1.2067) steel and productivity of process at magnetic and abrasive processing are presented. The revealed correlation communications allow uniting parameters in three independent groups which can be used for the analysis of influence of the modes of magnetic and abrasive processing on quality of a surface and productivity of process and for their optimization.*

*Keywords:* magnetic abrasive machining, the surface quality, material removal, statistical analysis, optimization..

## Введение

Совершенствование технологии производства направлено на решение двух важнейших задач, обеспечивающих конкурентоспособность выпускаемой продукции, – повышение качества изделий и снижение затрат на их производство. Качество продукции определяет комплекс эксплуатационных параметров изделия. Однако оценка многих из этих параметров на стадии проектирования проблематична по причине сложности их моделирования. Эта проблема характерна для большинства изделий машиностроительного назначения, работоспособность которых зависит от их способности противостоять износу и разрушению. Поэтому для прогнозирования эксплуатационных параметров важно определить комплекс свойств, который позволяет надежно прогнозировать эксплуатационные параметры, оценивать эти свойства на стадии разработки изделия или процесса его производства, управлять каждым из этих свойств независимо друг от друга. Последнее условие определяется особенностями применяемой технологии изготовления.

## Основная часть

Магнитно-абразивная обработка (МАО) – один из перспективных способов финишной обработки, техно-

логические особенности которого обеспечили ему особое место в ряду методов абразивного резания [1, 2]. Специфические особенности взаимодействия абразивных зерен, удерживаемых магнитным полем, с обрабатываемой деталью обуславливают особенности формирования качества обработанной поверхности. Параметрами качества поверхности являются ее макро- и микрогеометрия, физико-механические свойства поверхностных слоев материала и остаточные напряжения в них. Формирование параметров качества определяется процессами микрорезания и деформаций, реализуемыми при МАО и зависящими от ее режимов. При этом можно ожидать, что формирование различных параметров качества обработанной поверхности обуславливается одними и теми же процессами, сопровождающими МАО, вследствие чего возможна взаимозависимость получаемых параметров качества, а также их связь с достижимыми при этом параметрами съема обрабатываемого материала.

Цель данного исследования – на основе факторного анализа установить обобщенные характеристики процесса МАО по производительности и показателям качества поверхности.

Экспериментальное исследование проведено при МАО колец шарикоподшипников из стали ШХ-15.

Технологические режимы МАО и диапазоны их варьирования представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Технологические режимы МАО**

Фактор режима МАО	Единица измерения	Диапазон варьирования	
		min	max
Скорость вращения заготовки	м/с	1,15	5,85
Скорость осцилляции полюсных наконечников	м/с	0,121	0,319
Величина магнитной индукции	Тл	0,42	0,98
Амплитуда осцилляции полюсных наконечников	мм	0,55	2,25
Шероховатость поверхности детали до МАО, $R_a$	мм	0,305	1,295
Время обработки	с	17,6	102,4

Технологические режимы МАО варьировали согласно матрице ротатабельного плана из 77 опытов с 4-х кратным дублированием в центральной точке, то есть получено 80 образцов для анализа, на которых измерены следующие параметры, характеризующие качество обработанной поверхности и съем обрабатываемого материала:

- $\Delta g$ , мг/(см<sup>2</sup>мин) – скорость съема массы металла с единицы площади обработанной поверхности детали (далее – удельный съем);
- $\Delta D_1$ , мкм – размерный съем по дну беговой дорожки;
- $\Delta D_2$ , мкм – размерный съем по стенке беговой дорожки;
- $R_a$ , мкм – параметр шероховатости после обработки;
- $\beta_1$ , нм – размер блоков когерентного рассеяния в поверхностном слое до МАО;
- $\beta'_1$ , нм – размер блоков когерентного рассеяния в поверхностном слое после МАО;
- $\Delta\beta_1$ , нм – изменение размера блоков когерентного рассеяния в поверхностном слое;
- $\beta_2$ , МПа – напряжение 2-го рода в поверхностном слое до МАО;
- $\beta'_2$ , МПа – напряжение 2-го рода в поверхностном слое после МАО;
- $\Delta\beta_2$ , МПа – изменение напряжения 2-го рода в поверхностном слое;
- $P$ , МПа – напряжение 2-го рода в поверхностном слое до МАО;
- $P'$ , МПа – напряжение 2-го рода в поверхностном слое после МАО;
- $\Delta P$ , МПа – изменение напряжения 1-го рода;
- $A$ , % – содержание аустенита в поверхностном слое до МАО;
- $A'$ , % – содержание аустенита в поверхностном слое после МАО;

–  $\Delta A$ , % – содержание аустенита в поверхностном слое.

Измеренные значения параметров представляют собой случайные величины, подчиняющиеся определенным законам распределения. Для поиска взаимосвязи случайных величин широко применяется метод парного корреляционного анализа [3], для корректного применения которого распределения случайных величин должно удовлетворительно описываться нормальным законом вероятностей. Для оценки распределений значений параметров, оцениваемых в нашем эксперименте, построены гистограммы и выполнены расчеты критерия Колмогорова-Смирнова для

предварительной оценки вероятности принадлежности распределения к нормальному (рис. 1).

Выполненный анализ показывает, что нормальному закону распределения с вероятностью  $p > 0,2$  не противоречат распределения параметров  $\Delta D_1$ ,  $\Delta D_2$ ,  $\beta'_1$ ,  $\beta'_2$ ,  $\Delta\beta_2$ ,  $P$ ,  $P'$ ,  $\Delta P$ ,  $A$ ,  $\Delta A$ . При этом ряд важных для дальнейшего анализа параметров не может быть удовлетворительно описан нормальным законом распределения. Так, параметр удельного съема  $\Delta g$ , характеризующий производительность МАО, имеет значительную левостороннюю асимметрию. То же заметно и для параметра шероховатости поверхности после МАО  $R_a$ . Приведение распределений значений этих параметров к нормальному закону может быть достигнуто с помощью преобразований  $\Delta g \rightarrow \ln(\Delta g)$ ,  $R_a \rightarrow \ln(R_a)$  (рис. 2 а, б).

Как видно из распределения величины блоков когерентного рассеяния  $\beta_1$  до МАО, в исходном состоянии присутствуют 2 группы образцов: большая часть исходных образцов обладала размером блоков когерентного рассеяния в пределах 2...3 нм, а другая часть – 4...5 нм. По этой причине функция распределения этой величины далека от нормального закона. Однако после МАО распределение сместилось в сторону больших значений и приблизилось кциальному закону. Видимо это результат удаления поверхностного слоя, имевшего более деформированную структуру и сопровождавшийся меньшим деформирующими воздействием на поверхность вследствие МАО. Соответственно изменение этого параметра  $\Delta\beta_1$  имеет распределение, асимметричное в сторону больших значений, и значительно отличается от нормального. Преобразование к логарифмическициальному распределению в этом случае невозможно, как по причине правосторонней асимметрии, так и из-за наличия отрицательных значений параметра  $\Delta\beta_1$ . Поэтому для преобразования этого параметра была использована другая функция:  $\Delta\beta_1 \rightarrow \ln(b_0 + b_1 \Delta\beta_1)$ , где постоянные  $b_0 = 2,96$  и  $b_1 = -1,013$  были найдены из условия минимизации максимального отклонения получаемой в результате преобразования эмпирической функции распределения от нормального закона (рис. 2 в).

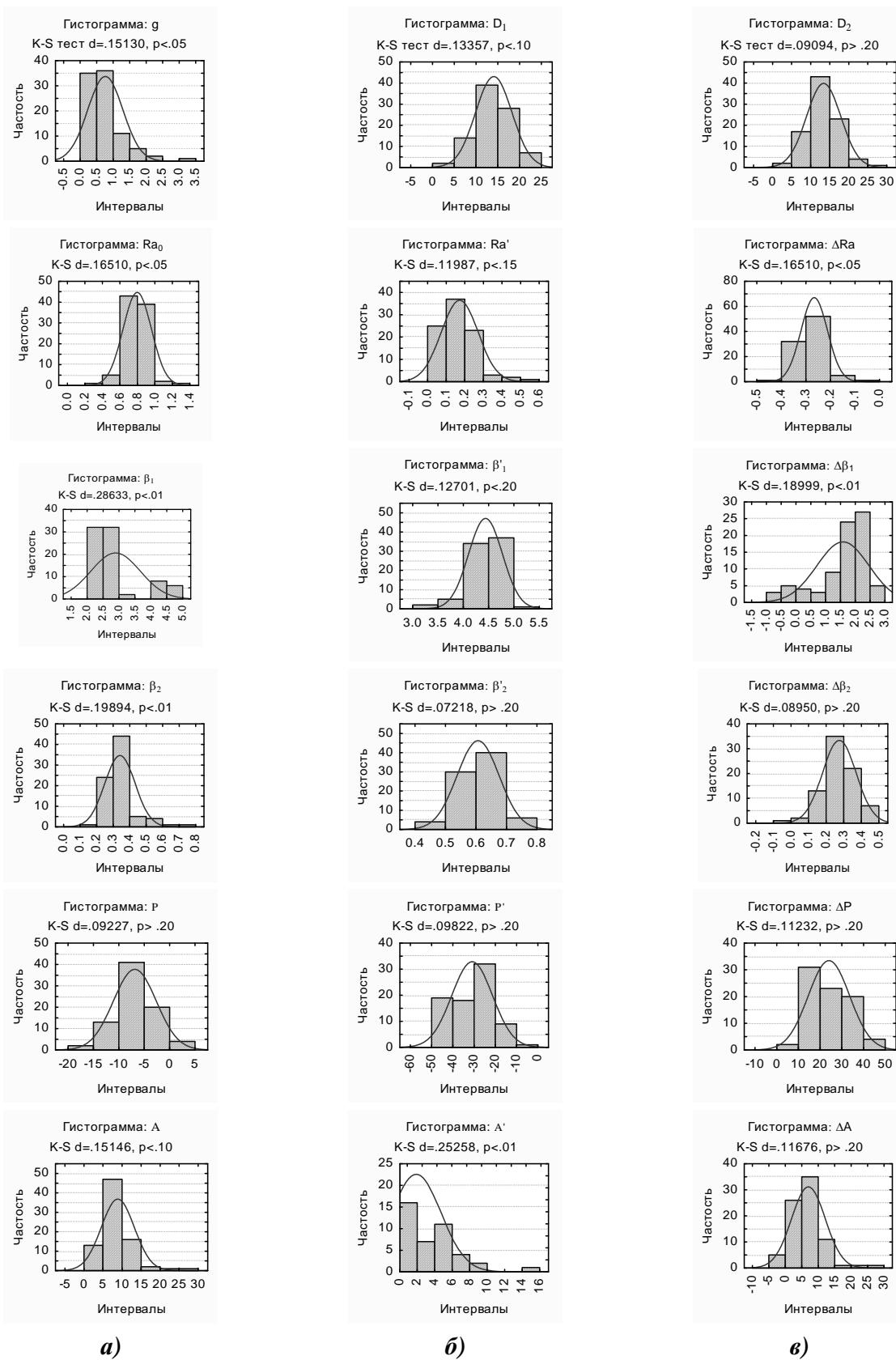


Рисунок 1. Распределения значений контролируемых параметров до (a), после МАО (б) и их абсолютные изменения (в)

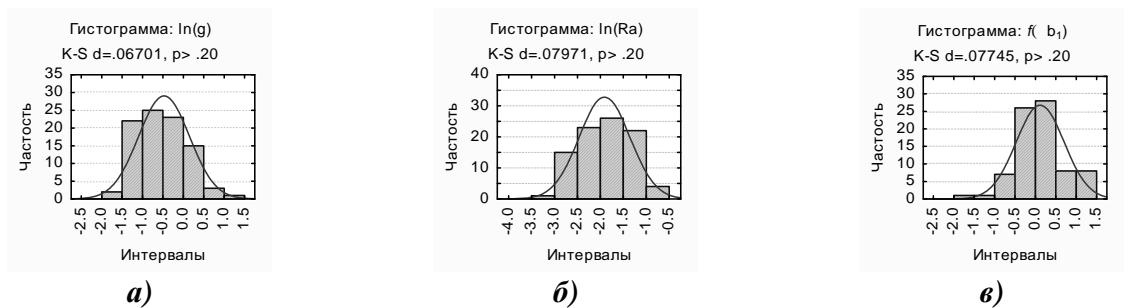


Рисунок 2. Распределения значений преобразованных параметров: а) удельный съем материала; б) шероховатость обработанной поверхности; в) изменение размеров блоков когерентного рассеяния в поверхностном слое в результате МАО

Распределение содержания аустенита в поверхностном слое после МАО A% не удается свести к нормальному. Это, по-видимому, связано с тем, что аустенит в поверхностном слое возник в результате предшествующей операции шлифования и был просто удален МАО вместе с поверхностным слоем. Сам же процесс МАО никак не влияет на образование аустенита.

Для дальнейшего исследования взаимосвязей явлений при МАО построены графики попарной взаимозависимости основных измеренных параметров (рис. 3). Для каждой пары параметров графики отображают картину, характеризующую тесноту их взаимозависимости: если точки на графике группируются около некоторой линии, это указывает на существование взаимосвязи; если точки образуют рассеянное «облако», это говорит о взаимной независимости рассматриваемых параметров. По расположению точек на графиках, построенных на осях параметров  $\Delta D_1$  и  $\Delta D_2$ ,  $\ln(\Delta g)$  и  $\ln(Ra)$ , можно отметить явную пропорциональную линейную зависимость между ними, что

можно объяснить воздействием единого механизма формирования этих параметров – съема материала с поверхности деталей в результате МАО. При этом возрастанию удельной производительности съема  $\Delta g$  сопутствует возрастание шероховатости  $Ra$  поверхности после МАО. Следовательно, процесс съема интенсифицируется за счет удаления более крупных фрагментов поверхностного слоя, приводящего к возникновению большей шероховатости. Однако при возрастании удельного съема  $\Delta g$  параметры размерного съема  $\Delta D_1$  и  $\Delta D_2$  уменьшаются. Это вызвано влиянием времени обработки: его возрастание снижает съем в единицу времени, но общий размерный съем возрастает пропорционально времени обработки.

Обращает на себя внимание также тесная взаимозависимость параметров  $\Delta\beta_1$  и  $\Delta\beta_2$ , которая обусловлена другим процессом, сопровождающим МАО – деформационным воздействием на микроструктуру обработанной поверхности. Исходные значения связаны прямо пропорциональной зависимостью. Обратно пропорциональная зависимость этих параметров вызвана выполненным преобразованием  $\Delta\beta_1 \rightarrow \ln(b_0 + b_1 \cdot \Delta\beta_1)$  при отрицательном множителем  $b_1$ .

Для количественной оценки уровня взаимосвязи всех параметров проведен линейный корреляционный анализ, результаты которого приведены в таблице 2, содержащие доверительные уровни вероятности статистической значимости корреляции. Отмеченные при анализе графиков (рис. 3) взаимозависимости параметров  $\Delta g$ ,  $\Delta D_1$ ,  $\Delta D_2$ ,  $Ra$  и  $\Delta\beta_1$ ,  $\Delta\beta_2$  подтверждаются высокой вероятностью статистической значимости их корреляций (близкой к 100%).

Корреляционный анализ выявил еще одну группу взаимосвязанных параметров с достаточно высокой вероятностью  $\geq 90\%$ :  $\Delta P$ ,

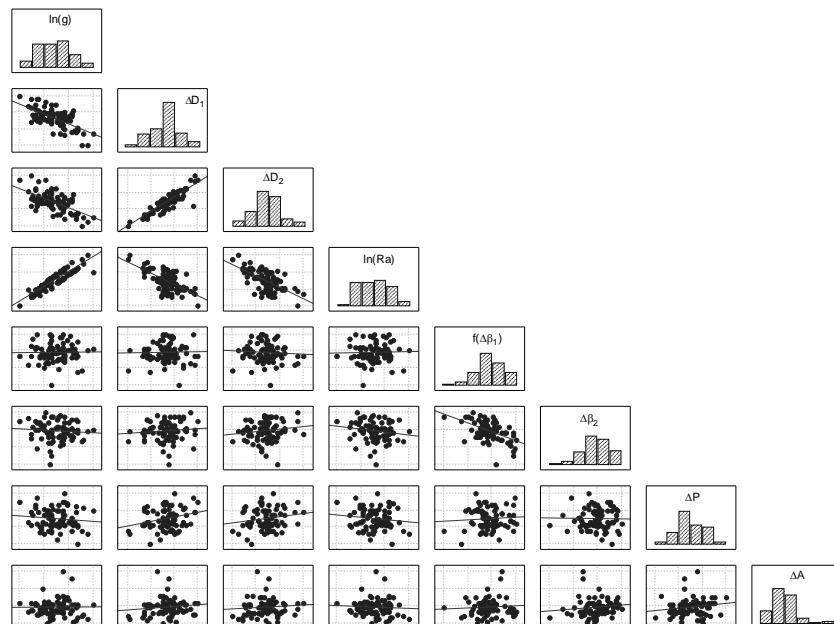


Рисунок 3. Взаимозависимости параметров интенсивности съема материала и качества поверхности после МАО

**Таблица 2. Доверительная вероятность существования корреляционной связи между параметрами при МАО**

	$\ln(\Delta g)$					
$\Delta D_1$	<b>100%</b>	$\Delta D_1$				
$\Delta D_2$	<b>100%</b>	<b>100%</b>	$\Delta D_2$			
$\ln(Ra)$	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	$\ln(Ra)$		
$f(\Delta\beta_1)$	8%	16%	47%	19%	$f(\Delta\beta_1)$	
$\Delta\beta_2$	44%	53%	78%	84%	<b>100%</b>	$\Delta\beta_2$
$\Delta P$	78%	<b>99%</b>	<b>93%</b>	83%	47%	4% $\Delta P$
$\Delta A$	19%	65%	47%	30%	45%	71% <b>79%</b>

$\Delta D_1$ ,  $\Delta D_2$ . Прямо пропорциональная их взаимозависимость связана с возрастанием деформирующего воздействия на обработанную поверхность при увеличении размерного съема материала при МАО.

Для управления процессом МАО и достигаемым при этом качеством поверхности, важной предпосылкой является возможность независимого изменения различных параметров с помощью варьируемых факторов МАО. Установленные взаимосвязи между различными группами параметров являются основанием для перехода к некоторым обобщенным параметрам, объединяющим в себе группы взаимозависимых первичных параметров, измеренных при изучении процесса МАО. Одним из методов такого перехода является факторный анализ по методу главных компонент [4], представляющий собой математическое преобразование матрицы парных корреляций, в результате чего вводится новая система координат в обобщенных и взаимонезависимых параметрах, связанных с группами первичных параметров.

Анализ по методу главных компонент подтверждает, что для характеристики процесса МАО может быть выбрано 3 главных обобщенных параметра ( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ), взаимосвязь которых с первичными определяется факторными нагрузками, приведенными в таблице 3. Дан-

щихся, объединяющих те первичные параметры, формирование которых обусловлено одними и теми же физико-механическими процессами, сопровождающими МАО. Это позволит выполнить последующий регрессионный анализ влияния факторов режимов МАО на параметры производительности процесса и качества обработанной поверхности, изучая взаимонезависимые обобщенные параметры. Тем самым будет сокращено число уравнений регрессии для описания процесса, а главное, оптимизация процесса будет возможна в системе взаимонезависимых параметров.

### Заключение

Выполненный статистический анализ результатов измерений параметров производительности и качества поверхности, получаемых в процессе МАО, показывает, что распределение большинства исследованных параметров может быть описано нормальным законом вероятностей. Распределение остальных параметров может быть приведено к нормальному путем логарифмического преобразования.

Корреляционный анализ параметров МАО выявил статистически значимые взаимосвязи между различными группами параметров, которые могут быть объяснены одинаковыми физико-механическими механизмами формирования этих параметров в процессе МАО.

Факторный анализ взаимосвязи параметров МАО методом главных компонент позволяет сгруппировать их в три главных взаимонезависимых фактора, которые можно использовать для анализа влияния режимов МАО и их оптимизации.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Ю.М. Барон. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
- Хомич, Н.С. Магнитно-абразивная обработка изделий: монография / Н.С. Хомич. – Минск: БНТУ, 2006. – 218 с.
- Елисеева, И. И. Общая теория статистики: учеб. / И.И. Елисеева, М.М. Юзбашев. – 4-е изд., пер. и доп. – Москва: Финансы и статистика, 2002. – 480 с.
- Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: пер. с англ. / Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка [и др.]; под ред. И.С. Енукова. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 25.02.2016

**Таблица 3. Факторные нагрузки для обобщенных и первичных параметров МАО**

	Обобщенные параметры		
	$F_1$	$F_2$	$F_3$
$\ln(\Delta g)$	<b>0,916</b>	0,002	0,057
$\Delta D_1$	<b>-0,893</b>	-0,012	0,218
$\Delta D_2$	<b>-0,887</b>	0,086	0,134
$\ln(Ra)$	<b>0,902</b>	-0,070	-0,015
$f(\Delta\beta_1)$	0,005	<b>-0,861</b>	0,141
$\Delta\beta_2$	-0,086	<b>0,871</b>	0,121
$\Delta P$	-0,203	-0,109	<b>0,681</b>
$\Delta A$	0,049	0,089	<b>0,823</b>

ные таблицы 3 подтверждают, что параметры процесса МАО могут быть сгруппированы в три обоб-

УДК 631.53:633.8

## **ВЛИЯНИЕ НОРМ ВЫСЕВА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЕКАРСТВЕННОГО СЫРЬЯ ИССОПА ЛЕКАРСТВЕННОГО (*HYSSÓPUS OFFICINÁLIS L.*)**

**Н.Н. Вечер,**

*доцент каф. основ агрономии БГАТУ, канд. биол. наук, доцент*

**Е.А. Городецкая,**

*доцент каф. электротехнологий БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**И.Б. Дубодел,**

*доцент каф. электротехнологий БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**Т.А. Непарко,**

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

**Ю.К. Городецкий,**

*студент агромеханического фа-та БГАТУ*

**Д.И. Цвирко,**

*аспирант каф. электротехнологий БГАТУ*

*Приведены результаты изучения влияния норм высева и электрофизической подготовки семян иссопа лекарственного (*Hyssópus officinális L.*) на продуктивность лекарственного сырья.*

*Ключевые слова:* предпосевная обработка семян, электрофизические методы, стимуляция неоднородным электромагнитным полем, всхожесть, энергия прорастания.

*Results of studying of influence of norms of seeding and electrophysical preparation of seeds of a *Hyssópus officinális L.* as a raw materials, medicinal on efficiency, are given.*

*Keywords:* seed pre-treatment, electrical methods, AC electromagnetic field stimulation, germination, vigor.

### **Введение**

Современные высокоэффективные технологии возделывания лекарственных растений на промышленной основе имеют большое значение в получении для населения лечебных средств растительного происхождения. Среди большого количества видов лекарственных растений особое значение имеет иссоп (*Hyssópus officinális L.*) [1]. В литературе приводится большой объем информации по основным приемам возделывания этого ценного лекарственного растения. Этот опыт наряду с нашими экспериментальными данными может использоваться при подготовке технологий возделывания иссопа, применительно к определенным почвенным и экологическим условиям Республики Беларусь [2].

Целью наших исследований являлось: дополнить имеющиеся сведения по некоторым приемам агротехники возделывания иссопа в определенных почвенно-климатических условиях.

### **Основная часть**

В качестве объекта исследований взят вид – иссоп лекарственный (*Hyssopus officinalis L.*) из семейства губоцветных (*Lamiaceae*). Важным этапом программы комплексных интродукционных исследований являлось изучение интродуцента в культурном агроценозе. При этом первоочередной задачей являлось обоснование

оптимальной нормы высева и предпосевной обработки семян, обеспечивающих в год посева и в последующие годы максимальную продуктивность таких ценозов. Для выполнения поставленной задачи в 2013 году начаты исследования по обоснованию оптимальной нормы высева иссопа лекарственного и продолжены в последующие годы. Для проведения данных исследований были заложены мелкоделячные полевые опыты для получения максимального выхода лекарственного сырья в условиях дерновоподзолистых почв Республики Беларусь. Для посева брались семена сорта «Лазурит» продукции Центрального ботанического сада НАН Беларуси. Изучались две нормы высева: 5 и 7 кг/га. Посев проводился семенами качественных семенных кондидий, прошедших предпосевное электрофизическое стимулирование на диэлектрическом сепараторе СДЛ-1.

Следует отметить, что качество семян – одно из важнейших условий получения высоких урожаев любой культуры. Известно, что всходы растений, полученные из крупных выполненных семян, после диэлектрической сепарации развиваются более мощную корневую систему, быстрее растут, меньше подвергаются воздействию засух, значительно слабее поражаются болезнями и, в результате, интенсивнее развиваются и дают более высокий урожай. У подготовленных для посева семян определяли массу 1000 штук, которая составляла в среднем 1,00 г (табл. 1).

**Таблица 1. Посевные качества семян иссопа лекарственного, используемых для посева**

Показатели	Контрольные семена	повторности			В среднем
		1	2	3	
Масса 1000 штук семян, г	0,99	0,96	1,02	1,01	1,0
Энергия прорастания, %	75,0	79,0	83,0	74,0	76,7
Лабораторная всхожесть, %	82,0	82,0	85,0	86,0	84,3
Полевая всхожесть, %	71,0	73,0	75,0	71,0	73,0

Небольшое варьирование по повторностям (0,06 г) говорит о выравненности массы семян. Анализ литературных данных, характеризующих массу 1000 семян, полученных в различных почвенно-климатических зонах, показывает, что масса семян в наших опытах близка к показателям других авторов [3, 4].

Кроме массы 1000 штук семян после дилектрической сепарации, определяли показатели их качества – энергию прорастания, лабораторную и полевую всхожесть.

Семена проходили электрофизическое стимулирование на дилектрическом сепараторе при напряжении на рабочем органе – 0,4 кВ (напряжение установлено в результате предварительных опытов) [5]. Рабочий орган – бифилярная обмотка покрывалась тонкой полиэтиленовой пленкой, изготавливаемой по ГОСТ 10354-82 (прозрачная пленка, получаемая методом экструзии из полиэтилена высокого давления (низкой плотности) и композиций на его основе, содержащих пигменты (красители), стабилизаторы, скользящие, антистатические и модифицирующие добавки).

Толщина пленки – 0,04 мм (использовали тестер, функционирующий по механическому контактному методу, являющемуся наиболее точным. Тестер СНУСА производства компании Labthink соответствовал требованиям стандартов ASTM и ISO).

Анализ этих показателей дает основание характеризовать семена иссопа после электрофизического воздействия, как соответствующие высоким посевным качествам. В среднем энергия прорастания у семян иссопа составила 76,7 %, лабораторная всхожесть – 84,3 и полевая всхожесть – 73,0 % при невысоких допускаемых отклонениях.

Оценивая качество семян иссопа лекарственного, следует отметить, что в условиях центральной зоны Республики иссоп формирует довольно качественные семена. Это дает основание утверждать о достаточно высокой адаптационной способности иссопа и возможности организации в Республике семеноводства и устойчивого производства семян этой культуры, в том числе и на экспорт.

Перед посевом вносились полные дозы минеральных удобрений: N<sub>60</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>. Дозы азота, фосфора и калия брались с учетом обеспеченности почвы этими элементами и планируемой фитопродуктивности. Также проводился весь комплекс агротехнических мероприятий, велись фенологические наблюдения за ростом и развитием растений и учтены продуктивности агроценозов.

Опыт по изучению влиянию нормы высева семян иссопа лекарственного на урожай зеленой массы закладывался на участке со следующими показателями

плодородия: пахотный горизонт (0 – 22 см) темно-серого цвета с коричневым оттенком, уплотненный, мелко комковатой структуры, супесь рыхлая, переход в нижний горизонт неровный, четкий. По данным лабораторных анализов и наблюдений, почву можно отнести к средней по оккультуренности. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы следующие: содержание гумуса в пахотном слое – 2,55 %, доступных форм питательных веществ – подвижного фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – 190 мг, обменного калия (K<sub>2</sub>O) – 220 мг на 1 кг сухой почвы, pH соляной вытяжки – 5,75.

Подготовка почвы под закладку опыта сводилась к общепринятым приемам подготовки почвы под овощные культуры [6]. Осеню проводили зяблевую вспашку, сбор камней, измельчение растительных остатков предшественника. Весной для закрытия влаги проводилось боронование с последующей культивацией и выравниванием почвы участка.

Опыт закладывался при наступлении среднесуточной температуры воздуха +10 °C и прогревании почвы на глубине заделки семян до +8...+10 °C в 4-хкратной повторности. Семена размещались систематическим (ступенчатым) способом [7], общая площадь делянок составляла – 6 м<sup>2</sup>. Посев проводился широкорядным способом с шириной между рядов – 0,45 м. Глубина заделки семян составляла 1,5 – 2 см. В условиях опыта за растениями проводились фенологические наблюдения. Для установления прохождения растениями фенологических фаз проводили подсчет растений с характерными для них признаками. В четырех местах на делянке осматривали по 10 типичных растений, каждый раз – в рядах, находящихся на некотором расстоянии, где был проведен предыдущий осмотр.

В условиях опыта изучались урожайность надземной массы и ее структура (лист, стебель, соцветие). Уход за посевами сводился к борьбе с сорной растительностью и разрыхлению почвенной корки агротехническими мероприятиями. Для этого были проведены две междурядные обработки.

Изучение роста и развития растений по вариантам опыта показало, что сроки наступления основных фенофаз и их продолжительность по вариантам опыта не имели существенных различий. Сравнение продолжительности вегетационного периода в наших опытах с данными других авторов показывает, что продолжительность фенофаз по годам меняется и обуславливается особенностью температурного режима и количеством выпадающих осадков в период вегетации и могут отличаться по годам на 5-10 дней. Изучение особенностей развития иссопа в год посева показало, что появление массовых всходов отмечено на 8-й день после посева (25.05), к середине июля (17.07) растения вступали в репродуктивную фазу – начало бутонизации (табл. 2). В фазу начала цветения растения из опытных семян вступали уже в третьей

**Таблица 2. Прохождение фаз развития у растений иссопа лекарственного из контрольных и опытных семян (к/оп)**

Год	Дата наступления фаз развития								
	Посев к/оп	Всходы к/оп	Нач. весен. отраст. к/оп	Начало бутониз., к/оп	Массовая бутониз., к/оп	Начало цветения к/оп	Массовое цветение к/оп	Начало созревания семян к/оп	Уборка семян к/оп
2013	16.05/ 16.05	27.05/ 25.05	-	21.07/ 17.07	10.07/ 4.08	28.08/ 20.08	13.09/ 09.09	12.10/ 8.10	-/ 13.10
2014	-	-	01.05/ 23.04	15.06/ 7.06	17.06/ 11.06	30.06/ 27.06	28.07/ 24.07	08.09/ 03.09	20.09/ 15.09
2015	-	-	08.05/ 01.05	8.07/ 02.07	14.07/ 08.07	22.07/ 17.07	30.07/ 27.07	15.09/ 10.09	23.09/ 18.09

декаде августа, на 8 дней раньше растений из контрольных семян (20 и 28 августа), что дает возможность получать сырье уже на первом году жизни. Учет урожайности зеленой массы проводился в фазу массового цветения (11.09). К концу первой декады октября (8.10) растения иссопа из опытных семян вступили в фазу созревания семян.

Анализ продолжительности фенофаз в первый год жизни показал, что период от появления массовых всходов до начала бутонизации у растений из опытных семян составил 55 дней, из контрольных семян – 57. Следующие межфазные периоды также немного сокращались, но даже там, где они были равны, у растений из опытных семян они наступали раньше, чем из семян контрольной партии. Период от цветения до начала созревания семян (31 день) пришелся на вторую декаду октября. Условия вегетационного периода 2013 г. не обеспечили полного вызревания всех семян в растениях первого года жизни. Тем не менее, растения из обработанных семян имели более здоровый и крепкий вид, чем растения из контрольных семян.

Анализ результатов проводимых исследований по обоснованию нормы высева показал, что такие моноценозы обеспечивали достаточно высокую фитопродуктивность, составившую в год посева при минимальной норме высева – 194,3 ц/га и 151,1 ц/га при более высокой норме (табл. 3).

**Таблица 3. Влияние изучаемых норм высева на урожайность лекарственного сырья иссопа лекарственного**

Варианты опыта	Фитопродуктивность, ц/га	Прибавка	
		ц/га	%
5 кг/га	191.1	–	–
7 кг/га	151.1	- 40.0	20.9
5 кг/га	186.0	–	–
7 кг/га	194.3	+ 8.3	+4.5
5 кг/га	210.8		
7 кг/га	203.8	- 7.0	- 3.3

Полученные результаты дают основание считать, что повышение нормы высева семян иссопа с 5 до 7

кг/га на второй и третий год вегетации не обеспечило выраженной достоверной прибавки урожая фитомассы иссопа.

Известно, что высокая ценность лекарственного растительного сырья фитомассы обусловлена значительным содержанием в общем урожае доли соцветий и листьев. Результаты проведенных исследований показали, что в структуре фитомассы иссопа лекарственного на долю листьев и соцветий приходится в среднем по опыту 60,3 % от суммарного урожая

**Таблица 4. Структура урожая зеленой массы иссопа лекарственного, %**

Год	Вариант опыта	Показатели, %		
		стебель	лист	соцветие
В год посева	5 кг/га	38,9	30,5	30,7
	7 кг/га	35,4	35,4	29,6
Второй год вегетации	5 кг/га	40,1	35,1	24,8
	7 кг/га	42,3	31,3	26,4
Третий год вегетации	5 кг/га	41,6	31,9	26,5
	7 кг/га	40,2	30,8	29,0
В среднем по опыту		39,8	32,5	27,8

(табл. 4). Кроме того, растения из опытных семян не имели слабых или засохших первых листьев.

Установлено, что варианты опыта по годам исследований не выявили достоверных различий в структуре урожая. Например, на долю соцветий в общем урожае лекарственного сырья по вариантам опыта приходилось от 24,8 до 30,7 %, а в среднем по опыту этот показатель составил 27,8 %. Наряду с этим, облистенность в среднем составила 32,5 %, варьируя по вариантам от 30,5 до 35,4 %. Установлено, что на стебли в общем урожае приходилось 39,8 %, а по вариантам этот показатель наблюдался в диапазоне значений от 35,4 до 42,3 %. Результаты проведенных исследований дают основание утверждать о высоком удельном весе в фитомассе иссопа соцветий и листьев.

#### Выводы

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что повышение нормы высева семян иссопа с 5 до 7 кг/га не обеспечило выраженной достоверной прибавки урожая фитомассы. Проведенные исследования показали, что повышение нормы высева иссопа с 5 до

7 кг/га приводило не только к перерасходу семян при посеве, но и к снижению продуктивности сырья иссопа на 15,9 ц/га или на 8,4 %. Перед посевом семенной ворох необходимо отсепарировать на дизэлектрическом сепараторе семян СДЛ-1 с соблюдением следующих технологических параметров:

- напряжение на рабочем органе – 0,4 кВ;
- покрытие рабочего органа полиэтиленовой пленкой толщиной 0,04 мм, проход – однократный, за 5...15 дней перед планируемым сроком посева.

В связи с изложенным выше, считаем целесообразным применять в почвенно-климатических условиях Беларуси на типичных дерновоподзолистых супесчаных средних по плодородию почвах норму высеяния семян иссопа лекарственного в количестве 5 кг/га всхожих семян.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кухарева, Л.В. Технологии возделывания лекарственных растений: методич. пос. / Л.В. Кухарева, Т.В. Гиль. – Минск: Минсктипроект, 2008. – 128 с.
2. Березко, М.Н., Вечер, Н.Н., Березко, О.М. Влияние минеральных удобрений на урожай Hyssopus officinalis L. в условиях Беларуси / Инновационные подходы и технологии для повышения эф-

фективности производства в условиях глобальной конкуренции: матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной памяти член-корр. КазАСХН Телуева Е.Т., 1 марта 2016 г. – Семей: гос. ун-т им. Шакарима, 2016. – Т. 1. – С. 103-106.

3. Шкляров, А.П. Иссоп лекарственный / А.П. Шкляров // Белорусское сельское хозяйство, 2004. – № 12. – С. 40-41.

4. Ловкис В.Б., Колос В.А. О критериях энергетической эффективности сельскохозяйственных технологий // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. Т. 42 – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства», 2008. – С. 13-19.

5. Городецкая, Е.А. Влияние плазменно-микроволновой обработки на посевые качества семян / Е.А. Городецкая, Е.В. Спиридович, В.И. Горбачевич [и др.] // Доклады НАН Беларуси, 2007. – № 6. – Т. 51. – С. 68-72.

6. Опытное дело в полеводстве / С.С. Сдобников [и др.]; под ред. Г.Ф. Никитенко. – М.: Россельхозиздат, 1982. – 190 с.

7. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1985. – 351 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 24.02.2016

## Радиоволновой влагомер зерна

**Предназначен** для непрерывного измерения влажности зерна в процессе сушки на зерносушильных комплексах.

Влагомер обеспечивает непрерывный контроль влажности зерна в потоке и обеспечивает автоматическую коррекцию результатов измерения при изменении температуры материала, имеет аналоговый выход 4-20 мА, а также интерфейс RS-485.



### Основные технические данные

Диапазон измерения влажности зерна	от 9 до 25%
Основная абсолютная погрешность	не более 0,5%
Температура контролируемого материала	от +5 до +65°C
Цена деления младшего разряда блока индикации	0,1%
Напряжение питания	220 В 50Гц,
Потребляемая мощность	30ВА

УДК 636.2.084

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОЧЕВИНОФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ В КАЧЕСТВЕ КОНСЕРВАНТА-ОБОГАТИТЕЛЯ ПРИ ЗАКЛАДКЕ КУКУРУЗНОГО СИЛОСА

В.А. Люндышев,

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

В.Ф. Радчиков,

зав. лабораторией кормления молодняка крупного рогатого скота РУП «НПЦ НАН Беларусь по животноводству», докт. с.-х. наук, профессор

Е.Ф. Саранчина,

ведущ. науч. сотр. ФГБНУ ВНИИТИН (г. Тамбов, Россия), канд. биол. наук,

А.С. Краснослободцева,

ст. науч. сотр. ФГБНУ ВНИИТИН (г. Тамбов, Россия), канд. биол. наук

В.Е. Шредер,

глав. инженер лаборатории смол ОАО «Пигмент» (г. Тамбов, Россия)

М.О. Касимова,

ведущ. инженер лаборатории смол ОАО «Пигмент» (г. Тамбов, Россия)

*Использование мочевиноформальдегидной смолы в качестве консерванта-обогатителя обеспечивает улучшение сохранности питательных веществ корма. Скармливание молодняку крупного рогатого скота кукурузного силоса, заготовленного с опытным консервантом-обогатителем способствует увеличению среднесуточных приростов живой массы на 8,4 %.*

*Ключевые слова:* ремонтный молодняк, рацион, среднесуточный прирост, живая масса, консервант-обогатитель, формальдегид, синтетические азотсодержащие препараты.

*Use of urea-formaldehyde resin as an enriching preservative provides improved preservation of nutrients in feed. Feeding young cattle with corn silage prepared with an experimental enriching preservative promotes increase of average daily weight gain by 8.4 %.*

*Keywords:* repair sapling, ration, average daily increase, living mass, konservant is a preparator, formaldehyde, synthetic nitrogenated preparations.

### Введение

Уровень протеина – один из основных показателей полноценности рационов крупного рогатого скота. При его недостатке замедляется рост молодняка, снижается продуктивность взрослых животных, повышается себестоимость продукции [1-3].

Альтернативой высокобелковым кормам растительного и животного происхождения служат синтетические азотсодержащие препараты (САВ), в том числе карбамид или синтетическая мочевина, которая на практике не нашла широкого применения из-за быстрого расщепления в рубце с образованием большого количества аммиака, при избытке которого может наступить отравление животного. Для замедления образования аммиака в рубце применяют различные препараты, в том числе и формальдегид [4-7].

Количество формальдегида для обработки корма должно тщательно контролироваться, так как защита растительного белка его высокой концентрацией ли-

шает микроорганизмы рубца жвачных животных доступного азота, что может ухудшить усвоение белковых веществ в толстом отделе кишечника и отрицательно сказаться на продуктивности животных. Высокая концентрация формальдегида угнетает также и целлюлозолитическую активность рубца.

При зимнем типе кормления свободный формальдегид, как правило, содержится в крови, мышцах, рубцовой пищевой массе, кале и моче у молодняка крупного рогатого скота и овец. В стойловый период его концентрация в молоке коров достигает в среднем 0,35 мг/кг. По данным ряда исследователей, свободный формальдегид присутствует в сердце, почках и печени. В печени он быстро окисляется в муравьиную кислоту, которая является естественным метаболитом жвачных животных.

Необходимо отметить, что формальдегид активно реагирует с аминогруппами и на этом основано его применение в ветеринарной практике при отравлении животных мочевиной. Для ее нейтрализации непосред-

ственno в рубец вводят формалин из расчета 0,3 мл на 1 кг массы тела.

Наиболее эффективным и безопасным методом применения мочевины является использование ее в составе консервирующих смесей при силосовании злаковых растений [8, 9], в том числе и в сочетании с формальдегидом. Формальдегид здесь выступает как консервант, а также, как препарат, замедляющий разложение растительного протеина и мочевины до аммиака в рубце жвачных животных. Использование такой смеси в рационах крупного рогатого скота снижает токсичность мочевины, способствует более низкому уровню образования аммиака и газообразования в рубце и, таким образом, способствует уменьшению потерь азота, лучшему отложению его в теле и в итоге – увеличению среднесуточных приростов животных.

Цель данной работы – провести практическое исследование использования мочевиноформальдегидной смолы, в качестве консерванта-обогатителя при заготовке кукурузного силоса и его влияние на рост и развитие ремонтного молодняка крупного рогатого скота.

### Основная часть

Для проведения исследований растительная масса кукурузы в фазе восковой спелости была заложена в облицованную траншею в начале октября 2013 года при неустойчивой и дождливой погоде по нижеуказанной схеме.

**Таблица 1. Схема научно-производственного опыта**

№ варианта	Культура	Консервант, доза	Кол-во, т	Вид животных	Кол-во, животных	Рацион
1	кукуруза воск.сп.	Без консерванта	500	молодняк КРС	32	ОР+силос б/к
2	кукуруза воск.сп.	КО, 4кг/т	500	молодняк КРС	32	ОР+силос с КО

ОР - основной рацион (зерносмесь, сено, патока, минеральные добавки)  
 КО - консервант-обогатитель

Консервант-обогатитель (КО) был представлен в порошкообразном виде, характеристика которого показана в таблице 2.

**Таблица 2. Технические характеристики КО**

Наименование показателя	норма
Массовая доля азота, % (не менее)	25
Массовая доля влаги, % (не более)	8,0
Массовая доля золы, % (не более)	1,0
Показатель активности водородных ионов супензии с массовой долей 10 %, ед. pH	2,0-7,0

В растительной массе и готовом корме изучали следующие показатели: общий, белковый и небелковый азот, азот аммиака, сахар легкогидролизуемый, ЛЖК, pH-потенциометрический, аэробная стабильность корма визуальным методом при контакте с воздухом в течение нескольких суток.

Скармливание полученных кормов в составе рациона провели молодняку крупного рогатого скота – телочкам симментальской породы с примесью голштинизированной крови. По принципу аналогов, с учетом физиологического состояния, возраста и массы тела были сформированы две группы животных, по 32 головы в каждой. Первая группа (контрольная) получала в составе рациона силос, заготовленный без консервирующих средств, вторая (опытная) в составе того же рациона получала силос, заготовленный с препаратором КО.

Полученные силоса были проанализированы по основным биохимическим показателям после 50-, 120- и 145-суточного хранения (табл. 3, 4).

По данным таблицы 3, добавка КО к закладываемой на хранение кукурузе оказала положительное влияние на качество готового корма. В течение всего срока наблюдений более благоприятное соотношение ЛЖК было в силосе с КО, а полное отсутствие масляной кислоты на протяжении всего срока наблюдения в опытном варианте указывает на то, что бродильные процессы в силосуемой с КО массе протекали в более комфортных условиях, тогда как в силосе, заложенном обычным способом, отмечалось присутствие масляной кислоты от 1 до 2 % от общей суммы.

Результаты исследований показывают, что количество сухого вещества в силосе без добавок было ниже на 0,93-1,61 %, легкогидролизуемых углеводов со-

держалось в 1,2 раза меньше, чем в силосе с КО. На протяжении указанного срока наблюдений содержание сырого протеина в варианте с КО было выше на 24,97-12,56 %. Снижение содержания азота корма в обоих вариантах к 145-суточному хранению связано с процессами вторичного брожения в силосной массе, которые возникают в связи с проникновением воздуха после вскрытия траншеи. Аэробная стабильность корма, которая определяется состоянием питательных веществ и наличием нежелательной микрофлоры (плесени) на поверхности корма, судя по показателю углеводной части корма, в силосе с КО была в 1,1-1,2 раза выше, чем в силосе без консерванта.

Несмотря на некоторое увеличение содержания небелкового азота в силосе с КО, его количество от общего азота корма было ниже, чем в силосе без консерванта. Некоторое увеличение азота аммиака в опытном варианте связано с внесением его вместе с препаратом и не является отрицательным показателем для консервированных кормов, силос с КО определен как «очень хороший» и получил самый высокий балл качества – 90.

Применение препарата КО способствовало получению силоса не только с большим содержание пита-

**Таблица 3. Содержание pH и ЛЖК в силосах из кукурузы**

Консервант, % к массе	Общая влага, %	pH	Сумма ЛЖК, г %	% от суммы ЛЖК		
				молочная	уксусная	масляная
Через 50 суток хранения						
Силос б/к	61,96	3,89	2,09	79,38	19,62	1,00
Силос с КО	61,03	4,00	1,60	65,00	35,00	-
Через 120 суток хранения						
Силос б/к	61,88	3,78	2,48	82,12	17,88	-
Силос с КО	60,15	3,86	2,38	78,35	21,65	-
Через 145 суток хранения						
Силос б/к	61,71	3,80	2,65	79,74	18,22	2,04
Силос с КО	60,01	3,92	2,32	72,83	27,17	-

**Таблица 4. Биохимические показатели зеленой массы кукурузы и опытных партий силосов (% на абсолютно сухое вещество)**

Показатель	Зеленая масса кукурузы	Силос без консерванта (хранение)		Силос с КО (хранение)	
		50 суток	145 суток	50 суток	145 суток
Сухое вещество	41,28	38,04	38,29	38,97	39,99
Легкогидролизуемые углеводы	7,82	1,10	0,99	1,30	1,10
Сырая клетчатка	19,35	27,97	24,19	22,76	19,58
Сырой протеин	8,36	7,57	6,13	9,46	6,90
Общий азот	1,34	1,21	0,98	1,51	1,10
Небелковый азот, % к общему азоту	0,262 19,55	0,447 36,94	0,470 47,96	0,487 32,25	0,500 45,45

тельных веществ, но и лучшему сохранению их в течение длительного времени. Потери питательных веществ представлены в таблице 5.

свой доли сухого вещества, показателю pH силос с КО относится к первому классу качества. Силос, заложенный без добавок, по этим показателям относится ко II классу.

Энергетическая питательность рационов была одинаково высокой в обеих группах – 0,89 – 0,92 ЭКЕ на 1 кг сухого вещества. Животные опытной группы потребляли обменной энергии на 2,2 % больше. Использование препарата КО при закладке силоса позволило

**Таблица 5. Потери питательных веществ в силосах из кукурузы**

Силос, консервант, доза	Потери, %			
	сухое вещество	протеин (хранение)		
		145 суток	50 суток	145 суток
Без консерванта	7,58±0,18	9,45±0,36	21,64±2,03	88,81±1,23
КО, 4кг/т	4,06±0,78	+13,10±0,18	8,01±0,12	85,68±0,87

\*- P<0,02

При использовании препарата КО потери сухого вещества сократились более чем в 1,9 раза, протеина – в 2,6. Разность в степени сохранности указанных питательных веществ между двумя силосами при хранении в течение 145 суток была высокого уровня достоверности.

Общие потери протеина за 145 суток хранения сокращены в опытном варианте по сравнению с контрольным на 13,6 %. Потери легкогидролизуемых углеводов в силосе с консервантом были меньше в 1,04 раза и не носили достоверного характера, однако это сказалось на стабилизации кислотности готового корма.

Расчетным путем установлено, что питательность 1 кг полученных силосов была неодинаковой: силос, заложенный на хранение с препаратом КО, в 1 кг натурального вещества содержал 3,61 МДж ОЭ и 0,31 к. ед.; силос обычной заготовки – 3,43 МДж ОЭ и 0,29 к. ед.

Согласно требованиям ГОСТ – 23638-90, по содержанию и соотношению органических кислот, мас-

обогатить рацион опытной группы переваримым протеином, содержание которого в рационе было выше контрольной группы на 75 г, или на 16,4 %.

Достаточное количество легкопереваримых углеводов в рационе имеет большое значение при утилизации аммиачного азота, образующегося при расщеплении азотистых веществ в рубце жвачных. В нашем опыте сахаро-протеиновое отношение в рационе контрольной группы составило 0,84, а в рационе опытной – 0,74, т.е. в обеих группах этот показатель был в пределах нормы. Несущественное снижение его во второй группе связано с увеличением содержания сырого и переваримого протеина в силосе, приготовленном с КО.

Отношение кальция к фосфору в рационе опытной группы было более высоким, чем в контрольной (2,0 против 1,8).

Исследование крови опытных животных показало, что скармливание в составе рациона силоса, при-

**Таблица 6. Состав крови подопытных животных**

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Общий белок, г (%)	6,66±0,21	6,61±0,30
Альбумины, г (%)	3,63±0,08	3,53±0,11
Фракции белка, (%)		
альбумины	54,67±2,07	53,40±2,52
α-глобулины	9,41±1,47	10,35±1,61
β-глобулины	17,01±1,45	17,13±1,28
γ-глобулины	18,91±1,28	19,12±0,77
Мочевина, мг (%)	10,91±0,67	13,10±1,58
Гемоглобин, г/л	118,49±1,78	111,58±2,65
Эритроциты, 10 <sup>12</sup> /л	5,2±0,02	5,1±0,07
Цветовой показатель	1,14±0,02	1,10±0,03
Лейкоциты, 10 <sup>9</sup> /л	8,10±0,13	8,88±0,28
Глюкоза, ммоль/л	3,60±0,06	3,63±0,08
Общие липиды, г/л	2,93±0,54	4,04±0,27
Кальций, ммоль/л	2,95±0,02	3,18±0,02
Фосфор, ммоль/л	1,35±0,01	1,47±0,03

\*-P&lt;0,05

готовленного с КО, не оказалось отрицательного влияния на их здоровье. Обмен веществ у них был более направлен на усвоение питательных веществ рациона, что отразилось на некоторых показателях (табл. 6).

Так, белковый комплекс крови находился практически на одном уровне в обеих группах и не выходил за рамки нормальных значений, за исключением фракции глобулинов, содержание которых в опытной группе было выше в 1,1 раза, что может отразиться на повышении резистентности организма телочек в процессе роста и их развития в дальнейшем. Количество гемоглобина, эритроцитов и цветовой показатель находились на одном уровне в обеих группах. Некоторое их понижение в опытной группе не носит достоверный характер.

Недостоверное увеличение содержания мочевины в крови опытных животных объясняется более интенсивным обменом белка в организме при скармливании силоса, заложенного с КО, и свидетельствует о постепенной утилизации азота, «защищенного» препаратом, содержащим в своем составе формальдегид. Содержание глюкозы и общих липидов – в пределах нормы.

О минеральном обмене судили по наличию в сыворотке крови кальция и фосфора, содержание которых в опытной группе было достоверно выше, чем в контрольной. Нормализация минерального обмена, особенно фосфорного, служит косвенным доказательством улучшения белкового обмена в организме телочек, потреблявших силос с КО.

Динамика роста животных обеих групп была достаточно высокой, но телочки опытной группы росли интенсивнее (табл. 7).

Среднесуточный прирост телочек, получавших силос, заложенный с препаратом КО, был выше контрольных на 8,4 %, что на 75 г больше, чем у животных, получавших обычный силос ( $P>0,05$ ).

Прирост живой массы за опыт в группе, получавшей силос с препаратом КО, был больше на 6,6 кг, а затраты кормов на 1 кг прироста ниже: ЭКЕ – на 5,0 %, силоса – на 11,4 %, сухого вещества – на 7,6 %.

По данным ряда литературных источников [6-9], в том числе и наших исследований, проведенных в 2003-2009 годах при изучении МФС (мочевиноформальдегидной смолы), в качестве консерванта и азотистой добавки в рационах КРС количество формальдегида в органах и тканях опытного животного не превышает его содержания в период зимнего кормления в аналогичных объектах (табл. 8).

**Таблица 7. Динамика живой массы и среднесуточные приrostы**

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Масса животных в начале опыта, кг	192,1±4,99	189,7±6,09
Масса животных в конце опыта, кг	272,1±4,94	276,3±7,89
Среднесуточный прирост, г	898±23,30	973±27,76
% к контролю	100	108,4

**Таблица 8. Содержание формальдегида в органах и тканях (мг/кг)**

Показатель	Группа	
	опытная	допустимые значения по литературным источникам
Длиннейшая мышца спины	1,3105	1,1-6,0
Легкое	0,0489	0,013-0,94
Сердце	0,0035	0,020-1,1
Печень	0,0834	0,098-1,08

**Заключение**

Использование отходов переработки древесины (формальдегидной смолы) и мочевины в качестве консерванта-обогатителя при силосовании кукурузы в восковой спелости и включение полученного силоса в состав рациона ремонтного молодняка (50 % по питательности) повышает содержание сырого протеина в рационе на 52 г, переваримого протеина – на 75 г, сахара – на 8 г, что способствует увеличению среднесуточных приростов животных, снижению затрат кормов, повышает рентабельность выращивания ремонтного молодняка.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ  
ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Лемешевский, В.О. Влияние качества протеина на ферментативную активность в рубце и продуктивность растущих бычков / В.О. Лемешевский, В.Ф. Радчиков, А.А. Курепин // Нива Поволжья, 2013. – 23 ноября. – С. 72-76.

2. Ковалевская, Ю.Ю. Показатели рубцового пищеварения и переваримости питательных веществ при скармливании бычкам в период доращивания кормов с разной расщепляемостью протеина / Ю.Ю. Ковалевская, В.Ф. Радчиков, А.Н. Кот, Л.А. Возмитель, В.В. Букас // Зоотехническая наука Беларуси: сб. науч. тр. – Т. 46, ч. 2. – Жодино: Науч.-практич. центр НАН Беларуси по животноводству, 2011. – С. 47-54.

3. Люндышев, В.А. Влияние разного качества протеина на использование питательных веществ рациона бычками и пищеварение в рубце / В.А. Люндышев, В.Ф. Радчиков, Ю.Ю. Ковалевская, В.К. Гурин, А.И. Козинец, Е.П. Симоненко // Современная сельскохозяйственная техника: исследование, проектирование, применение: матер. Междунар. науч.-практич. конф. – Ч. 1.– Минск: БГАТУ, 2010. – С. 207-209.

4. Радчиков, В.Ф. Консервированное зерно кукурузы в кормлении молодняка крупного рогатого скота / В.Ф. Радчиков, А.И. Козинец, А.Н. Кот, В.П. Цай // Материалы междунар. науч.-производ. конф., ч 3. – Брянск: БГСХА, 2008. – С. 100-105.

5. Козинец, А.И. Продуктивность молодняка крупного рогатого скота при включении в рацион влажного зерна тритикале, консервированного НВ-2 / А.И. Козинец, В.Ф. Радчиков // Материалы междунар. науч.-практич. конф., Волгоград – С. 141-145.

6. Возмитель, Л.А. Использование отхода мочевинно-формальдегидного производства в качестве консерванта // Л.А. Возмитель // Ученые записки ВГАВМ, т. 37, ч. 1. – Витебск, 2001. – С. 119.

7. Возмитель, Л.А. Использование сенажа, консервированного отходом карбамидно-формальдегидного производства (НВ-2) в рационах бычков / Л.А. Возмитель // Зоотехническая наука Беларусь: сб. науч. трудов БелНИИЖ. – Т. 39. – Минск, 2004. – С. 174-180.

8. Симоненко, Е.П. Эффективность использования кукурузного силоса, заготовленного с консервантом-обогатителем из местного сырья, в рационах бычков на откорме / Е.П. Симоненко, В.Ф. Радчиков, Н.А. Шарейко, Н.В. Киреенко, С.А. Ярошевич, Е.М. Цай // Зоотехническая наука Беларусь: сб. науч. тр. – Т. 43, ч. 2. – Жодино: Науч.-практический центр НАН Беларуси по животноводству, 2008. – С. 300-306.

9. Симоненко, Е.П. Перспективы использования консерванта-обогатителя при заготовке кукурузного силоса и его влияние на переваримость и продуктивные качества молодняка / Е.П. Симоненко, В.Ф. Радчиков, В.П. Цай // Актуальные вопросы зоотехнической науки и практики как основа улучшения продуктивных качеств и здоровья сельскохозяйственных животных: сб. науч. трудов / Ставропольский гос. аграр. ун-т. – Ставрополь: АГРУС, 2007. – С. 30-33.

**ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 14.03.2016**

**“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 2016 года: для индивидуальных подписчиков - 123 600 руб., ведомственная подписка - 152 052 руб.

УДК 621.313.33:004

# **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ОБКАТОЧНО-ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ**

**М.А. Прищепов,**

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

**Д.М. Иванов,**

*аспирант, каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ*

**В.В. Смоленчук,**

*инженер отдела по энергосбережению ОАО «Газпром трансгаз Беларусь»*

**В статье сформулированы требования, предъявляемые к электроприводу стендов обкатки и испытания механических передач. Проведен анализ существующих и обоснованы наиболее перспективные системы электропривода, отвечающие указанным требованиям и являющиеся наиболее эффективными, как с энергетической, так и технологической точек зрения.**

**Ключевые слова:** Стенды обкатки передач, электропривод стендов, требования к электроприводу, энергетическая и технологическая эффективность, системы электроприводов.

**The article defines the requirements to the drive stands running in and testing of mechanical gear. The analysis of the existing electric drive systems has been carried out and the most promising electric drive systems that meet the above requirements both from the energy and technological points of view have been justified.**

**Keywords:** the running gear stands, electric stands, the requirements to the drive, energy and technological efficiency, electric system.

## **Введение**

В настоящее время в практической деятельности машиностроительных и ремонтных предприятий существует многообразие различных вариантов стендов для обкатки и испытания механических передач, которые в определенной мере могут обеспечивать технологический процесс обкатки и испытания передач. Для выявления наиболее эффективного варианта стендов из известных стендов, необходимо провести всесторонний анализ существующих и обоснование наиболее перспективных систем электропривода.

## **Основная часть**

Анализ существующих и обоснование наиболее перспективных систем электропривода будем производить исходя из основных технических требований, касающихся электропривода стендов, сформулированных на основании анализа стандартов к методам испытаний и оборудованию стендов, литературных источников, опыта работы ремонтных и машиностроительных предприятий. Стенды должны обеспечивать [1]:

- бесступенчатое регулирование скорости входного вала от нуля до номинальной и нагружение передачи путем изменения нагрузки на выходном валу;
- нагрузочное устройство должно обеспечивать регулирование величины тормозного момента от холостого хода до номинального момента без остановки при водного двигателя в широком диапазоне изменения угловой скорости выходного вала испытуемой передачи;

– отсоединение и присоединение входного вала передачи к приводному двигателю во время его вращения;  
– измерение угловых скоростей и крутящих моментов (мощностей) на входном и выходном валу механической передачи с погрешностью не более 2 %;

– возможность автоматизации обкатки и испытаний передач;

- режимы обкатки и испытания механических передач, как на холостом ходу, так и под нагрузкой, имитирующие движение транспортного средства с уклона, или его торможение двигателем внутреннего сгорания.

Стенды также должны быть надежными, экономичными и обеспечивать длительный режим работы, иметь допустимый уровень шума (не более 85 Дб).

Операцию обкатки механических передач, передающих крутящий момент, проводят без нагружения крутящим моментом и под нагрузкой, плавно или ступенчато приближаясь к номинальной. Важное значение имеет обкатка и испытание агрегатов под продолжительно действующей нагрузкой, позволяющая обеспечивать приработку сопряженных деталей, контролировать уровень шума и температуру агрегата. При этом требуются значительные затраты энергии на процесс обкатки. В этой связи актуальным является вопрос выбора принципиальной схемы стендов и его устройств, позволяющих обеспечивать снятие необходимых характеристик испытуемых передач и минимальные энергозатраты в процессе обкатки. Классификация возможных вариантов стендов для

обкатки и испытания механических передач по основным признакам представлена на рисунке 1 [1, 2].

Анализ известных конструкций стендов в соответствии с приведенными в классификации признаками показывает, что наиболее энергоэффективными являются стенды с замкнутым контуром нагружения, причем, предпочтение при этом необходимо отдать электрическому замкнутому контуру нагружения, так как при использовании в стенде электрического привода и тормозного устройства можно обеспечить полную рекуперацию энергии торможения по внутреннему или внешнему контуру от тормозного

устройства к электроприводу стенда. При этом электрические устройства легче поддаются автоматизации, что очень важно на современном этапе. Что же касается стендов с механическим замкнутым контуром нагружения, то их невозможно использовать для обкатки и испытания гидромеханических передач, кроме того, они требуют, вместе с дополнительными передачами, наличия четного количества передач, как правило, 2 или 4, для создания механического контура нагружения. Это значительно усложняет стенд и требует одновременного изменения передаточного отношения испытуемой и дополнительных передач.

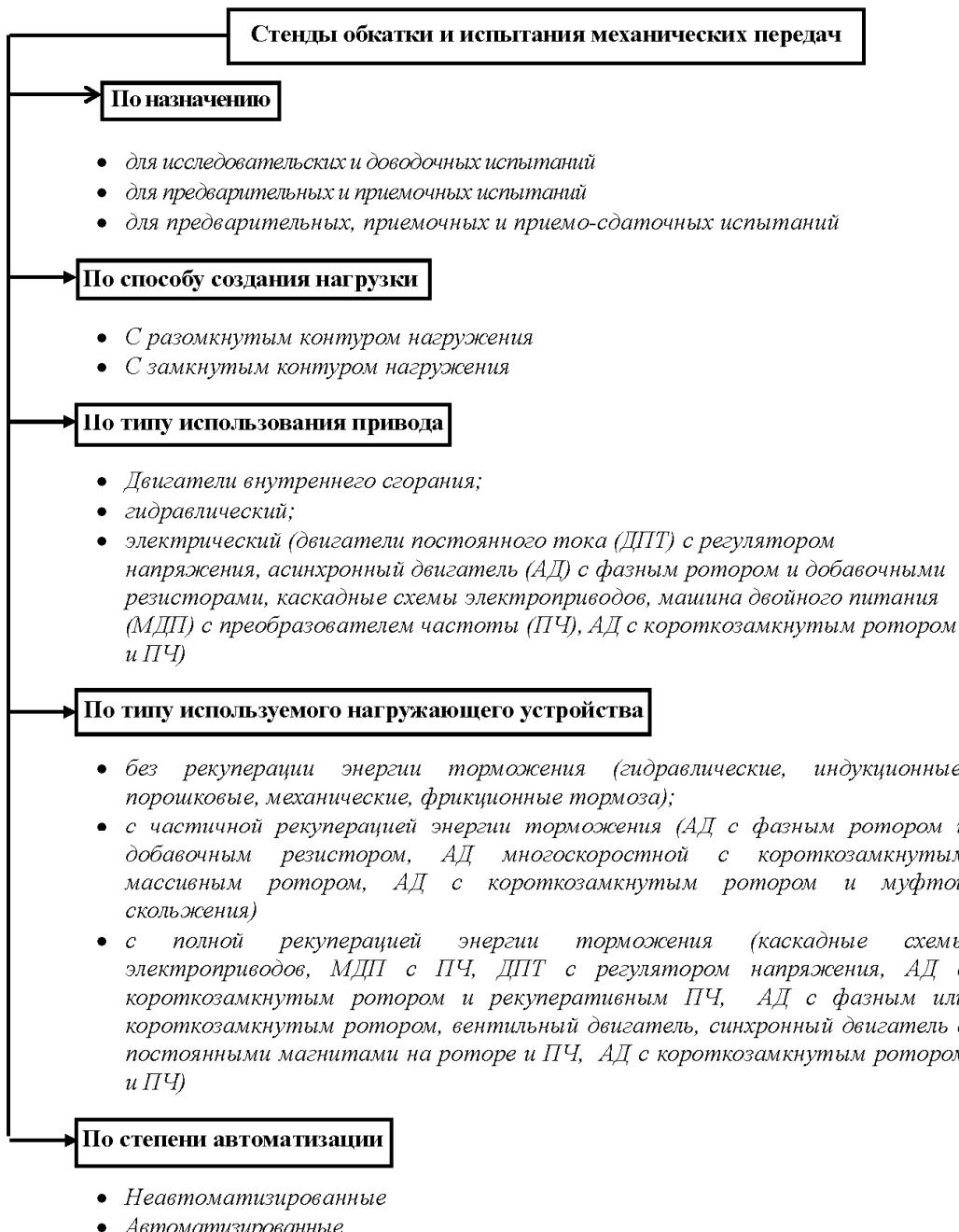


Рисунок 1. Классификация стендов для обкатки и испытания механических передач

Кроме этого, после каждого переключения передачи необходимо проводить процесс ее нагружения крутящим моментом, требующий дополнительных затрат времени и плохо поддающийся автоматизации.

Таким образом, в качестве привода и нагружающего устройства, с точки зрения энергоэффективности и возможности автоматизации технологического процесса обкатки передач, наиболее целесообразно использование электрического привода и электрического нагружающего устройства с полной рекуперацией энергии торможения и желательно по внутреннему контуру, так как в этом случае питающая сеть и преобразующая аппаратура имеют меньшую мощность, а, соответственно, и меньшие потери, чем при рекуперации по внешнему контуру. Следовательно, при дальнейшем анализе систем электропривода обкаточно-испытательных стендов механических передач по технологической эффективности, необходимо рассматривать системы, где в качестве электропривода могут использоваться ДПТ с регулятором напряжения, АД с короткозамкнутым ротором и ПЧ, каскадные схемы электропривода, МДП с ПЧ, а в качестве нагружающего устройства: ДПТ с регулятором напряжения, АД с короткозамкнутым ротором и рекуперативным ПЧ, каскадные схемы электроприводов, МДП с ПЧ, АД с фазным или короткозамкнутым ротором, вентильный двигатель, синхронный двигатель с постоянными магнитами на роторе и ПЧ, АД с короткозамкнутым ротором и ПЧ.

Из литературных источников известно значительное количество стендов, например [3...9], где в качестве электроприводных двигателей используются двигатели постоянного тока и, как правило, независимого возбуждения.

Указанные двигатели обеспечивают при относительно высоких энергетических характеристиках плавное бесступенчатое регулирование скорости входного вала передачи от нуля до заданной при постоянстве приводного момента в зоне регулирования напряжения на якоре и постоянстве мощности привода в зоне регулирования потока возбуждения. Недостаток указанного привода заключается в использовании дорогого и ненадежного ДПТ, а также нестандартных блоков согласования и регулирования напряжения, на которых существуют значительные потери энергии при работе стендов в нагрузочном режиме.

Известны также каскадные схемы электроприводов АД с фазным ротором [10]. Несмотря на то, что они позволяют полезно электрически или электромеханически использовать энергию скольжения, повышая при этом эффективность электропривода, их целесообразно применять при относительно небольших диапазонах регулирования скорости: 0,9...0,5 синхронной скорости магнитного поля статора двигателя. Кроме того, каскадные электроприводы требуют использования более дорогого и менее надежного АД с фазным ротором и независимо от того, как в них реализуется энергия скольжения, электрически или электромеханически, дополнительного использования электромашинных, вентильно-машинных и вентильных преобразователей, что значительно усложняет его устройство и управление. Указан-

ный недостаток относительно небольшого диапазона регулирования скорости в определенной степени может быть устранен в машине двойного питания (МДП). Подсоединяя статор асинхронного двигателя с фазным ротором к питающей сети переменного тока с неизменным напряжением и частотой, а в его ротор, подавая напряжение с изменяемой частотой и амплитудой, можно плавно регулировать угловую скорость двигателя. При изменении чередования фаз напряжения, вводимого в цепь ротора и использовании в цепи ротора преобразователя частоты с непосредственной связью и естественной коммутацией вентилем, у которых наибольшее значение частоты на его выходе не превышает половины частоты питающего напряжение, минимальная угловая скорость при регулировании МДП вниз от синхронной составит 0,5 синхронной, а максимальная при регулировании МДП вверх – 1,5 синхронной.

В течение двух последних десятилетий в обкаточно-испытательных стендах механических передач в качестве их электропривода все чаще начинают использоваться АД с короткозамкнутым ротором и ПЧ питающего напряжения [11...16]. Это обусловлено многократным снижением за этот период стоимости ПЧ в связи с появлением новой элементной базы – современных силовых транзисторов, позволивших также упростить их устройство и улучшить удельные массогабаритные показатели. При этом указанный привод, как и привод с ДПТ, обеспечивает высокие энергетические характеристики, плавное бесступенчатое регулирование в широком диапазоне скоростей при двухзонном регулировании ( $M=const$  и  $P=const$ ), имеет более простой, дешевый и надежный АД с короткозамкнутым ротором и не требует использования нестандартного оборудования. Что касается использования в качестве электропривода стендов АД с фазным ротором и добавочными резисторами, то необходимо отметить, что такой привод обеспечивает низкие энергетические показатели на искусственных характеристиках за счет потерь в резисторах и относительно небольшой диапазон регулирования скорости. Таким образом, высокими энергетическими показателями и широким диапазоном регулирования скорости, удовлетворяющим технологическим требованиям обкатки и испытания передач, обладают электроприводы ДПТ с регулятором напряжения [3...9] и АД с короткозамкнутым ротором и ПЧ [11...16].

При анализе возможных вариантов нагружающих электромеханических устройств будем исходить из их возможности нагружения передачи, то есть возможности устройства создавать нагрузку на выходном валу передачи в широких диапазонах скоростей и моментов, а затем оценивать их энергетическую эффективность с учетом возможности создания внутреннего контура рекуперации энергии торможения от тормозного устройства к электроприводу стендов, что, как указывалось выше, является наиболее предпочтительным.

Если говорить о каскадных схемах нагружающих электромеханических устройств, то есть схемах вентильно-машинного электрического каскада с промежуточным звеном постоянного тока, вентильно-машинного электромеханического каскада, асин-

хронно-вентильного каскада [10, 17], то необходимо отметить, что в этих схемах двигатель может работать в двигательном режиме при скорости, ниже синхронной, в режиме генераторного торможения, параллельно с сетью при скорости только выше синхронной. При этом энергия скольжения рекуперируется в сеть. Двигатель не может работать в генераторном режиме при скорости ниже синхронной и двигательном режиме при сверхсинхронной скорости, когда энергия должна поступать из сети в ротор [10]. Следовательно, в таком нагружающем устройстве скоростной диапазон, где возможно создание регулируемой нагрузки, весьма невелик.

Генераторный режим рекуперативного торможения при скорости, ниже и выше синхронной, может быть реализован в МДП [10, 11]. Подсоединяя статор АД с фазным ротором к питающей сети переменного тока с неизменным напряжением и частотой, а в ротор его, подавая напряжение с изменяемой частотой и амплитудой, а также изменения чередование фаз, можно плавно регулировать угловую скорость двигателя в диапазоне от 0,5 до 1,5 синхронной скорости магнитного поля статора, и при этом обеспечивать генераторный режим при подсинхронной и сверхсинхронной угловой скорости [10]. Несмотря на то, что регулирование во всем диапазоне плавное экономичное, поскольку энергия скольжения за вычетом потерь в цепи ротора и в преобразователе возвращается в сеть, МДП не обеспечивает полностью необходимых технологических режимов обкатки и испытания передач.

Известно использование в качестве нагружающего устройства ДПТ с регулятором напряжения [7...9, 18]. При этом возможны варианты стенда с рекуперацией энергии торможения по внутреннему контуру, то есть, когда возврат энергии осуществляется в привод – такой же ДПТ. В данном варианте две машины постоянного тока включены по схеме взаимной нагрузки и подключены к одному тиристорному преобразователю напряжения. Управление моментом осуществляется за счет изменения потока возбуждения нагрузочной машины [7, 8]. Поток возбуждения двигателя при этом постоянен и ниже номинального. Возможен также вариант, когда энергия торможения рекуперируется в сеть через тиристорный преобразователь – инвертер [9, 18]. Управление моментом нагружения может осуществляться либо изменением напряжения якоря нагрузочной машины, когда оба ДПТ работают при постоянном номинальном значении потока возбуждения, либо изменением потока возбуждения генератора (нагружающего устройства), когда двигатель работает при постоянном номинальном значении потока возбуждения, а генератор – при постоянном, ниже номинального, напряжении на якоре. Оба варианта систем электропривода имеют высокую энергетическую и технологическую эффективность, но предпочтение необходимо отдать схеме взаимной нагрузки при подключении обоих ДПТ к одному регулятору напряжения. Данная схема проще, не требует наличия инвертора, мощного регулятора напряжения и обладает минимальными потерями в преобразующих

устройствах, однако требует двух дорогостоящих и недешевых машин постоянного тока.

В качестве нагружающего устройства возможно использование АД, как с фазным [5], так и короткозамкнутым ротором [3, 4, 6], работающим в генераторном режиме. При этом АД с короткозамкнутым ротором работает в генераторном режиме торможения, при скорости, выше синхронной в узком диапазоне скоростей, а АД с фазным ротором, работая в режиме синхронного генератора, обеспечивает торможение, хоть и в более широком диапазоне скоростей, но с различной эффективностью торможения.

Применение в качестве нагружающего устройства все больше появляющихся на современном рынке электроприводов вентильных двигателей или синхронных двигателей с постоянными магнитами на роторе и ПЧ [15] обусловлено целым рядом их достоинств, таких, как высокие энергетические показатели (КПД выше 90%), широкий диапазон изменения частоты вращения и нагрузочной способности по моменту, отсутствие скользящих электрических контактов, возможность использования во взрывоопасной и агрессивной среде. Однако несмотря на то, что эти двигатели объединяют в себе лучшие качества двигателей переменного и постоянного тока, они обладают высокой стоимостью ввиду использования дорогостоящих постоянных магнитов в конструкции ротора, сложной структурой и управлением. Поэтому в настоящий период времени эти обстоятельства сдерживают их широкое применение в стендах обкатки и испытания передач, пока эти двигатели используются только в дорогостоящих системах с повышенными требованиями по точности и надежности.

Наиболее надежными, приемлемыми по стоимости и обладающими высокими энергетическими и технологическими характеристиками являются стены обкатки и испытания передач, в которых в качестве нагружающего устройства используются АД с короткозамкнутым ротором и ПЧ [12, 13, 16, 19] при этом ПЧ с автономным инвертором рекуперации может обеспечивать рекуперацию электрической энергии торможения непосредственно в сеть. В таких системах электропривода рекуперация электрической энергии от тормозной машины к приводной осуществляется по внешнему контуру. При этом в качестве электропривода в стенде может равнозначно использоваться как ДПТ с регулятором напряжения, так и АД с короткозамкнутым ротором и ПЧ. Наиболее энергоэффективными системами электроприводов стендов являются стены, в которых в качестве приводного и тормозного двигателей используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, статорные обмотки которых питаются от одного [12, 13, 16] или отдельных [19] преобразователей частоты. Определенный интерес представляет система электропривода стендов, где в качестве нагружающего устройства используется АД с короткозамкнутым ротором и вращающимся вокруг него статором, описанная в источниках [12, 13] и приведенная на рисунках 2 и 3.

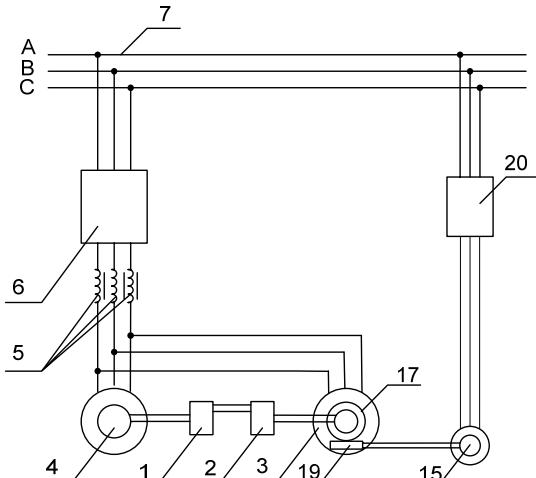


Рисунок 2. Схема стенда для испытания и обкатки передач, в котором в качестве приводного и тормозного двигателя используются АД с короткозамкнутым ротором, а статорные обмотки питаются от одного ПЧ [12, 13]

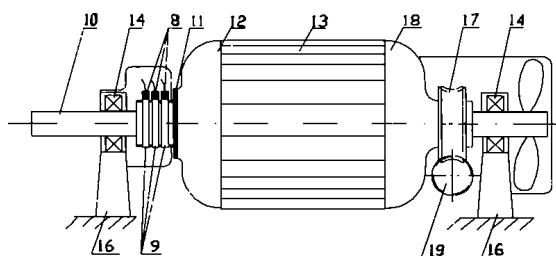


Рисунок 3. Конструкция тормозного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и вращающимся вокруг него статором [12, 13]

Стенд содержит станину (на рисунках не показана) с установленной на ней испытываемой передачей 1, кинематически соединенной ведомым валом передачи через последовательно соединенную дополнительную 2 аналогичную передачу, при этом выходные валы испытываемой 1 и дополнительной 2 передач соединены вместе с тормозным асинхронным двигателем 3 и ведущим валом с приводным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором 4, статорная обмотка которого через дроссель 5 и преобразователь частоты 6 подключена к питающей сети 7, при этом тормозной асинхронный двигатель 3 выполнен с короткозамкнутым ротором, а статорная обмотка через токоподводящие щетки 8 и контактные кольца 9, закрепленные соосно валу 10 двигателя 3 на изоляционной втулке 11 одного из подшипниковых щитов 12 статора, подключена к выходу преобразователя частоты 6 приводного двигателя 4 после дросселя 5 согласно в направлении его вращения, при этом корпус статора 13 тормозного двигателя 3 выполнен вращающимся на подшипниках 14 в направлении, противоположном вращению ротора, дополнительным электродвигателем 15 через самотормозящую механическую передачу на собственном валу 10, в свою очередь установленном в подшипниковых опорах 16,

жестко закрепленных на станине стендса, причем самотормозящая механическая передача выполнена червячной, при этом червячное колесо 17 закреплено соосно валу 10 тормозного двигателя 3 на другом из его подшипниковых щитов 18, а червяк 19 кинематически соединен с валом дополнительного электродвигателя 15, жестко закрепленного на станине стендса и подключенного к сети 7 через регулятор частоты вращения 20. В качестве дополнительного электродвигателя 15 может использоваться двигатель, как постоянного, так и переменного тока с соответствующим регулятором частоты вращения. В качестве приводного 4 и тормозного 3 асинхронных двигателей используют двигатели с одинаковой номинальной частотой вращения, так как при результирующем передаточном отношении встречно-последовательно соединенных обкатываемой передачи 1 с аналогичной дополнительной 2, равном единице, требуется минимальная частота вращения статора 13 тормозного асинхронного двигателя 3 и затрачивается минимальная мощность на его вращение.

Работает стенд следующим образом. Вначале напряжение от трехфазной сети 7 переменного тока через преобразователь частоты 6 и дроссель 5 подается на статорные обмотки, как приводного 4, так и тормозного 3 асинхронных двигателей, которые кинематически соединены с ведущими валами соответственно испытуемой передачи 1 и дополнительной передачи 2. Так как суммарное передаточное отношение встречно-последовательно соединенных обкатываемой 1 и дополнительной 2 передач равно единице, а частота вращения приводного 4 и тормозного 3 двигателей одинакова, согласна по направлению вращения и определяется частотой питающего напряжения на выходе частотного преобразователя 6, то испытываемая передача 1 работает на холостом ходу. Для испытания передачи 1 под нагрузкой через регулятор частоты вращения 20 подключается к трехфазной сети 7 дополнительный двигатель 15, вал которого кинематически соединен с червяком 19 и червячным колесом 17, приводя во вращение статор 13 тормозного двигателя 3 в направлении, противоположном направлению вращения его ротора, тем самым уменьшая синхронную частоту вращения магнитного поля статора 13 тормозного двигателя 3. Таким образом, при изменении частоты вращения статора 13 от нуля в сторону увеличения асинхронный тормозной двигатель 3 от двигательного режима переходит к идеальному холостому, а затем к генераторному режиму с рекуперацией электрической энергии торможения от асинхронного тормозного двигателя 3 к приводному двигателю 4, тем самым изменения тормозной момент на валу передачи 1.

Изменение режимов нагружения передачи 1, т.е. частоты вращения и тормозного момента, осуществляют, соответственно, преобразователем частоты 6 и регулятором частоты вращения 20 дополнительного двигателя 15. При этом частота вращения статора 13 тормозного двигателя 3 с некоторым допущением будет изменяться от нуля до произведения синхронной частоты вращения магнитного поля статора 13

тормозного двигателя 3 на сумму его скольжений, критического и номинального, а максимальная мощность, затрачиваемая дополнительным двигателем 15 на вращение статора 13 тормозного двигателя 3, будет равна произведению момента критического тормозного двигателя 3 на полученную скорость. При аналогичном вращении статора 13 тормозного двигателя 3 в направлении вращения его ротора процесс нагружения передачи 1 изменится на обратный, приводным станет двигатель 3, а тормозным – двигатель 4, и соответственно изменится направление рекуперации электрической энергии.

Предлагаемая схема стенда позволяет осуществлять нагружение передачи в широком диапазоне момента нагрузки и частоты вращения, использовать тормозной двигатель в качестве приводного и наоборот, обеспечивать рекуперацию электрической энергии непосредственно от тормозного двигателя к приводному, что, в свою очередь, обеспечивает возможность использования маломощного преобразователя частоты 6 и минимальные потери энергии при обкатке передачи 1 под нагрузкой.

Однако практическая реализация такого стенда весьма затруднительна в связи с тем, что в нем используется специальный, серийно не выпускаемый асинхронный двигатель, с короткозамкнутым ротором и вращающимся статором, со скользящими электрическими контактами, представленный на рисунке 3, а также хоть и маломощный, дополнительный асинхронный частотно-регулируемый электропривод, обеспечивающий вращение статора нагружающей машины.

На практике наиболее проста реализация равнозначного по энергетическим и технологическим характеристикам стенда обкатки передач, описанного в источнике [19]. Схема такого стенда представлена на рисунке 4.

Аналогично, как и в предыдущем стенде, имеется станина (на рисунке не показана) с установленной на ней испытуемой передачей 1, кинематически единенной ведомым валом через последовательно соединенную дополнительную 2 аналогичную передачу, при этом выходные валы испытуемой 1 и дополнительной 2 передачи соединены вместе с тормозным асинхронным двигателем 3 и ведущим валом с приводным асинхронным двигателем также с короткозамкнутым ротором 4, статорная обмотка которого через дроссель 5 и преобразователь частоты 6, состоящий из инвертора 7, неуправляемого выпрямителя 8 и сглаживающего конденсатора 9, подключена к питающей сети 10. Аналогично статорная обмотка тормозного двигателя 3 через дроссель 11 и преобразователь частоты 12, состоящий из инвертора 13, неуправляемого выпрямителя 14 и сглаживающего конденсатора 15, подключена к питающей сети 10. При этом между выходами выпрямителей 8 и 14 образованы общие шины постоянного напряжения, в разрыв одной из которых установлен амперметр 16, обеспечивающие рекуперацию электрической энергии от тормозной машины к приводной.

Работает стенд следующим образом. Перед включением приводного 4 и тормозного 5 двигателей

на пультах управления ПЧ 6, 12 задают минимальную угловую скорость. Затем подают питание на статоры двигателей 3 и 4 от сети 10 через ПЧ 6 и 12. При этом оба двигателя вращаются с одной скоростью. Так как суммарное передаточное отношение встречно-последовательно соединенных обкатываемой 1 и дополнительной 2 передач равно единице, а частота вращения приводного и тормозного двигателей одинакова по величине и направлению, то испытываемая передача 1 работает на холостом ходу. Для испытания передачи 1 под нагрузкой при устанавливаемой скорости необходимо уменьшить частоту напряжения питания на выходе ПЧ 12 или увеличить на выходе ПЧ 6. При этом тормозной двигатель 3 войдет в генераторный режим и по шинам постоянного тока будет рекуперировать электрическую энергию к приводному 4. Таким образом, генераторное торможение с рекуперацией энергии можно осуществлять и на другой скорости в широком диапазоне скоростей и моментов, при этом функции тормозного двигателя можно передавать приводному двигателю. Данная система электропривода имеет хорошие энергетические и технологические характеристики и не требует специального серийно не выпускаемого оборудования. В электроприводе используются широко распространенные и надежные АД с короткозамкнутым ротором, серийно выпускаемые ПЧ, обеспечивающие высокую степень защиты оборудования от аварийных режимов работы.

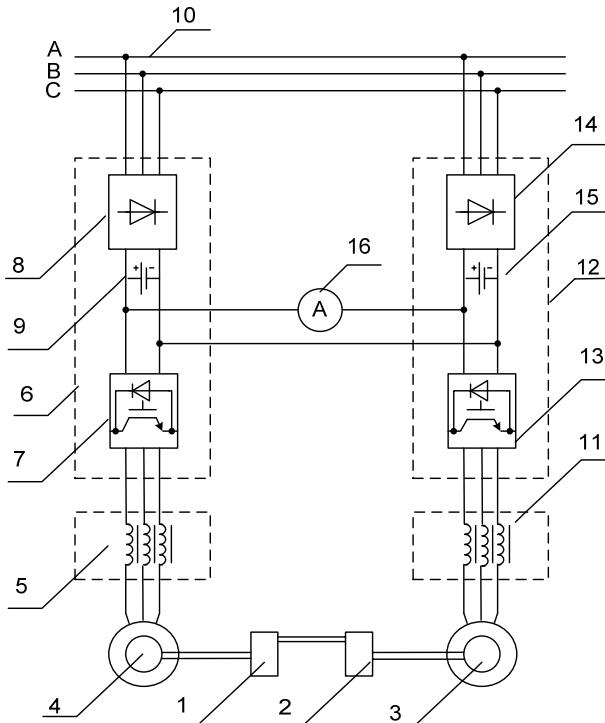


Рисунок 4. Схема стенда для испытания и обкатки передач, в котором в качестве приводного и тормозного двигателя используются АД с короткозамкнутым ротором, а статорные обмотки питаются от отдельных ПЧ

**Заключение**

1. Анализ известных конструкций стендов обкатки и испытания механических передач показывает, что наиболее энергоэффективными являются стенды с замкнутым контуром нагружения, причем предпочтение при этом необходимо отдать стендам с электрическим замкнутым контуром нагружения, так как при использовании в стенде электрического привода и тормозного устройства можно обеспечить полную рекуперацию энергии торможения по внутреннему или внешнему контуру от тормозного устройства к электроприводу стендса. При этом электрические устройства легче поддаются автоматизации, что очень важно на современном этапе развития производства.

2. В связи с появлением новой элементной базы современных силовых транзисторов, в настоящий период значительно снизилась стоимость преобразователей частоты, что повлекло за собой широкое использование частотно-регулируемого асинхронного электропривода, вытесняя при этом менее эффективный и надежный привод постоянного тока.

3. Система связанного двухдвигательного частотно-регулируемого асинхронного электропривода с рекуперацией электрической энергии по шинам постоянного от тормозной машины к приводной в настоящие тока время является наиболее эффективной в стендах обкатки и испытания механических передач, как с энергетической, так и технологической точек зрения.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ  
ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Прищепов, М.А. Обоснование применения частотно-регулируемого асинхронного электропривода для стендов обкатки и испытания механических передач / М.А. Прищепов, Д.М. Иванов // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: матер. Междунар. научн.-практич. конф., г. Минск, 23-24 октября 2014 г; в 2 ч. – Ч. 2 / под ред. И.Н. Шило [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2014. – С. 159-162.
2. Хватов, С.В. Принципы построения электрических нагружающих устройств / С.В. Хватов, В.Г. Титов // Автоматизированный электропривод; под общ. ред. Н.Ф. Ильинского, М.Г. Юнькова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – С. 338-341.
3. Стенд для испытания передач: а.с. 624132 СССР, М. Кл.<sup>2</sup> G 01M 13/02 / Л.А. Калинин, П.Т. Шипуль. – № 2459715/25-28; заявл. 09.03.77; опубл. 15.09.78 // Бюл. №34. – 3 с. : ил.
4. Стенд для испытания передач: а.с. 922568 СССР, М.Кл.<sup>3</sup> G 01M13/02/ Л.А. Калинин, П.Т. Шипуль, М.А. Прищепов. – № 2891128/25-28; заявл. 07.03.80; опубл. 23.04.82 // Бюл. № 15. – 3 с. : ил.
5. Стенд для испытания передач: а.с. 947677 СССР, М.Кл.3 G 01M13/02/ Л.А. Калинин, П.Т. Шипуль, М.А. Прищепов, В.А. Чуркин. – № 3215062/25-28; заявл. 12.12.80; опубл. 30.07.82 // Бюл. № 28. – 4 с.: ил.
6. Стенд для обкатки и испытания передач: а.с. 1330489 СССР, М.Кл.<sup>4</sup> G 01M13/02 / Л.А. Калинин,

Г.И. Янукович, П.Т. Шипуль, А.П. Сердешнов, В.П. Счастный, В.В. Гурин. – № 3994621/25-28; заявл. 20.12.85; опубл. 15.08.87 // Бюл. № 30. – 3 с.: ил.

7. Стенд для испытания передач: а.с 1177710 СССР, М.Кл.<sup>4</sup> G 01M13/02 / М.З. Варшавский. – № 3707461/25-28; заявл. 07.03.84; опубл. 07.09.85 // Бюл. № 33. – 2 с. : ил.

8. Устройство для управления системой нагружения испытательного стендса: пат. 5370 Респ. Беларусь, М.Кл.<sup>7</sup> Н 02Р 5/00 / В.И. Луковников, С.И. Захаренко, В.С. Захаренко, В.А. Савельев; № а 19990246; заявл. 17.03.1999; опубл. 30.09.03. – 4 с.: ил.

9. Устройство для управления системой нагружения испытательного стендса: пат. 5694 Респ. Беларусь, М.Кл.<sup>7</sup> Н 02Р 5/00 / В.И. Луковников, С.И. Захаренко, В.С. Захаренко, В.А. Савельев; № а 19990325; заявл. 04.06.99; опубл. 30.12.03. – 4 с.: ил.

10. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода: учеб. для вузов. – 6-е изд. пер. и доп. / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.

11. Способ испытания механических передач в электрическом стендсе: а.с 1295255 СССР, М.Кл.<sup>4</sup> G 01M13/02/ А.И. Школьников, В.П. Кормухов. – № 4277066/25-28; заявл. 06.07.87; опубл. 30.11.89 // Бюл. № 44. – 4 с. : ил.

12. Способ испытания и обкатки механических передач трансмиссии транспортного средства при нагружении с рекуперацией энергии торможения на электрическом стендсе: пат. 17066 Респ. Беларусь / М.А. Прищепов, В.В. Гурин, В.В. Смоленчук, Е.М. Прищепова. – № а 20101670; заявл. 23.11.10; опубл. 30.04.2013. – 5 с.: ил.

13. Стенд для испытания механических передач путем электрического нагружения с рекуперацией электрической энергии торможения: пат. 17466 Респ. Беларусь, МПК G01M 13/02 / М.А. Прищепов, В.В. Гурин, В.В. Смоленчук, Е.М. Прищепова. – № а 20110422; заявл. 2011.04.06; опубл. 30.08.2013. – 4 с.: ил.

14. Резонансный стенд для исследования валов на кручение: пат. 2247348 РФ, МПК G01M 13/02 / В.И. Лемешко, Г.В. Багров, А.И. Ивахин, Д.А. Хохлов, Ю.И. Фокин, В.И. Травиничев. – № 2003119893/28; заявл. 30.06.2003; опубл. 27.02.2005.

15. Электромеханический стенд для испытания силовых передач: заявка РФ № 2013140650, МПК G01M 13/02 / Г.М. Иванов, О.И. Осипов, А.Е. Наживин, В.И. Новиков. – № 2013140650/28; заявл. 04.09.13, опубл. 20.04.15 // Бюл. № 11.

16. Стенд для испытания механической передачи путем электрического нагружения с рекуперацией электрической энергии торможения от тормозной машины к приводной (варианты): пат. 19758 Респ. Беларусь, МПК G01M 13/02 / М.А. Прищепов, В.В. Гурин, В.В. Смоленчук, Е.М. Прищепова, Т.Г. Базулина. – № а 20130167; заявл. 11.02.2013; опубл. 30.12.2015. – 6 с.: ил.

17. Нагрузочное устройство: пат. 16927 Респ. Беларусь, МПК G01M15/00 / В.С. Захаренко, И.В. Дорощенко, В.А. Савельев. – № а 201101749; заявл. 12.03.10; опубл. 30.08.12. – 5 с.: ил.

18. Захаренко, В.С. Инвариантный электромеханический стенд с рекуперацией энергии для испытания механических трансмиссий: автореф... дис. канд. техн. наук / В.С. Захаренко; Гомельский гос. технич. ун-т им. П.О. Сухого. – Гомель, 2000. – 21 с.

19. Способ управления взаимосвязанными электроприводами с рекуперацией электрической энер-

гии: пат. 19919 Респ. Беларусь, заявка № а 20131163, МПК Н 02Р 5/74 / М.А. Прищепов, В.В. Гурин, Е.М. Прищепова, Д.М. Иванов. – № а 20131163; заявл. 08.10.2013; опубл. 28.02.2016 – 4 с. с ил.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 18.02.2016

УДК 621.35

## УДАЛЕНИЕ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ГИДРОЦИКЛОНЕ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

А.В. Крутов,

доцент каф. электротехники БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

М.А. Бойко,

ст. преподаватель каф. электротехники БГАТУ

*В работе рассматривается пример аналитического описания процесса очистки сточных вод в комбинированных силовых полях.*

**Ключевые слова:** стоки, гидроциклон, электрическое поле, магнитное поле, комбинация силовых полей, отделение суспензии.

*In the article an example of analytical description of the wastewater treatment process in combined force field is examined.*

**Keywords:** drains, hydrocyclone, the electric field, magnetic field, the combination of force field, department suspension.

### Введение

В сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь на мойку автотракторной техники и различных сельхозмашин затрачиваются значительные объемы воды. Кроме того, образованные при этом сточные воды содержат, как правило, различные минеральные загрязнения, нефтепродукты, синтетические моющие средства в дозах, превышающих предельно допустимые концентрации.

Очистка нефтесодержащих стоков с применением электрокоагуляции, электрофлотации в электромагнитных гидроциклонах позволяет повысить степень обеззараживания таких стоков и обеспечить замкнутое водоснабжение, рациональное использование водных ресурсов, снижение вредного воздействия загрязняющих веществ на окружающую среду. Гидроциклоны до сих пор недостаточно полно используются для проведения процессов разделения несмешивающихся жидкостей (эмulsionей). Это обусловлено более сложным механизмом процесса сепарации, а также отсутствием достаточно достоверных методов их инженерного расчета. На практике встречается множество эмпирических формул для расчета гидроциклонов, полученных по результатам различных опытов. Эмпирические зависимости получают, как правило, для конкретных конструкций и условий, а это ограничивает их применение в других отличающихся конструкциях и условиях. Подобное касается и расчета магнитной индукции электромагнитного гидроциклона. Для интенсификации и повышения каче-

ства очистки авторами использовано воздействие неоднородных электрических и магнитных полей на поток очищаемой жидкости в низконапорном трехпродуктовом гидроциклоне. Работы по математическому моделированию процесса сепарации в гидроциклонах под воздействием однородного магнитного поля проводились Б.А. Авдеевым, В. М. Разиным и другими [1-3]. Цель данной работы – получить аналитическое описание процесса очистки стоков от суспензии в гидроциклоне с неоднородными электрическими и магнитными полями, вывести формулу определения магнитной индукции для использования при проектировании очистных устройств подобного типа.

### Основная часть

Для отделения частиц нефтепродуктов и других эмульсий и суспензий, содержащихся в сточных водах постов мойки автотракторной техники, в гидроциклонах используется вращение жидкости, возникающее в результате тангенциального входа потока в рабочий объем аппарата. Интенсифицировать этот процесс и повысить степень очистки можно применив воздействие неоднородных электрических и магнитных полей постоянного тока на поток очищаемой воды. Конструкция такого трехпродуктового электромагнитного гидроциклона приведена на рис. 1.

Обрабатываемая сточная вода под давлением поступает через патрубок подачи очищаемой воды 6 с открытым электромагнитным клапаном в камеру электрофлотокоагуляции, которая сверху ограничена

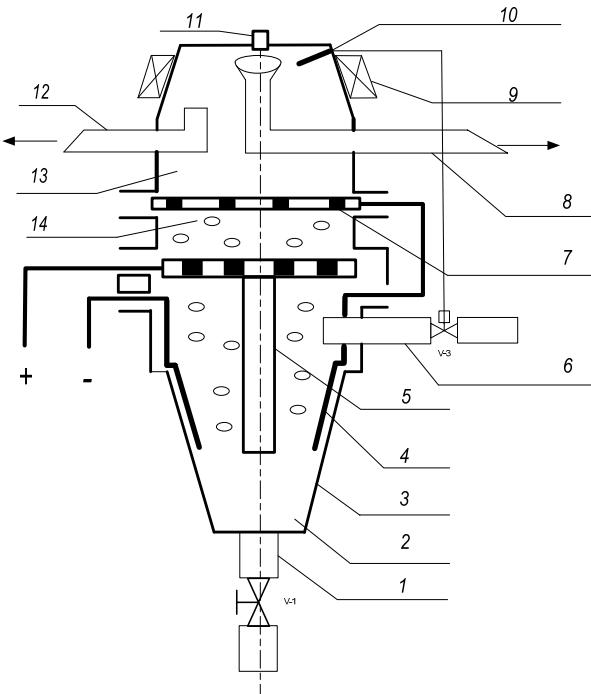


Рисунок 1. Электроустановка доочистки стоков автомоек с использованием неоднородных электрических и магнитных полей: 1 – патрубок отвода шлама с краном; 2 – зона накопления шлама; 3 – корпус устройства пластмассовый; 4 – катод усечено-конусовидный из нерастворимого материала; 5 – растворимый тарелочно-штыревой анод с отверстиями; 6 – патрубок подачи очищаемой воды с электромагнитным клапаном; 7 – нерастворимый сетчатый катод; 8 – патрубок отвода сконцентрировавшихся поверхностно-активных веществ и нефтепродуктов; 9 – катушка индуктивности; 10 – датчик уровня воды с изолированным внутри него контактом; 11 – патрубок отвода газов; 12 – патрубок отвода очищенной воды; 13 – зона флотации; 14 – зона электрофлотокоагуляции

тарельчато-штыревым растворимым анодом 5. При подаче напряжения на катоды и анод очищаемая жидкость подвергается воздействию неоднородного электрического поля. Происходит электролиз, в ходе которого анод частично растворяется, и в камере электрофлотокоагуляции образуются коагулянты на основе гидроксида металла растворяющегося анода. Последние коагулируют находящиеся в жидкости эмульгированные нефтепродукты, моющие средства. Под действием постоянного тока на поверхности электродов протекают электрохимические реакции, приводящие к образованию гидроксильных групп, атомарного кислорода, перекиси водорода, что вызывает окисление органических примесей, в том числе тяжелых металлов. Окислившиеся продукты, механические примеси выпадают в осадок под действием центробежных сил, возникающих в устройстве, и сил тяжести, задерживаются в зоне накопления шлама 2, затем удаляются через патрубок 1.

Пузырьки газа, образующиеся у электродов при электролизе очищаемой воды, интенсифицируют перенос сконцентрировавшихся частиц из жидкости на ее поверхность. Попадая в электромагнитную камеру разделения 13, сконцентрировавшиеся частицы, обладая, например, положительным зарядом, подвергаются воздействию неоднородного магнитного поля, создаваемого индуктивной катушкой постоянного тока 9, получают завихрение, двигаются в сторону увеличения магнитной индукции по спирали с уменьшающимся радиусом, то есть к центру воронки патрубка отвода пены. Очищенная вода удаляется через патрубок 12, а газообразные продукты – через патрубок 11. Когда вода поднимается в устройстве до уровня воронки патрубка отвода пены, срабатывает датчик уровня 10 и размыкает цепь питания электромагнитного клапана, закрывает подачу очищаемой воды. Уровень воды падает, электрический контакт датчика уровня замыкает цепь питания и открывает электромагнитный клапан патрубка подачи очищаемой воды.

В основе процессов разделения лежат эффекты воздействия на движущиеся с потоком воды частицы примесей ряда сил, в том числе сил неоднородных электрических и магнитных полей, обеспечивающие коагуляцию и отделение от воды взвешенных нефтепродуктов и синтетических моющих средств. Запишем уравнение баланса этих сил [4]

$$\vec{F} = ma = \vec{F}_T + \vec{F}_A + \vec{F}_{\text{Ц}} + \vec{F}_{\text{п}} + \vec{F}_{\text{Л}},$$

где  $\vec{F}$  – результирующая сила, действующая на частицу, Н;

$m$  – масса частицы, кг;

$a$  – ускорение движения частицы, м/с<sup>2</sup>;

$\vec{F}_T = mg$  – сила тяжести, Н;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\vec{F}_A = \rho_v g V$  – сила Архимеда, Н;

$\rho_v$  – плотность сточной воды, кг/ м<sup>3</sup>;

$V$  – объем погруженной частицы, м<sup>3</sup>;

$\vec{F}_{\text{Ц}}$  – сила центробежного поля, действующего

на частицу загрязнения в рассматриваемом гидроциклоне, Н;

$\vec{F}_{\text{п}}$  – пондеромоторная сила, созданная системой электродов в зоне вектора напряженности электрического поля, Н;

$\vec{F}_{\text{Л}}$  – сила Лоренца, Н.

В аналитических расчетах учесть воздействие на частицу всех перечисленных выше сил практически невозможно, так как эти силы могут меняться по величине и многие по направлению. Это зависит от изменяющихся характеристик обрабатываемых сточных вод, параметров электрического и магнитного полей [5, 6]. С учетом этого, некоторыми силами пренебрегают, если их воздействие незначительно или они уравновешивают друг друга.

В рассматриваемом случае очистки сточных вод с использованием комбинации силовых полей – цен-

тробежного, электрического и магнитного – пренебрегаем силами тяжести и Архимеда. Кроме того, принимаем во внимание, что центробежная сила и пондеромоторная (сила электрического поля) направлены от периферии к оси гидроцикла. Центробежная сила, действующая на частицу:

$$\vec{F}_{\text{ц}} = (\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{н}}) \delta^3 \frac{d_{\text{п}}^4 \alpha^{0.6} H}{d_{\text{сл}}^2 D^3},$$

где  $\rho_{\text{н}}$  – плотность частицы загрязнения в сточной воде, кг/м<sup>3</sup>;

$\delta$  – диаметр частицы, м;

$d_{\text{п}}, d_{\text{сл}}$  – диаметры подающего и сливного патрубков гидроцикла, соответственно, м;

$D$  – диаметр гидроцикла, м;

$H$  – разница в напорах на входе и на выходе воды из гидроцикла, м;

$\alpha$  – конусность гидроцикла.

В однородном электрическом поле движение частиц обусловлено силами электрофореза, а их взаимодействие поляризационными силами. В неоднородном электрическом поле, напряженность которого является функцией пространственных координат, на частицу помимо электрофоретической силы действует диполофоретическая сила, вызванная тем, что к одному заряду диполя частицы прикладывается поле большей напряженности, чем к другому. Скорость диполофоретического дрейфа частицы пропорциональна градиенту потенциала.

Частица, представляющая собой диполь, приходит в движение только под воздействием неоднородного электрического поля. В отличие от нее, частица, несущая собственный электрический заряд, перемещается и в однородном постоянном поле заряженная положительно – движется по направлению поля; заряженная отрицательно, движется в противоположном направлении. В переменном однородном поле заряженная частица не перемещается, так как получая чередующиеся импульсы, толкающие ее то в одну, то в другую сторону, и не поспевая за ними вследствие инерции, она практически остается на месте.

Неоднородное электрическое поле в нашем случае создается выбранной геометрией расположения электродов – наклонно (с конусностью гидроцикла) и перпендикулярно (в зоне электрофлотации). Пондеромоторную силу, действующую на частицу в электрическом поле, можно определить по следующей формуле [5]:

$$\vec{F}_{\text{п}} = \delta^3 \frac{(\rho_{\text{в}} - \rho_{\phi}) \epsilon_{\phi} \epsilon_0 (\epsilon_{\text{в}} - \epsilon_{\phi})}{\rho_{\text{в}} \rho_{\phi} (\epsilon_{\text{в}} + 2\epsilon_{\phi}) r^3 (1 + \frac{h}{r}) \ln^3 (1 + \frac{h}{r})} U^2,$$

где  $\rho_{\phi}$  – плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>;

$\epsilon_{\text{в}}, \epsilon_{\phi}$  – диэлектрические проницаемости сточной воды и частиц фазы включений, Ф/м;

$\epsilon_0$  – электрическая постоянная, Ф/м;

$r$  – радиус электродов, м;  
 $h$  – расстояние между электродами, м;  
 $U$  – напряжение на электродах, В;  
 Известно, что в магнитном поле на движущуюся частицу массой  $m$  и зарядом  $Q$ , действует сила Лоренца  $\vec{F}_L$ . Уравнение ее движения имеет вид:

$$\vec{F}_L = m \frac{d\vec{v}}{dt} = Q\vec{v}\vec{B},$$

где  $\vec{v}$  – вектор скорости движения частицы, м/с;

$\vec{B}$  – вектор магнитной индукции, Тл;

$Q$  – заряд частицы в магнитном поле гидроцикла, Кл.

Заряженная частица движется со скоростью  $\vec{v}$  под углом  $\alpha$  к вектору магнитной индукции  $\vec{B}$ . Раскладывая вектор скорости на две составляющие (рис. 2):  $\vec{v}_n$  – параллельную вектору магнитной индукции и  $\vec{v}_r$  – перпендикулярную  $\vec{B}$ , и учитывая, что  $\vec{v}_n \vec{B} = 0$ , а  $\vec{v}_r \vec{B} = vB$ , получаем из уравнения движения два уравнения

$$m \frac{d\vec{v}_n}{dt} = 0, \quad (1)$$

$$m \frac{d\vec{v}_r}{dt} = Q\vec{v}_r \vec{B}, \quad (2)$$

где  $B$  – тангенциальная составляющая магнитной индукции, Тл.

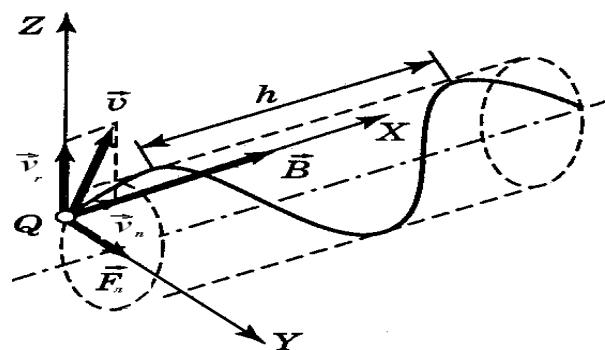


Рисунок 2. Траектория движения заряженных частиц в однородном магнитном поле

Первое уравнение, решением которого является  $\vec{v}_n = \text{const}$ , описывает равномерное движение частицы, параллельное направлению вектора магнитной индукции  $\vec{B}$ . Из второго уравнения следует, что частица движется в плоскости, перпендикулярной  $\vec{B}$ , с

постоянным ускорением  $a = \frac{dv_r}{dt} = \frac{F_L}{m} = \frac{Qv_r B}{m}$ .

Такое движение является равномерным движением

по винтовой линии, ось которой параллельна вектору индукции магнитного поля, а радиус ее равен

$$R = \frac{v^2}{a} = \frac{mv_r}{QB}.$$

Шаг винтовой линии:  $h = v_n T = vT \cos \alpha$ ,

где  $T = \frac{2\pi R}{v}$  – период вращения частицы.

В неоднородном магнитном поле при движении заряженной частицы в направлении возрастания поля силовые линии будут сходящимися, и движение происходит по винтовой линии с уменьшением радиуса (рис. 3). Неоднородное магнитное поле создается размещением обмотки на корпусе гидроциклона, имеющем конусность.

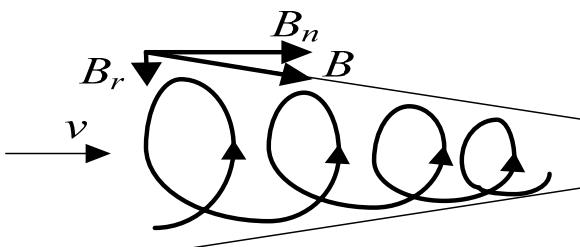


Рисунок 3. Траектория движения заряженных частиц в неоднородном магнитном поле

Применяя комбинацию воздействия силовых полей на взвешенные частицы и эмульсии, можно сконцентрировать их в верхней части оси гидроциклона, что позволяет улучшить их отделение из очищаемой воды. При этом скорость движения удаляемых частиц будет равна сумме скоростей их перемещения, вызванных центробежной силой ( $\vec{v}_{\text{Ц}}$ ), пондеромоторной ( $\vec{v}_{\text{П}}$ ) и силой Лоренца ( $\vec{v}_{\text{Л}}$ ):  $\vec{v}_{\text{Н}} = \vec{v}_{\text{Ц}} + \vec{v}_{\text{П}} + \vec{v}_{\text{Л}}$ .

По мнению авторов, в верхней части электромагнитного гидроциклона определяющей будет сила Лоренца, значение которой зависит от величины и направления вектора магнитной индукции. Для определения напряженности магнитного поля, созданного по оси конической однослойной катушки, выберем направление тока в витках катушки, как показано на рис. 4. При таком направлении намотки и тока в обмотке, скорость движения воды в гидроциклоне и направление воздей-

ствия силы Лоренца совпадают.

В точке  $A$  напряженность магнитного поля, создаваемого током катушки, определим согласно закону Био-Савара-Лапласа. Для этого выделим элемент длины  $dz$  катушки и представим его как тонкий круговой контур с током  $di = \frac{iN}{l} dz$ . Тогда

$$dH = \frac{di}{2R} \sin^3 \beta = \frac{iN}{2l} \sin^3 \beta \frac{dz}{R},$$

где  $N$  – число витков катушки,  
 $i$  – ток в обмотке.

Искомую напряженность магнитного поля  $H$  в точке  $A$ , вызванного током в обмотке катушки, определим интегрированием вдоль всей катушки:

$$H = \int_{-l/2}^{l/2} \frac{iN}{2l_1} \sin^3 \phi \frac{dz}{R}.$$

Так как  $\frac{l}{R} - z = \operatorname{ctg} \phi$ , то  $\frac{dz}{R} = \frac{d\phi}{\sin^2 \phi}$ , следова-

тельно, для конической катушки напряженность магнитного поля в любой точке вдоль оси будет:

$$H = \frac{iN}{2l_1} \int_{\phi_1}^{\phi_n} \sin \phi d\phi = \frac{iN}{2l_1} (\cos \phi_1 - \cos \phi_n), \quad (1)$$

где  $l_1 = \sqrt{(R_1 - R_2)^2 + l^2}$  – длина образующей линии конуса (на рис. не показана);

$R_1, R_2$  – радиусы основания и вершины конуса.

Если в выражение (1) вместо угла  $\phi_n$  подставить угол  $\phi_2 = 180^\circ - \phi_n$  (рис. 4), то получим

$$H = \frac{iN}{2l_1} \int_{\phi_1}^{\phi_2} \sin \phi d\phi = \frac{iN}{2l_1} (\cos \phi_1 + \cos \phi_2).$$

Полученная формула служит для определения  $H$  в различных точках осевой линии катушки при отсутствии стального сердечника. Магнитная индукция при этом будет  $B = \mu_0 H$ . Как видно, магнитное поле создается неоднородное, его напряженность будет увеличиваться к вершине конуса.

Для приближенного расчета напряженности магнитного поля по оси конусной многослойной катушки при отсутствии стального сердечника действительную многослойную катушку заменяют однослойной с тем же общим количеством витков, с той же длиной и с радиусами витков в основании и в вершине конуса, равными среднему радиусу витков действительной катушки.

### Заключение

1. Электромагнитным воздействием на содержащиеся в очищаемых стоках заряженные частицы нефтепродуктов, моющих поверхности-активных веществ, движущихся в гидроциклоне, можно интенсифицировать процесс отделения данных загрязнений.

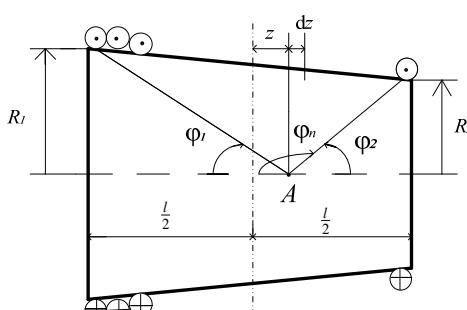


Рисунок 4. К расчету напряженности магнитного поля конической однослойной обмотки

ний. Характер и траектория движения коагулянта зависит от величины магнитного поля, скорости сточных вод и величины заряда, которым обладают скоагулировавшиеся частицы. Их концентрацию у оси гидроциклона создает неоднородное магнитное поле постоянного тока с учетом направления намотки витков катушки.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев, Б. А. Анализ воздействия магнитного поля на процесс сепарации в гидроциклонах / Б.А. Авдеев // ТАРП, 2013. – №4. – С. 45-47.

2. Разин, В. М. Математическая модель процесса движения заряженной частицы в веществе при наличии магнитного поля / В.М. Разин // Известия ТПУ, 2003. – №7. – С. 44-47.

3. Голованчиков, А. Б. Вероятность улавливания частиц в напорном гидроциклоне / А.Б. Голованчиков, Г.И. Первакова, И.С. Бацокин // Известия ВолгГТУ, 2011. – №10. С. 5-9.

4. Повх, И.Л. Техническая гидромеханика; 2-е изд. пер. и доп. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1976. – 504 с.

5. Грановский, М.Г. Электрообработка жидкостей / М.Г. Грановский, И.С. Лавров, О.В. Смирнов; под общ. ред. И.С. Лаврова. – Л.: Химия (Ленингр. отд-ние), 1976. – 216 с.

6. Ильин, В.И. Электрохимическая очистка промышленных сточных вод с обратным циклом / В.И. Ильин, В.А. Колесников // Химическая технология, 2002. – №1. – С. 31-35.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 09.03.2016

УДК 621.694.3

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОСТРУЙНЫХ ЭЖЕКТОРОВ В НАПОРНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

А.М. Кравцов,

зав. каф. гидравлики и гидравлических машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Д.С. Шахрай,

ассистент каф. основ научных исследований и проектирования БГАТУ, магистр техн. наук

*В статье анализируются проблемы использования эжекторов для приготовления газожидкостных смесей. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований водовоздушного эжектора. На основании исследований предложен новый подход к конструированию эжекторов. Определены задачи дальнейших исследований, направленных на совершенствование методики расчета эжекторов.*

*Ключевые слова: водовоздушный эжектор, разрушение струи, длина отгона гидравлического прыжка.*

*This article analyzes some problems of the ejectors' use to make liquid-gas bubble mixture. New results of theoretical and experimental researches of water-air ejector are presented. Based on the researches, a new approach to ejectors design is suggested. Purposes of further research to perfecting of ejector design procedure are determined.*

*Keywords: water-air ejector, jet breakup, distance of hydraulic jump.*

### Введение

Гидроструйный эжектор относится к классу струйных аппаратов и предназначен для создания вакуума и получения газожидкостной смеси при взаимодействии струи рабочей жидкости с окружающим ее газом.

Струйные аппараты нашли широкое применение в практике, что обусловлено рядом их преимуществ: отсутствие подвижных элементов; простота конструкции и малые габариты; высокая надежность при минимальных эксплуатационных затратах и т.д. Основным недостатком, препятствующим более широкому использованию струйных аппаратов, является невысокий КПД, что негативно сказывается на энергоэффективности оборудования [1]. Однако исследования последних десятилетий свидетельствуют о том, что струйные аппараты могут эксплуатироваться с КПД не ниже 40 %, что соизмеримо с КПД вихревых и некоторых типов центробежных насосов [2, с. 3]. Этого возможно достичь путем разработки и внедрения конструктивных новшеств, а

также разработки научно обоснованных методик расчетов элементов струйных аппаратов.

С необходимостью приготовления газожидкостных смесей связаны многие технологические процессы: водоподготовка и очистка сточных вод, аэрация и перемешивание жидкостей, создание взвесей и пен, производство пищевых продуктов и так далее. В системах с низким противодавлением применение эжекторов давно оправдано. Однако при попытках использования существующих эжекторов в напорных системах с высоким значением противодавления возникают проблемы, а именно: низкий КПД, неустойчивая работа или полное отсутствие подсоса пассивной среды. Это обусловлено неподходящей конструкцией аппарата, а также несовершенством методик расчета геометрических параметров основных его элементов.

В качестве примера можно привести схему сооружений для очистки нефтесодержащих сточных вод (рис. 1), пуско-наладка которых осуществлялась в рамках проведения НИР [3, 4].

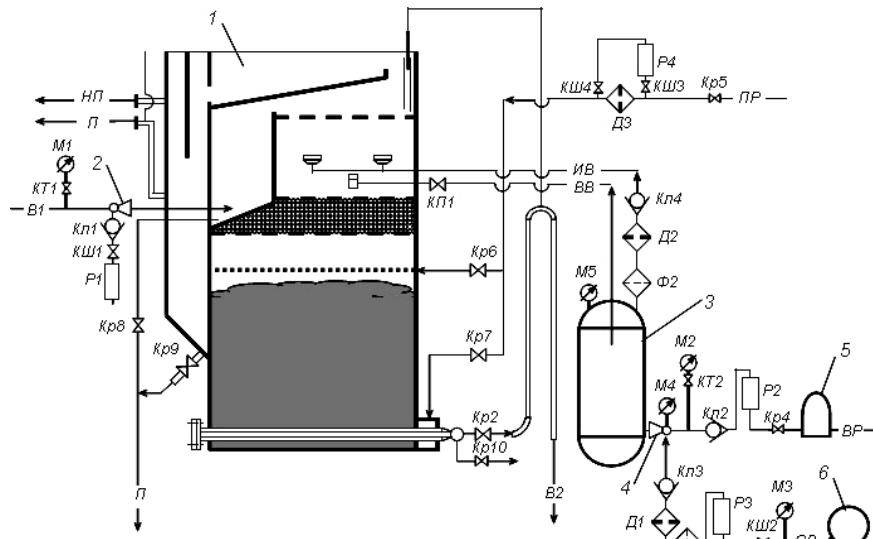


Рисунок 1. Схема водоочистной установки:

1 – фильтр-флотатор; 2 – эжектор струйной флотации; 3 – сатуратор напорной флотации; 4 – гидроструйный смеситель; 5 – насос; 6 – компрессор; В1, В2, ВР, СВ, ВВ, ИВ, ПР, П и НП – трубопроводы подачи сточных вод, отвода очищенной воды, подачи рециркуляционной воды, подачи сжатого воздуха, подачи водо-воздушного раствора, подачи избыточного воздуха, подачи чистой воды на обратную промывку, отвода промывной воды и отвода нефтешлама соответственно; Кл – клапан обратный; КШ – кран шаровой; КТ – кран трехходовой; КП – кран пробковый; Кр – кран (задвижка); Р – расходомер; Ф – фильтр; Д – диафрагма; М – манометр

В технологической схеме (рис. 1) применяются два гидроструйных аппарата: эжектор струйной флотации 2 и эжектор в системе напорной флотации, обозначенный как гидроструйный смеситель 4. Проблем с наладкой и эксплуатацией эжектора 2 не возникло, так как действующий противонапор (противодавление) в камере струйной флотации не превышает 1,5 метра водяного столба (0,015 МПа). Однако эжектор 4 в системе напорной флотации не способен обеспечить самовсасывание и для его работы в схеме предусмотрен компрессор 6. Фактически эжектор 4 выполняет только функцию перемешивания потоков воды и воздуха, поэтому в данной схеме он назван «гидроструйный смеситель». Проблемы с работой эжектора в системе напорной флотации обусловлены большим противонапором в сатураторе 3, величина которого должна поддерживаться в пределах 35–40 метров водяного столба (0,35–0,4 МПа).

В случае создания эжектора, способного работать при больших значениях противодавления, можно было бы отказаться от использования компрессора в представленной схеме и других случаях, что повысило бы эффективность сооружений.

Разработкой теории струйных процессов и методик расчета струйных аппаратов занимались многие исследователи. Несмотря на то, что существует ряд методик расчета основных элементов эжекторов, все же положение нельзя считать удовлетворительным. Разные методики [2, 5] дают противоречивые результаты и не всегда позволяют осуществлять оптимиза-

цию расчетов, обеспечить надежную, экономичную работу струйных аппаратов в широком диапазоне противодавлений.

### Основная часть

При работе гидроструйного эжектора струя рабочей жидкости, приобретая в сопле 2 (рис. 2) большую скорость, входит в горловину 5, где при взаимодействии струи жидкости с окружающим газом происходит его увлечение в высокоскоростной поток, взаимное перемешивание и перемещение. При этом в приемной камере 3 возникает разрежение, и в результате разности давлений в приемной камере 3 и на входе во всасывающий патрубок 4 пассивная среда (газ) через всасывающий патрубок 4 поступает в эжектор.

Движение потока в горловине эжектора сопровождается резким перепадом давления и происходит в виде гидравлического прыжка (сечение В-В, рис. 3). Положение зоны разрушения струи (длина отгона прыжка  $L_{\text{отг}}$ ) зависит от ряда факторов, основным из которых является соотношение скро-

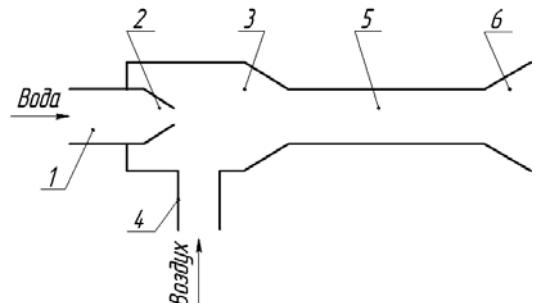


Рисунок 2. Принципиальная схема гидроструйного эжектора: 1 – подающий трубопровод; 2 – сопло; 3 – приемная камера с конфузором; 4 – всасывающий патрубок; 5 – горловина; 6 – диффузор

ростного напора струи рабочей жидкости

$$H_{v.p} = \frac{\alpha \cdot Q_p^2}{2 \cdot g \cdot \omega_c^2},$$

и противонапора на выходе из эжектора

$$H_n = Z + \frac{P_n}{\rho \cdot g},$$

где  $Q_p$  – расход рабочей жидкости,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\omega_c$  – площадь живого сечения струи на выходе из сопла (сечение А-А),  $\text{м}^2$ ;

$Z$  – превышение уровня жидкости в напорном резервуаре над осью эжектора,  $\text{м}$ ;

$P_n$  – избыточное давление,  $\text{Па}$ ;

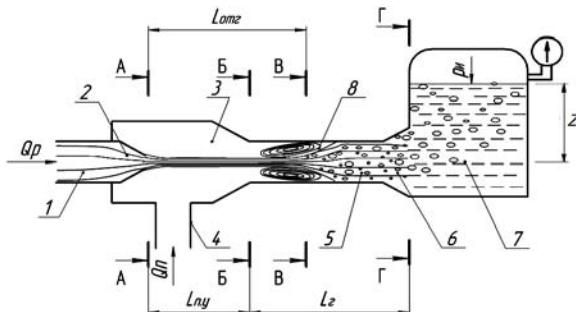


Рисунок 3. Принцип работы гидроструйного эжектора в системе с напорным резервуаром:  
1 – подающий трубопровод; 2 – сопло; 3 – приемная камера;  
4 – всасывающий патрубок; 5 – горловина;  
6 – диффузор; 7 – напорный резервуар;  
8 – гидравлический прыжок;  $Q_p$  и  $Q_n$  – расходы рабочего потока (жидкость) и пассивного потока (газ) соответственно;  $L_{\text{п},\text{у}}$ ,  $L_{\text{п}}$  и  $L_{\text{г}}$  – длины отгона прыжка, приемного участка и горловины соответственно;  $p_u$  – избыточное давление

$\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.

Чем больше противонапор  $H_n$  на выходе эжектора (сечение Г-Г), тем раньше (ближе к входному сечению Б-Б) происходит разрушение струи. При увеличении  $H_n$  прыжок перемещается против рабочего потока и при некотором значении противонапора  $H_n$  достигает входа в горловину (сечение Б-Б), после чего нормальная работа эжектора прекращается.

Описанное выше явление объясняет проблемы с использованием традиционных конструкций эжекторов в высоконапорных системах. У таких аппаратов вход в горловину находится на значительном расстоянии от выходного отверстия сопла (длина приемного участка  $L_{\text{п},\text{у}}$  на рис. 3). И для того, чтобы при большом значении противонапора  $H_n$  обеспечить нахождение прыжка в пределах длины горловины  $L_g$ , необходимо увеличивать скоростной напор  $H_{v,p}$  струи рабочей жидкости. Однако это приводит к резкому увеличению потерь энергии, которые пропорциональны квадрату скорости истечения струи, что, в свою очередь, приводит к резкому снижению КПД аппарата.

Для расширения диапазона применения гидроструйных эжекторов приемная камера должна быть минимальных размеров. Для этого можно отказаться от приемного конфузора, а входную кромку горловины максимально приблизить к соплу с зазором, достаточным для подсоса требуемого количества газа с минимальными потерями энергии.

Как показали исследования [6], при конструировании эжекторов целесообразно использование удлиненной цилиндрической горловины, длиной  $L_g = (30 \dots 35) d_r$  без диффузора. Это позволяет существенно увеличить коэффициент подсоса эжектора и повысить его эффективность по сравнению с традиционными аппаратами с короткой горловиной и диффузором.

В качестве сопла оправдано использование диафрагмы с круглым отверстием по следующим соображениям: во-первых, такое сопло по сравнению с

коноидальными и коническими насадками является наиболее простым и дешевым в изготовлении. Во-вторых, сопло в виде отверстия в тонкой стенке обладает наименьшим коэффициентом  $\zeta$  гидравлического сопротивления ( $\zeta = 0,06$  как у коноидального насадка), что позволяет достигать минимальных потерь энергии при работе эжектора. В работе [7] доказано, что наиболее эффективной формой сопла в гидроструйных аппаратах является диафрагма с прямыми угольными кромками стенок.

С учетом вышесказанного, для практического использования можно предложить конструкцию эжектора, схема которого представлена на рис. 4. Эжектор имеет укороченное расстояние между вы-

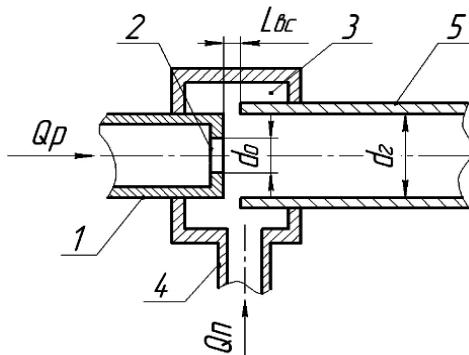


Рисунок 4. Эжектор:

1 – подающий трубопровод; 2 – сопло в виде диафрагмы с круглым отверстием; 3 – приемная камера; 4 – всасывающий патрубок; 5 – горловина.

ходным отверстием сопла и входом в горловину. Зазор  $L_{\text{вс}}$  для подсоса воздуха можно изменять в соответствии с требуемыми эксплуатационными характеристиками. Сопло в виде диафрагмы с круглым отверстием в тонкой стенке. Горловина цилиндрическая без диффузора. Конструкция эжектора характеризуется простотой изготовления и обслуживания.

Для дальнейших исследований принята конструкция эжектора с соплом в виде диафрагмы с круглым отверстием, укороченной приемной камерой без конфузора и цилиндрической горловиной без диффузора (рис. 5). Результаты предшествующих исследований подобных эжекторов представлены в [8-10].

Процессы, происходящие при работе эжектора, характеризуются сложностью и многофакторностью. К основным факторам, определяющим параметры струйного аппарата, можно отнести следующие: расход рабочей жидкости  $Q_p$ , связанный с характеристикой насоса; производительность эжектора  $Q_n$  или коэффициент подсоса  $k_n = Q_n/Q_p$ ; длина отгона гидравлического прыжка  $L_{\text{от}}$  в зависимости от упомянутого выше соотношения скоростного напора струи рабочего потока  $H_{v,p}$  и противонапора  $H_n$  на выходе из эжектора, потери напора  $h$  и другие.

Некоторые расчетные соотношения между величинами можно получить, применив уравнение баланса удельной энергии (уравнение Бернуlli) и уравнение баланса расходов (уравнение неразрывности) для характерных сечений эжектора (рис. 5). Выбранны

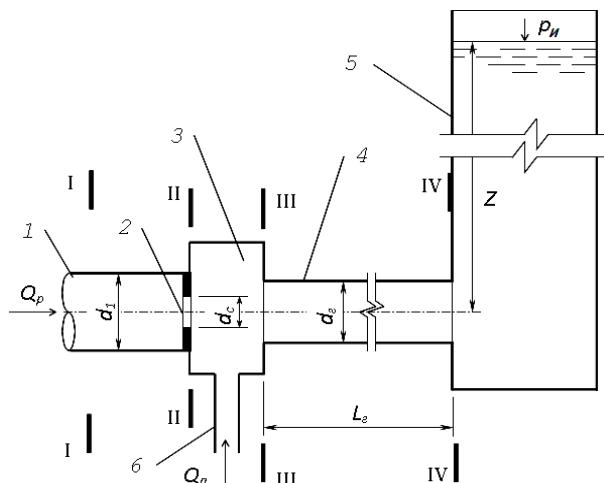


Рисунок 5. Расчетная схема эжектора:  
1 – подающий трубопровод; 2 – сопло в виде диафрагмы с круглым отверстием; 3 – приемная камера; 4 – горловина; 5 – напорный резервуар; 6 – всасывающий патрубок;  $Q_p$  и  $Q_n$  – расходы рабочего потока (жидкость) и пассивного потока (газ) соответственно;  $d_1$  – внутренний диаметр подающего трубопровода;  $d_c$  и  $d_e$  – диаметры отверстия сопла и горловины соответственно;  $L_e$  – длина горловины;  $Z$  – превышение уровня жидкости в напорном резервуаре над осью эжектора;  $p_u$  – избыточное давление

следующие сечения: I-I – перед диафрагмой; II-II – на выходе из диафрагмы; III-III – на входе в горловину; IV-IV – на выходе из горловины.

Для этих сечений получаются следующие соотношения:

– уравнение баланса удельной энергии для сечений I-I и II-II (горизонтальная плоскость сравнения совмещена с осью эжектора)

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 Q_p^2}{2 g \omega_1^2} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 Q_p^2}{2 g \omega_c^2} + h_{1-2}; \quad (1)$$

– уравнение баланса удельной энергии для сечений III-III и IV-IV (горизонтальная плоскость сравнения совмещена с осью эжектора)

$$\begin{aligned} \frac{p_3}{\rho g} + \alpha_3 \left( \frac{Q_p^2}{2 g \omega_c^2} + \frac{\rho_n}{\rho} \frac{Q_n^2}{2 g (\omega_r - \omega_c)^2} \right) &= \\ = H_n + \frac{\alpha_4 Q_p^2}{2 g \omega_r^2} (1 + k_n) \left( 1 + \frac{\rho_n}{\rho} k_n \right) + h_{3-4}, & \quad (2*) \end{aligned}$$

или с учетом того, что  $p_3 \approx p_2$  и  $\rho_n/\rho \approx 0$  уравнение (2\*) можно представить в виде

$$\begin{aligned} \frac{p_2}{\rho g} + \alpha_3 \left( \frac{Q_p^2}{2 g \omega_c^2} + \frac{\rho_n}{\rho} \frac{Q_n^2}{2 g (\omega_r - \omega_c)^2} \right) &= \\ = H_n + \frac{\alpha_4 Q_p^2}{2 g \omega_r^2} (1 + k_n) + h_{3-4}, & \quad (2) \end{aligned}$$

где  $H_n = Z + \frac{p_4}{\rho g}$  – пьезометрический напор в сечении IV-IV, м;

– уравнение баланса удельной энергии для сечений I-I и IV-IV (горизонтальная плоскость сравнения совмещена с осью эжектора)

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 Q_p^2}{2 g \omega_1^2} = H_n + \frac{\alpha_4 Q_p^2}{2 g \omega_r^2} (1 + k_n) + h_{1-4}; \quad (3)$$

– потери удельной энергии при перемещении потока между сечениями I-I и IV-IV

$$h_{1-4} = h_{1-2} + h_{3-4}, \quad (4)$$

где  $h_{1-2}$  и  $h_{3-4}$  – потери удельной энергии при перемещении потока между сечениями I-I и II-II и сечениями III-III и IV-IV соответственно, м.

В уравнениях (1)-(4)  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ ,  $p_4$  – давление в соответствующих сечениях, Па;

$\omega_1$ ,  $\omega_c$ ,  $\omega_r$  – площади живого сечения потока перед эжектором, струи на выходе из сопла и горловины соответственно,  $\text{м}^2$ ;

$\rho$  и  $\rho_n$  – плотности рабочей жидкости и пассивной среды соответственно,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$Z$  – превышение уровня жидкости в напорном резервуаре над осью эжектора, м.

При выводе уравнений (2) и (3) принято допущение о равенстве средних скоростей рабочего и пассивного потоков в сечении IV-IV.

Также при составлении уравнений баланса удельных энергий (1)-(3) следует учитывать распределение скоростей потока в этих сечениях. Если в сечениях I-I, II-II и IV-IV профили скоростей потока соответствуют равномерному движению жидкости и средние скорости в этих сечениях могут быть вычислены обычным путем, принимая коэффициенты Кориолиса  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_4 \approx 1$ , то в сечении III-III профиль скоростей весьма неравномерен и значение коэффициента  $\alpha_3$  значительно больше единицы. Можно условно принять поток во входном сечении горловины III-III состоящим из двух соосных потоков – центрального с расходом  $Q_p$  и большой средней скоростью, приблизительно равной скорости истечения струи из сопла (изменением формы струи и профиля скоростей между сечениями II-II и III-III можно пре-небречь ввиду малого расстояния между ними), и периферийного с расходом  $Q_n$  и значительно меньшей средней скоростью.

Наиболее часто встречающиеся задачи при расчете эжекторов – определение геометрических параметров аппарата при заданных величинах  $Q_n$  и  $H_n$ . При этом в уравнениях (1)-(4) задаются  $g$ ,  $\rho$ ,  $\rho_n$ ,  $\omega_1$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_4$ . Следовательно, в четырех уравнениях (1)-(4) неизвестны следующие девять членов:  $Q_p$ ,  $p_1$  и  $p_2$ ,  $\omega_c$ ,  $\omega_r$ ,  $\alpha_3$ ,  $h_{1-2}$ ,  $h_{3-4}$  и  $h_{1-4}$ . Поэтому для их решения необходимо получить, как минимум, пять дополнительных соотношений. Дополнительные зависимости для определения неизвестных величин и решения основных теоретиче-

ских уравнений (1)-(4) можно получить на основе обработки экспериментальных данных, раскрывающих связи между отдельными величинами. Опытные зависимости для определения  $Q_p$ ,  $p_1$  и  $p_2$  получены в [9, 10]. Кроме этого, для проектирования эжекторов необходимо уметь определять положение зоны разрушения струи (длину отгона прыжка  $L_{\text{отг}}$ ).

Экспериментальные исследования проводились на установке, схема которой представлена на рис. 6.

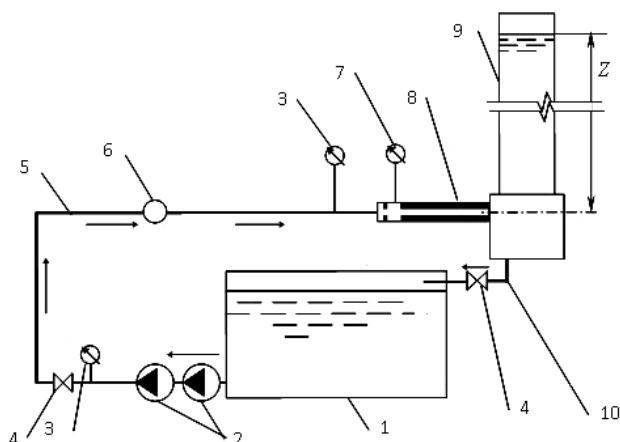


Рисунок 6. Схема экспериментальной установки:  
1 – питательный резервуар; 2 – центробежные насосы; 3 – манометры; 4 – краны; 5 – подающий трубопровод; 6 – расходомер; 7 – вакуумметр; 8 – эжектор; 9 – приемный резервуар; 10 – сливной трубопровод

В установке (рис. 6) рабочая жидкость (вода) расходом  $Q_p$  подавалась из питательного резервуара 1 с помощью лопастных центробежных насосов 2 по трубопроводу 5 в эжектор 8, выполненный из оргстекла для определения длины отгона прыжка  $L_{\text{отг}}$ . Схема опытного эжектора представлена на рис. 5. Эжектор имел сменные сопла диаметром  $d_c = 6, 8$  и  $10$  мм и постоянные размеры горловины – диаметр  $d_r = 15,25$  мм и длина  $L_r = 215$  мм. Горизонтальное расстояние от кромки отверстия сопла до входа в горловину  $L_{\text{п.у}} = 12$  мм. Противонапор на выходе из эжектора создавался поднятием уровня жидкости в открытом приемном резервуаре 9, постоянство уровня в котором обеспечивалось регулированием крана 4 на сливном трубопроводе 10. Избыточное давление на поверхности жидкости  $p_i = 0$ , тогда  $H_{\text{п}} = Z$ . Величина противонапора изменялась и составляла  $Z = 0,4$  м,  $Z = 0,8$  м,  $Z = 1,2$  м,  $Z = 1,6$  м.

В результате обработки предварительных опытных данных, получена зависимость длины отгона прыжка  $L_{\text{отг}}$  от противонапора  $Z$  для различных диаметров сопла  $d_c$  (рис. 7).

График зависимости  $L_{\text{отг}} = f(Z)$  на рис. 7 имеет линейный вид и в целом подтверждает утверждение, сделанное ранее, о существенном снижении длины отгона прыжка  $L_{\text{отг}}$  при увеличении действующего противонапора  $Z$ . Причем, с уменьшением диаметра сопла  $d_c$  до 6 мм наблюдается более резкое снижение величины  $L_{\text{отг}}$  в исследованном диапазоне.

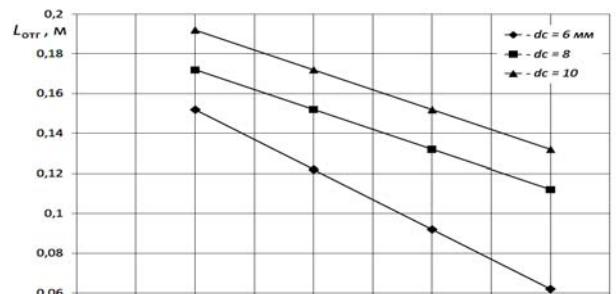


Рисунок 7. Опытная зависимость  $L_{\text{отг}} = f(Z)$   
( $L_r = 0,215$  м,  $d_r = 0,215$  м)

Таким образом, можно предположить, что соотношение диаметров сопла  $d_c$  и горловины  $d_r$ , при прочих равных условиях, также существенно сказывается на величине отгона прыжка  $L_{\text{отг}}$ . Для проверки этого предположения исследована зависимость длины отгона прыжка  $L_{\text{отг}}$  от размера кольцевого сечения, которое образуется между стенками горловины диаметром  $d_r$  и поверхностью струи, истекающей из сопла, диаметром  $d_c$ . График зависимости  $L_{\text{отг}} = f(d_r - d_c)$  представлен на рис. 8.

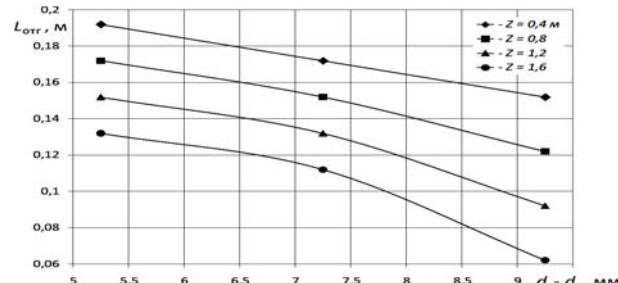


Рисунок 8. Опытная зависимость  $L_{\text{отг}} = f(d_r - d_c)$   
( $L_r = 0,215$  м,  $d_r = 0,215$  м)

Из графика на рис. 8 видно, что при увеличении размера кольцевого сечения  $d_r - d_c$ , длина отгона прыжка  $L_{\text{отг}}$  снижается. Причем с увеличением величины противонапора  $Z$  наблюдается более резкое снижение величины  $L_{\text{отг}}$ . Таким образом, можно сделать вывод, что при определении геометрических параметров проектируемого эжектора, таких как диаметр сопла  $d_c$  и диаметр горловины  $d_r$ , необходимо учитывать действующий противонапор, причем, чем больше противонапор, тем ближе к единице должно быть отношение  $0 < d_c/d_r < 1$ .

Соотношение диаметров сопла  $d_c$  и горловины  $d_r$  существенно сказывается на других характеристиках эжектора, например, коэффициенте подсоса  $k_{\text{п}} = Q_{\text{п}}/Q_p$ . На рис. 9 представлен график зависимости  $k_{\text{п}} = f(d_c/d_r)$ .

Анализ графика на рис. 9 показывает, что в исследованном диапазоне при различных значениях противонапора  $Z$  функция  $k_{\text{п}} = f(d_c/d_r)$  имеет точку максимума при  $d_c/d_r = 0,42 \dots 0,43$ . Далее при стремлении  $d_c/d_r$  к единице, то есть при уменьшении размера кольцевого сечения между струей и стенками горловины, коэффициент подсоса  $k_{\text{п}}$  уменьшается и стремится к нулю. Если сопоставить графики на рис. 8 и 9, то можно сделать вывод, что адаптация эжектора к большим противонапорам будет приводить к

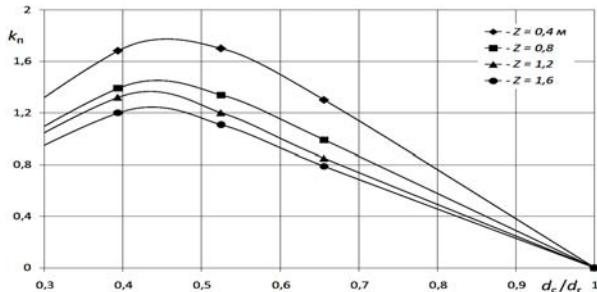


Рисунок 9. Опытная зависимость  $k_n = f(d_c/d_r)$   
( $L_r = 0,215$  м,  $d_r = 0,215$  м)

снижению коэффициента подсоса  $k_n$ . При этом следует отметить, что для многих процессов, в которых используются газо-жидкостные смеси, не требуется большого содержания газа. Например, это процессы, связанные с необходимостью растворения в жидкой среде газов, растворимость которых ограничена. В этих случаях коэффициент подсоса является заданной величиной.

На рис. 10 представлена зависимость  $H_4/H_1 = f(d_c/d_r)$ , где  $H_1$  и  $H_4$  – полные гидродинамические напоры в сечениях I-I и IV-IV соответственно (рис. 5), которые определяются из балансового уравнения (3), то есть

$$H_1 = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 Q_p^2}{2 g \omega_1^2},$$

$$H_4 = H_n + \frac{\alpha_4 Q_p^2}{2 g \omega_r^2} (1 + k_n).$$

Отношение  $H_4/H_1$  характеризует потери напора в эжекторе, которые в соответствии с уравнениями (3) и (4) равны:

$$h_{1-4} = H_1 - H_4 = h_{1-2} + h_{3-4},$$

где  $h_{1-2}$  – потери напора, возникающие при создании высокоскоростного потока на участке между сечениями I-I и II-II, м;

$h_{3-4}$  – потери напора в горловине эжектора, в которой происходит подсос воздуха и его перемешивание с потоком рабочей жидкости на участке между сечениями III-III и IV-IV, м.

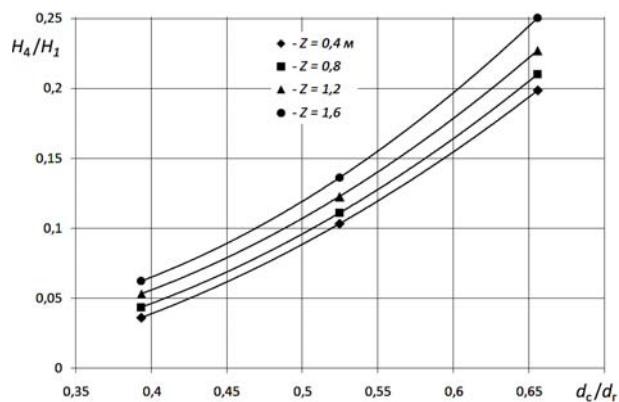


Рисунок 10. Опытная зависимость  $H_4/H_1 = f(d_c/d_r)$  ( $L_r = 0,215$  м,  $d_r = 0,215$  м)

Анализ графика на рис. 10 показывает, что при уменьшении величины отношения  $d_c/d_r$ , то есть при уменьшении диаметра струи и, соответственно, увеличении размера кольцевого сечения между струей и стенками горловины, происходит уменьшение отношения  $H_4/H_1$ , что означает увеличение потерь напора в эжекторе. Это объясняется увеличением вихревых зон и усилением обратных токов при увеличении размера кольцевого сечения между струей и стенками горловины. Обратные токи возникают за счет разности вакуумметрического давления в сечении III-III и манометрического давления в сечении IV-IV.

Настоящие экспериментальные исследования проводились при малых противонапорах ( $Z = 0,4...1,6$  м), что позволило сделать допущение о постоянстве плотности пассивной среды во всех расчетных сечениях. Для получения общих расчетных зависимостей, в дальнейшем необходимо провести дополнительные исследования при больших значениях противонапора. Это потребует, в дополнение к полученным результатам исследований, разработки математической модели, учитывающей сжатие газа по рабочей длине горловины эжектора.

Анализируя в целом результаты предварительных исследований, можно сделать вывод, что при расчете гидроструйного эжектора важным параметром, влияющим на его работоспособность, является длина отгона гидравлического прыжка. Установлено, что для увеличения действующего противонапора необходимо уменьшать размер кольцевого сечения между струей и стенками горловины. При этом потери напора в эжекторе будут снижаться.

### Заключение

1. Для установления взаимосвязей между определяющими параметрами, влияющими на работу водовоздушного эжектора, проведены теоретические и экспериментальные исследования. На основе уравнений баланса удельных энергий и уравнения баланса расходов получены теоретические зависимости, а в результате экспериментальных исследований – получены опытные зависимости: а) длины отгона прыжка  $L_{opt}$  в эжекторе от действующего противонапора  $Z$ ; б) длины отгона прыжка  $L_{opt}$  от размера кольцевого сечения, образующегося между стенками горловины диаметром  $d_r$  и поверхностью струи, истекающей из сопла диаметром  $d_c$ ; в) коэффициента подсоса  $k_n$  от отношения диаметров сопла и горловины  $d_c/d_r$ ; г) отношения полных гидродинамических напоров на выходе и входе эжектора  $H_4/H_1$  от отношения диаметров сопла и горловины  $d_c/d_r$ . Сделан анализ полученных зависимостей.

2. Определено направление дальнейших углубленных исследований для обобщения полученных предварительных результатов и разработки математических зависимостей для определения длины отгона прыжка и оптимизации геометрических параметров эжектора.

3. Основываясь на анализе работы гидроструйного аппарата и с учетом результатов проведенных исследований, предложена новая конструкция эжек-

тора. Основным преимуществом предлагаемого эжектора является возможность нахождения зоны разрушения струи непосредственно у сопла, при этом устойчивая работа аппарата нарушаться не будет. Также конструкция эжектора характеризуется простотой изготовления и обслуживания.

4. Полученные научные результаты могут найти применение в технологиях, связанных с необходимостью приготовления газожидкостных смесей или создания вакуума. В частности, практическое использование результатов НИР позволит отказаться от компрессорного оборудования, используемого в технологических схемах очистки сточных вод для осуществления процесса напорной флотации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ловкис В.Б., Колос В.А. О критериях энергетической эффективности сельскохозяйственных технологий // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. – Т. 42 – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства», 2008. – С. 13-19.

2. Лямаев, Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки / Б.Ф. Лямаев. – Л.: Машиностроение, 1988. – 276 с.

3. Провести обследование и разработать рекомендации по оптимизации работы малогабаритной комбинированной установки для очистки нефтесодержащих сточных вод, входящей в состав очистных сооружений дождевых сточных вод на территории базы РУП «Белоруснефть-Брестоблнефтепродукт»: отчет о НИР / Белор. гос. аграрн. технич. уч-т; рук.

темы А.М. Кравцов. – Минск: БГАТУ, 2005. – 44 с. – № ГР 20051559.

4. Научное сопровождение по совершенствованию и пуско-наладке нестандартизированного фильтра-флотатора, входящего в состав реконструируемых очистных сооружений мойки АТЦ МАЗ: отчет о НИР / Белор. гос. аграрн. техн. уч-т; рук. темы А.М. Кравцов. – Минск: БГАТУ, 2007. – 30 с. – № ГР 20072368.

5. Соколов, Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 351 с.

6. Кореннов, Б.Е. Исследование водовоздушных эжекторов с удлиненной цилиндрической камерой смешения: автореф. дис. ... канд. тех. наук / Б.Е. Кореннов. – М.: ВТИ, 1980. – 23 с.

7. Каннингэм, П. Г. Сжатие газа с помощью жидкоструйного насоса. Теоретические основы инженерных расчетов. – М.: Мир, 1974. – № 3. – С. 112-127.

8. Кравцов, А.М. Экспериментальные исследования работы эжекторов / А.М. Кравцов // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ), 2000. – № 3. – С. 90-95.

9. Кравцов, М.В. Расчет подачи воды в гидроструйные аппараты / М.В. Кравцов, А.М. Кравцов // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ), 2006. – № 4. – С. 80-86.

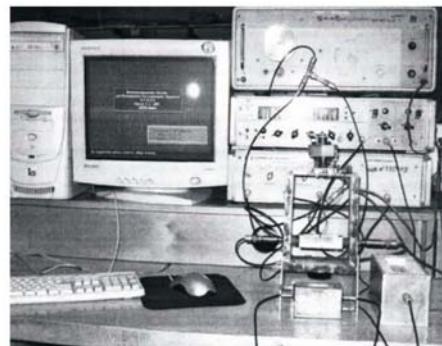
10. Кравцов, М.В. К расчету величины вакуума в струйных аппаратах вакуумных установок / М.В. Кравцов, А.М. Кравцов // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ), 2013. – № 2. – С. 80-87.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 09.03.2016

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

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

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



### Основные технические данные

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

УДК 631. 158

# **ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ И ЗАКРЕПЛЕНИЮ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА В АГРАРНОМ СЕКТОРЕ ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Н.С. Яковчик,**

*директор Института повышения квалификации и переподготовки кадров АПК БГАТУ,  
докт. экон. наук, докт. с.-х. наук, профессор*

**А.Э. Шибеко,**

*доцент каф. инновационного развития АПК Института повышения квалификации и переподготовки кадров  
АПК БГАТУ, канд. экон. наук, доцент*

**В статье рассмотрены вопросы подготовки и переподготовки высококвалифицированных управленческих кадров для агропромышленного комплекса Республики Беларусь. Изложены проблемы формирования кадрового потенциала и предложены пути повышения эффективности использования управленческого труда руководящих работников и специалистов организаций АПК.**

**Ключевые слова:** управленческие кадры, аграрная кадровая политика, подготовка, переподготовка, закрепление, мотивация труда, оценка эффективности управленческого труда.

*This article examines matters relating to the training and retraining of highly skilled managers for the agro-industrial complex of the Republic of Belarus. It outlines the problems of human resource capacity and suggests ways to improve the utilization of labour management executives and professionals organizations.*

**Keywords:** administrative personnel, agricultural personnel policy, training, retraining, consolidation, labor motivation, evaluation of the effectiveness of administrative work.

## **Введение**

В настоящее время в агропромышленном комплексе Республики Беларусь проводится технологическая модернизация производства. В сельскохозяйственных организациях приобретается новая высоко-производительная техника и технологическое оборудование, проводится реконструкция действующих молочных ферм и строятся современные молочнотоварные комплексы, работающие на промышленной основе. Основная цель модернизации – создание эффективного конкурентоспособного производства, базирующегося на финансовой поддержке государства и обеспеченности аграрной сферы высококвалифицированными управленческими кадрами, способными вести производство сельскохозяйственной продукции на современной научно-технологической и организационно-экономической основе.

Обеспеченность сельскохозяйственных организаций высококвалифицированными руководителями и специалистами – ключевой фактор успешного развития аграрной экономики [1]. Повышение эффективности работы аграрного сектора во многом зависит от уровня подготовки и обеспеченности аграрной отрасли высококвалифицированными управленческими кадрами с высоким уровнем экономического мышления, профессионализма и общей культуры, способными внедрять инновационные технологии производства сельскохозяйственной продукции и

принимать своевременные и эффективные управленческие решения.

Целью данной работы является изучение проблем формирования кадрового потенциала, закрепления управленческих кадров и выработка предложений по повышению эффективности их использования.

## **Основная часть**

За последние годы государственными органами управления проделана значительная работа по повышению эффективности функционирования организаций агропромышленного комплекса страны. Построена разветвленная сеть агрогородков и внедрены социальные стандарты в сельской местности. Почти все производители сельскохозяйственной продукции провели технологическую модернизацию производства, что позволило наряду с ростом других показателей значительно увеличить объемы производства сельскохозяйственной продукции и укрепить экспортный потенциал отрасли.

Благодаря выстроенной аграрной политике государства, четкой и слаженной работе управленческих кадров всех уровней управления, в республике обеспечена продовольственная безопасность.

Среди стран СНГ по среднедушевому производству зерна (1009 кг) Беларусь занимает второе место после Украины (1449 кг). По производству и экспорту льноволокна наша страна занимает третье место в мире.

Республика Беларусь лидирует среди стран СНГ по производству на душу населения картофеля – 663 кг, мяса – 113 кг, молока – 708 кг и яиц – 417 шт. (табл. 1). Занимая 25-е место в мире по объему производства молока, страна вышла на 7-е место по экспорту молочной продукции.

По производству молока на душу населения Беларусь опережает Казахстан, Украину, Кыргызстан в 2,5-3 раза, Россию и Армению – более чем в 3 раза, Молдову – почти в 5 раз.

Несмотря на достижения аграрного сектора экономики, отрасль имеет значительный потенциал для своего развития, важнейшим фактором реализации которого является обеспеченность высококвалифицированными управленческими кадрами, способными решать современные задачи, стоящие перед аграрной сферой в переходный период. Согласно расчетам Всемирного банка реконструкции и развития, экономический рост в странах с переходной экономикой лишь на 16 % зависит от наличия физического капитала, от природно-климатических условий страны – на 20 % и от человеческого фактора – на 64 %.

Общеизвестно, что во всех развитых странах мира средства, направляемые на оплату труда, являются одними из самых высоких в структуре себестоимости продукции и приравниваются к статьям затрат на воспроизводство основного и оборотного капитала. Это обстоятельство вынуждает применять не только жесткую экономию живого труда, но и весьма высоко ценить высококвалифицированные трудовые ресурсы.

В настоящее время особенно остро стоит задача переподготовки и повышения квалификации руководящих работников и специалистов с переориентацией их сознания на инновационный вектор мышления и деятельности. В контексте этой задачи только в 2015 году в Институте повышения квалификации и переподготовки кадров АПК БГАТУ прошли обучение за счет бюджетных средств 2166 чел., в том числе повысили квалификацию – 1786 чел., обучались по специальностям переподготовки – 290 чел., прошли стажировку – 90 чел.

Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 03.09.2014 г. № 860 «О практическом обучении кандидатов на должности руководителей сельскохозяйственных организаций» закрепляет значимость стажировки, совершенствования управленче-

ских навыков и формирования профессионального потенциала руководителей сельскохозяйственных организаций [2]. Данный документ определяет, что практическое обучение руководителей сельскохозяйственных организаций осуществляется при освоении содержания образовательной программы стажировки руководящих работников и специалистов в Институте повышения квалификации и переподготовки кадров агропромышленного комплекса БГАТУ с освоением новых методов, технологий и элементов профессиональной деятельности в базовых сельскохозяйственных организациях сроком, не превышающим два месяца.

Для реализации программы стажировки определено 40 базовых сельскохозяйственных организаций республики для изучения передового опыта эффективного ведения сельскохозяйственного производства. В их числе: СПК «Остромечево» Брестского района, КСУП «Комбинат «Восток» Гомельского района, КСУП «Совхоз-комбинат «Заря» Мозырского района, СПК «Прогресс-Вертилишки» Гродненского района, ОАО «Агрокомбинат «Дзержинский» Дзержинского района, ОАО «Александрийское» Шкловского района и др.

Образовательный процесс в 2015 году в институте обеспечивали 438 преподавателей, в том числе 20 докторов наук и 147 кандидатов наук. Среди них также 64 руководителя и специалиста сельскохозяйственных организаций, 130 преподавателей и специалистов учреждений образования, 52 работника Министерств и республиканских органов управления, 103 руководителя и сотрудника НПЦ НАН Беларуси, 74 специалиста других организаций и учреждений. Привлечение к учебному процессу вышеупомянутых специалистов позволяет значительно увеличить научно-практическую составляющую обучения и поднять его на более качественный уровень.

Вместе с тем, состояние дел по формированию кадрового потенциала организаций АПК вызывает серьезную обеспокоенность. Во всех регионах республики отмечается нехватка специалистов по наиболее востребованным специальностям сельскохозяйственного профиля. На начало 2015 года в сельскохозяйственных организациях республики имелось 70 вакансий руководителей. Выбытие руководителей по республике в 2014 году составило 19,5 % (уменьшилось на 2,5 % по сравнению с 2013 годом). Высшее

**Таблица 1. Производство основных видов продукции на душу населения в странах СНГ в 2014 году (кг)**

Страна	зерновые и зернобобовые культуры	картофель	овощи	сахарная свекла	скот и птица (в убойном весе)	молоко	яйца, шт.
Армения	196	243	316	-	-	232	212
Беларусь	1009	663	183	507	113	708	417
Казахстан	993	197	201	1	52	290	247
Кыргызстан	227	226	158	30	34	248	76
Молдова	818	75	92	325	-	147	181
Россия	716	215	104	207	62	211	285
Таджикистан	159	103	187	-	12	103	42
Украина	1449	553	219	353	-	255	452

образование в целом по республике имеют более 90 % руководителей и 43 % специалистов. Доля квалифицированных кадров в экономически активной возрастной категории до 31 года сохраняется на уровне 25 %, в то время как количество руководителей и специалистов пенсионного возраста имеет тенденцию к увеличению [3, 4].

По мнению авторов публикации, основными причинами дефицита и оттока квалифицированных управленческих кадров из сельскохозяйственного производства являются:

- падение престижа работы на селе;
- низкий уровень мотивации труда;
- ненормированный рабочий день;
- отсутствие возможности предоставления специалистам – технологам отпуска в летнее время в силу сезонности производства;
- не всегда внимательное отношение к нуждам и запросам молодых специалистов со стороны отдельных руководителей организаций;
- неудовлетворенность социально-бытовыми условиями и морально-психологическим климатом среди управленческого персонала;
- высокая степень вмешательства вышестоящих органов управления в вопросы хозяйствования сельхозорганизаций, которые ограничивают возможности самостоятельного и своевременного принятия руководителями и специалистами эффективных управленческих решений, и лишает их права на оправданные риски.

По нашему мнению, одним из условий повышения трудовой активности работников сельхозорганизаций является внедрение рыночных форм оплаты труда и материального стимулирования. Основным недостатком применяемых в настоящее время в сельскохозяйственных организациях республики форм оплаты труда является то, что они не связаны с конечными финансовыми результатами, а носят, в основном, промежуточный характер.

Отсюда следует, что гибкое совершенствование организации труда и его стимулирование выступает важнейшим средством в управленческом арсенале руководителя по привлечению к высокопроизводительному труду работников, обеспечению высокой трудовой дисциплины и ответственности и, в конечном итоге, укреплению аграрной экономики. Зарплатная плата не должна быть единственным источником дохода на селе, необходимы и такие мотивации, как владение акциями, долями и определение степени участия каждого работника в полученной прибыли. Это может стать мощным побудительным мотивом для закрепления высококвалифицированных специалистов на селе [5].

Считаем, что основными путями повышения эффективности использования труда руководящих работников и специалистов могут быть:

- предоставление руководителям и специалистам более полной самостоятельности при принятии управленческих решений по эффективному развитию сельхозорганизаций. Целесообразно сократить коли-

чество доводимых прогнозных показателей, и доводить только один – объем государственного заказа. Обязательным условием при заключении договоров на поставку сельхозпродукции в счет госзаказа должно быть авансирование сельхозорганизаций с учетом специфики ведения сельскохозяйственного производства. Все другие вопросы хозяйственного управления (структура посевных площадей, численность поголовья КРС, объемы производства и продаж, каналы, цены реализации и т.д.) должны решаться непосредственно руководителями и специалистами сельхозорганизаций. Доводимые в настоящее время сельхозорганизациям прогнозные показатели оказывают отрицательное влияние на развитие их экономики, поскольку они зачастую являются необоснованными и нереальными для выполнения с учетом имеющихся материально-технических и финансовых ресурсов. Это вынуждает руководителей и специалистов заниматься различными «манипуляциями» при составлении отчетности об их выполнении;

– использование хозрасчетных отношений, позволяющих повысить самостоятельность руководящих работников, специалистов и трудового коллектива в целом в решении конкретных задач;

– введение института частной собственности на средства производства и предоставление собственнику права распоряжаться производимой продукцией, позволяющего работникам аграрной отрасли самостоятельно планировать эффективность своего труда;

– кардинальная перестройка работы управлений сельского хозяйства и продовольствия райисполкомов, поскольку многие функции хозяйственного управления сельхозорганизациями они берут на себя, не неся при этом юридической и экономической ответственности. Специалистам райсельхозпродов следует уделять больше внимания консультационной деятельности по вопросам соблюдения технологических регламентов, обеспечения качества производимой продукции, оценке эффективности принимаемых решений, рыночным формам оплаты труда, организации маркетинговой деятельности и т.д. В современных экономических условиях необходимо делать акцент на экономические методы управления с введением в отрасль института сельхозконсультирования.

По нашему мнению, при формировании аграрной кадровой политики необходимо четко разграничить подходы к ее обеспечению на основе реализации следующих принципов:

– опережающее развитие кадрового потенциала. Его следует применять очень звешенно, соизмеряя затраты на приращение знаний, квалификацию работников и достигаемый при этом рост эффективности аграрного производства;

– специализация кадров, отражающая процесс дифференциации в системе подготовки, переподготовки и повышения квалификации для всех форм хозяйствования, включая и малые;

– формирование кадрового потенциала по направлениям инновационного развития научно-технического прогресса в обществе и отрасли (информатизация, орга-

ническое сельское хозяйство, биотехнологии, нанотехнологии). Это потребует ускоренной адаптации системы профессионального образования к потребностям нового технологического уклада [6]:

– принцип сертификации аграрных кадров всех уровней, который предполагает, что молодые специалисты, имеющие стаж работы в сельскохозяйственной организации не менее 3-х лет, имеют право пройти повышение квалификации в учреждениях дополнительного образования взрослых с получением сертификата о присвоении соответствующего квалификационного уровня, что позволит им повысить свою материальную составляющую и будет способствовать росту конкурентоспособности на рынке труда.

На наш взгляд, для закрепления высококвалифицированных управленческих кадров в аграрном секторе экономики необходимо осуществить следующие мероприятия:

– для большего мотивирования студентов старших курсов, проходящих переподготовку по специальности «Управление организациями и подразделениями АПК» (резерв кадров) предусмотреть в областных бюджетах создание целевых бюджетных фондов для финансирования их обучения и постоянно проводить мониторинг карьерного роста данной категории обученных;

– учреждениям дополнительного образования, реализующим образовательные программы по подготовке резерва кадров унифицировать и актуализировать учебные программы учебных дисциплин переподготовки и стажировки с учетом современного состояния экономики АПК, увеличив в структуре учебных программ до 30 % учебного времени на изучение вопросов антикризисного управления и агробизнеса. С учетом отечественного и зарубежного опыта было бы целесообразно внести изменения в нормативные правовые акты на предмет уменьшения численности слушателей в учебных группах по подготовке резерва руководящих кадров. Разрешить обучение резерва кадров и стажировку кандидатов на должности руководителей за счет бюджетных средств в группах численностью 10-12 чел, а не 25-30 чел. согласно Кодексу Республики Беларусь об образовании (гл. 52, ст. 250, п. 4).

– на законодательном уровне предлагаем принять решение о присвоении классности и приравнивании статуса руководителей сельскохозяйственных организаций, работающих на условиях трудового контракта с государственными органами управления, к статусу государственных служащих с назначением соответствующего уровня пенсии при выходе на заслуженный отдых;

– предоставить руководящим работникам большую самостоятельность при принятии управленческих решений, тем самым повысить их ответственность за формирование доходов сельскохозяйственной организации и своей личной доли в полученном доходе;

– для повышения материальной заинтересованности руководителей и специалистов в конечных результатах производства, в убыточных сельскохозяйственных организациях и в организациях с критиче-

ским уровнем платежеспособности ввести систему премирования по итогам года. За критерий премирования экономически целесообразно принимать сумму снижения убытка за отчетный период по сравнению с базовым уровнем, в среднем за последние 3 года;

– для усиления мотивации труда руководителей организаций АПК, которые проработали свыше 10 лет, на законодательном уровне установить при выходе на пенсию ежемесячную доплату к государственной пенсии за счет собственных средств организации. Размер доплаты должен определяться количеством базовых величин в зависимости от продолжительности работы в должности руководителя и с учетом трудового вклада;

– высококвалифицированным руководителям и специалистам, ушедшим из отрасли при выходе на пенсию или иным причинам, по их желанию, целесообразно создавать условия для оказания ими консультационных услуг сельскохозяйственным предприятиям и молодым специалистам на платной основе.

Предложенные в данной статье выводы и предложения, хотя и являются в некоторой степени дискуссионными, все же могут быть учтены в работе по совершенствованию системы дополнительного образования взрослых и способствовать поиску наиболее оптимальных путей решения проблемы закрепления высококвалифицированных управленческих кадров в аграрном секторе экономики в соответствии с качественно новыми целями и задачами развития сельских территорий, устойчивому росту производства сельскохозяйственной продукции и ее экспортного потенциала, повышению жизненного уровня сельского населения.

### **Заключение**

Выполненное исследование позволяет сделать следующие выводы и предложения:

1. Обеспеченность сельскохозяйственных организаций высококвалифицированными руководителями и специалистами выступает одним из ключевых факторов устойчивого развития аграрного сектора экономики.

2. В настоящее время актуальной проблемой является закрепление управленческих кадров в сельскохозяйственных организациях республики. В последние годы их сменяемость составляет 15-20 %. Это высокий уровень текучести кадров, который не позволяет эффективно использовать материально-технические ресурсы.

3. Одним из главных направлений закрепления управленческих кадров в сельском хозяйстве должно стать совершенствование системы материального стимулирования труда. Это предполагает внедрение в сельскохозяйственных организациях рыночных моделей мотивации труда, участие работников и трудовых коллективов в движении собственности организаций, формирование и накопление персонифицированных долей собственности в имуществе предприятий, участие работников в прибылях, начисление дивидендов за счет прибыли и другие мероприятия.

4. Для усиления мотивации труда руководителей сельскохозяйственных организаций, которые проработали свыше 10 лет, и придания большего престижа, целесообразно на законодательном уровне установить размеры доплат в базовых величинах к государственной пенсии, что послужит мощным стимулом для закрепления молодых руководителей на селе.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная программа устойчивого развития села на 2011-2015 гг.: Указ Президента Республики Беларусь № 342 от 01.08.2011 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: president.gov.by>press 17275.html. – Дата доступа: 6.03.2013.

2. О практическом обучении кандидатов на должности руководителей сельскохозяйственных организаций: пост. Совета Министров Респ. Беларусь от 3.09. 2014 г. № 860 / Национальный реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2014. – №5/39366.

3. Программа кадрового обеспечения агропромышленного комплекса республики Беларусь «Кадры

2011-2015 гг.»: Постановление коллегии Минсельхозпрана № 80 от 25.11.2010 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: mshp.minsk/by>programms/page=2. – Дата доступа: 6.03.2013.

4. О проблемах развития и направлениях реформирования АПК Беларуси на современном этапе: Доклад межведомственной рабочей группы по решению проблемных вопросов в агропромышленном комплексе, созданной распоряжением Президента Республики Беларусь от 4 февраля 2014 г. № 34рп. – Минск: Беларусь, 2014. – 127 с.

5. Актуальные проблемы формирования кадрового потенциала для инновационного развития АПК: материалы Междунар. науч.-практич. конф., Минск, 4-5 июня 2015 г.) / редкол.: Н. Н. Романик [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2015. – 296 с.

6. Концепция государственной кадровой политики Республики Беларусь: Указ Президента Республики Беларусь № 399 от 18 июня 2001 г [Электронный ресурс]. – Режим доступа: president.gov.by>press28443;html. – Дата доступа: 6.03.2013.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 19.02.2016

## Станция для доильных установок с вакуумным насосом малой мощности

**Предназначена** для создания вакуумметрического давления в системах машинного доения коров. Может применяться в отраслях промышленности, технологические процессы которых требуют создания вакуума.

Применение установки обеспечивает снижение энергоемкости процесса доения коров до 0,052 кВт·ч/м<sup>3</sup> при стабильном вакуумном режиме.



### Основные технические данные

Станция вакуумная водокольцевая	ВВН-75
Тип	передвижная
Быстрота действия при вакууме 50 %, м <sup>3</sup> /ч	75
Предельное вакуумметрическое давление, кПа	90
Потребляемая мощность, кВт	3,9
Расход рециркуляционной воды, литров в минуту	8
Габаритные размеры, мм	1500x600x1500
Масса, кг, не более	35

# —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.

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 Сүг, Times ET);

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

4) при наборе формул необходимо следовать общепринятым правилам:

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

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

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

г) цифры набираются шрифтом прямого начертания;

д) аббревиатуры функций набираются прямо;

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

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

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

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

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

графиков не следует применять выделение цветом, заливку фона.

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

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

индекс УДК;

название статьи;

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

аннотацию на русском и английском языках;

ключевые слова на русском и английском языках;

введение;

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

заключение, завершающее четко сформулированными выводами;

список цитированных источников;

дату поступления статьи в редакцию.

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

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

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

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

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

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

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

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

9. Плата за опубликование научных статей не взимается.

10. Право первоочередного опубликования статей предоставляется лицам, осуществляющим послевузовское обучение (аспирантура, докторантуре, 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*

## Установка окраски безвоздушным распылением УБРХ-01М

Предназначена для нанесения лакокрасочных, консервационных и иных покрытий на машины, оборудование или строительные объекты.

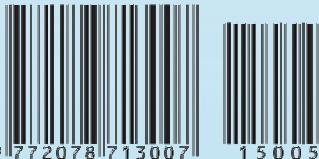
Безвоздушное распыление указывает на то, что в распылении наносимого материала сжатый воздух не участвует. За счет высокого давления распыляемый материал истекает из специального сопла со скоростью более 140 м/с, диспергируется и образует факел, который имеет четкие границы, гомогенен и не склонен к туманообразованию. В совокупности обеспечивается более экономное расходование материалов, повышается производительность, снижаются затраты на вентиляцию рабочего места, улучшаются условия труда маляра, повышается долговечность наносимых покрытий в 1,5...2,0 раза.

Конструкция установки защищена патентами Республики Беларусь.



### Основные технические данные

Производительность гидронасоса при свободном сливе, л/мин	не менее 5
Количество распыляемого материала, подаваемого гидронасосом за один двойной ход, см <sup>3</sup>	около 90
Максимальное рабочее давление распыляемого материала, МПа	20
Габаритные размеры, мм	900x600x520
Масса, кг	около 40
в том числе:	
пневмонасоса	17
тележки	19
краскораспылитель, шланги, фильтры	около 4



9 772078 713007 15005