



ISSN 2078-7138

# АГРОПАНОРАМА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

№ 3  
июнь  
2017

*Закономерности изменения силы сопротивления качению колес машинно-тракторных агрегатов*

*О взаимосвязи потерь на качение трактора и его балластированием*

*Расчет статических характеристик асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в двигательном и генераторном режимах при частоте напряжения питания обмоток статора выше номинальной*

*Методологические принципы и этапы эффективного освоения адаптивных систем ведения сельского хозяйства*



# **МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА «БЕЛАГРО – 2017»**



С 6 по 11 июня в Минске проходила 27-я Международная специализированная выставка «БЕЛАГРО», на которой новейшие достижения в области сельскохозяйственного машиностроения и последние разработки в сфере АПК продемонстрировали белорусские и зарубежные ученые и промышленники. В работе выставки приняли участие более 500 компаний из 25 стран.

Белорусский государственный аграрный технический университет – постоянный участник выставки. На стенде нашего университета в этом году были представлены баннеры и мультимедийная презентация с информацией о научно-исследовательской работе и научных разработках БГАТУ, образцы деталей, приборов и машин, созданных в университете, монографии, учебники и учебные пособия, авторами которых являются работники университета. Наибольший интерес посетителей экспозиции БГАТУ был проявлен к разработкам: «Агрегат универсальный для возделывания овощных, бахчевых, лекарственных культур и картофеля в системе экологического земледелия», «Технология импульсного закалочного охлаждения жидкостью смесных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин», «Технологическая линия заполнения кассет субстратом и высева семян» и «Компьютерная программа поддержки принятия решений по оптимизации структуры сырьевого конвейера для обеспечения хозяйств кормами».

В рамках «Белагро – 2017» факультет «Технический сервис в АПК» совместно с РО «БелагроСервис» провел международную научно-практическую конференцию «Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК», на которой обсуждались вопросы, связанные с производством новой техники, освоением инновационных технологий в сельскохозяйственном производстве, повышением эффективности использования машин и оборудования, совершенствованием системы технического сервиса в АПК. В конференции приняли участие ведущие ученые и производственники Республики Беларусь, а также представители ближнего и дальнего зарубежья.

Традиционно, с целью совершенствования профессионального мастерства, а также выявления и поддержки одаренной и талантливой сельской молодежи, БГАТУ провел конкурс «Лучший пахарь», участниками которого стали студенты и мастера производственного обучения учреждений высшего и среднего специального образования аграрного профиля.

Экспозицию нашего университета посетили – заместитель Министра сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь В. В. Гракун и начальник главного управления образования, науки и кадров Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь В.А. Самсонович, а также ряд отечественных и зарубежных делегаций.

За активное участие, высокий уровень организации и проведения Белорусской агропромышленной недели БГАТУ награжден дипломом 1-й степени Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь и дипломом ЗАО «МинскЭкспо».

# АГРОПАНОРАМА 3 (121) июнь 2017

Издается с апреля 1997 г.

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

**Учредитель**  
*Белорусский государственный  
аграрный технический университет*

**Главный редактор**  
Иван Николаевич Шило

Заместитель главного редактора  
Михаил Александрович Прищепов

Редакционная коллегия:

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

Е.В. Сенчуроў – ответственный секретарь  
Н.И. Цындріна – 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 работы 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, 2017.

Формат издания 60 x 84 1/8.

Подписано в печать с готового оригинала-  
макета 23.06.2017 г. Зак. № 525 от 22.06.2017 г.

Дата выхода в свет 30.06.2017 г.

Печать офсетная. Тираж 100 экз.

Статьи рецензируются.

Отпечатано в ИПЦ БГАТУ по адресу: г. Минск,  
пр-т. Независимости, 99/2  
ЛП № 02330/316 от 30.01.2015 г.

Выходит один раз в два месяца.

Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884.  
Стоимость подписки на журнал на 1-ое полугодие 2017 г.:  
для индивидуальных подписчиков - 17,61 руб.;  
ведомственная - 19,29 руб.;  
Цена журнала в киоске БГАТУ - 5,19 руб.

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### Сельскохозяйственное машиностроение.

#### Металлообработка

- И. Н. Шило, Н. Н. Романюк, А. Н. Орда,  
В. А. Шкляревич, А. С. Воробей  
Закономерности изменения силы сопротивления качению колес  
машинно-тракторных агрегатов.....2

- Д.А. Жданко, А.В. Новиков, Д.И. Сушко, А.А. Шиш  
Диагностирование двигателя и гидростатической трансмиссии  
как способ снижения расхода топлива мобильных  
энергетических средств.....6

- В. Я. Тимошенко, А. В. Нагорный, А.Л. Лонский  
О взаимосвязи потерь на качение трактора и его  
балластированием.....9

### Технологии производства продукции растениеводства и животноводства.

#### Зоотехния

- И. И. Скорб, А. М. Волк  
Течение двух несмешивающихся жидкостей в канале  
прямоугольной формы.....14

- С.Н. Бондарев, В.И. Передня, А.В. Китун  
Определение вытесненного объема и коэффициента жесткости  
соковой резины доильного стакана.....18

- В.С. Корко, Е.А. Городецкая, И.Б. Дубодел,  
Т.А. Непарко, Ю.К. Городецкий, Е.Т. Титова  
Активация жидких сред и предпосевная обработка семян  
ультразвуковым полем.....21

### Энергетика. Транспорт

- М.А. Прищепов, Д.М. Иванов, Е.М. Прищепова  
Расчет статических характеристик асинхронных  
электродвигателей с короткозамкнутым ротором в  
двигательном и генераторном режимах при частоте  
напряжения питания обмоток статора выше номинальной.....26

### Технический сервис в АПК.

#### Экономика

- Г.И. Гануш, В.В. Липницкая, З.Г. Близнюк  
Методологические принципы и этапы эффективного  
освоения адаптивных систем ведения сельского хозяйства.....35

- Н.С. Яковчик, А.Э. Шибеко, Н.Н. Быков,  
С.Л. Кулагин, О.А. Карабань  
Оценка экономической эффективности инновационных  
технологий заготовки травяных кормов в сельскохозяйственных  
организациях Республики Беларусь.....40

- О.А. Карабань  
Влияние продуктивного долголетия коров на экономическую  
эффективность производства молока.....44

# Сельскохозяйственное машиностроение

## Металлообработка

УДК 629.1

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ КАЧЕНИЮ КОЛЕС МАШИННО- ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

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

**В статье обоснованы зависимости силы сопротивления качению колес от числа проходов по следу при различных состояниях опорной поверхности. Рассмотрены варианты сильно упрочняющейся почвы, слабо упрочняющейся почвы и почвы, подготовленной под посев.**

**Ключевые слова:** машинно-тракторный агрегат, почва, колесо, сопротивление качению, число проходов, напряжение, давление.

*In the article dependences of resistance force to swing of wheels on a number of passes on a trace at various conditions of a basic surface are proved. Options of strongly strengthened soil, poorly strengthened soil and the way paved under crops are considered.*

**Keywords:** machine and tractor unit, soil, wheel, resistance to swing, number of passes, tension, pressure.

### Введение

Воздействие ходовых систем машинно-тракторных агрегатов (МТА) ведет к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Повышение плотности почвы, вызванное воздействием движителей тракторов и сельскохозяйственных машин, привело к увеличению твердости почвы в 2-3 раза. Между твердостью, плотностью и удельным сопротивлением почвы при вспашке существует тесная корреляционная связь. Удельное сопротивление при обработке пахотного слоя после прохода тракторов повышается на 15-65 %, а транспортных средств и комбайнов – на 60-90 % [1, 2].

Процесс «деформирование – уплотнение – разуплотнение – накопление уплотнения почвы», происходящий в результате воздействия ходовых систем МТА на почву, зависит как от режимов эксплуатации техники, так и от изменяющихся свойств почвы в зависимости от ее типа, агрофона и периодов года. Деформация почвы колесами сопровождается расходом энергии на преодоление возникающей силы сопротивления качению. Поскольку основная часть потерь энергии при передвижении по полю машинно-тракторных агрегатов тратится на образование следов, то весьма важным является установление влияния числа проходов колес на изменения силы сопротивления качению.

### Основная часть

При передвижении ходовых систем по почве сопротивление качению обуславливается, в основном, потерями энергии на деформацию почвы.

Работа вертикальной деформации почвы при  $i$ -м проходе колеса:

$$W_{\sigma_i} = A \int_{h_{i-1}}^{h_i} \sigma_i(h) dh,$$

где  $A$  – площадь пятна контакта колеса с почвой, м<sup>2</sup>;  
 $h_{i-1}$  – глубина следа при ( $i - 1$ ) – м проходе колеса, м;

$h_i$  – глубина следа при  $i$  – м проходе колеса, м;  
 $\sigma_i(h)$  – зависимость между напряжением и осадкой при  $i$  – м проходе колеса, м.

Суммарная величина работы после  $n$  нагружений

$$W_{\sigma} = A \sum_{i=1}^n \int_{h_{i-1}}^{h_i} \sigma_i(h) dh.$$

Значения работы при  $i$ -м проходе колеса за один оборот и после  $n$  проходов будут равны соответственно:

$$W_{\sigma_i} = 2\pi \cdot r \cdot B_k \int_{h_{i-1}}^{h_i} \sigma_i(h) dh, \quad (1)$$



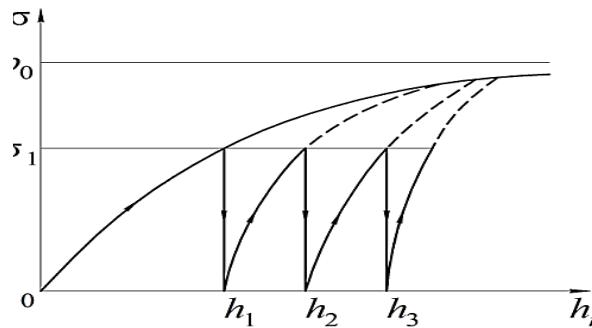


Рисунок 3. Закономерности накопления повторных осадок для слабо упрочняющихся почв

Зависимость между напряжением и осадкой при  $n$ -ом нагружении слабо упрочняющейся почвы имеет вид [5]:

$$\sigma_n = p_0 \cdot th\left(\frac{k}{p_0} \cdot \frac{1}{k_u \cdot \lg(n/(n-1))} \cdot \Delta h_n\right), \quad (11)$$

где  $k_u$  – коэффициент интенсивности накопления повторных осадок для слабоупрочняющейся почвы;

$\Delta h_n$  – приращение осадки при  $n$ -м нагружении.

В результате преобразований зависимостей (5), (6) и (11) получим

$$F_{f_n} = B_k \left[ \int_0^{h_1} p_0 \cdot th\left(\frac{k}{p_0} \cdot h\right) dh + \int_0^{h_2-h_1} p_0 \cdot th\left(\frac{k}{p_0} \cdot \frac{1}{k_u \cdot \lg 2} \right) dh + \dots + \int_0^{h_n-h_{n-1}} p_0 \cdot th\left(\frac{k}{p_0} \cdot \frac{1}{k_u \cdot \lg(n/(n-1))} \right) dh \right].$$

Проинтегрировав это выражение, получим:

$$F_{f_n} = B_k \cdot \frac{p_0^2}{k} \left[ \ln ch\left(\frac{k}{p_0} \cdot h_1\right) + k_u \cdot \lg 2 \cdot \ln ch\left(\frac{k}{p_0} \cdot \frac{h_2-h_1}{k_u \cdot \lg 2}\right) + \dots + k_u \cdot \lg \frac{n}{n-1} \cdot \ln ch\left(\frac{k}{p_0} \cdot \frac{h_n-h_{n-1}}{k_u \cdot \lg(n/(n-1))}\right) \right]$$

или

$$F_{f_n} = B_k \cdot \frac{p_0^2}{k} \left[ \ln ch\left(\frac{k}{p_0} \cdot h_1\right) + k_u \cdot \sum_{i=2}^n \lg \frac{i}{i-1} \cdot \ln ch\left(\frac{k}{p_0} \cdot \frac{h_i-h_{i-1}}{k_u \cdot \lg(i/(i-1))}\right) \right]. \quad (12)$$

Найдем зависимость  $F_f$  в функции давления  $q = \sigma_1$ . Представим зависимость (6) в виде

$$\frac{k}{p_0} h_1 = Arth \frac{q}{p_0}. \quad (13)$$

Известно, что

$$Arth \frac{q}{p_0} = Arch \frac{1}{\sqrt{1-q/p_0^2}}. \quad (14)$$

Тогда выражение (13) примет вид:

$$\frac{k}{p_0} h_1 = Arch \frac{1}{\sqrt{1-q^2/p_0^2}}. \quad (15)$$

Приращение осадки при  $n$ -ом приложении нагрузки ( $h_n - h_{n-1}$ ) определяется по формуле

$$\Delta h_n = k_u \cdot \lg \frac{n}{n-1} \cdot \frac{p_0}{k} Arth \left( \frac{\sigma_1}{p_0} \right) \quad (16)$$

Подставив в зависимость (12) вместо  $(k/p_0)h_1$  его значение (15) и вместо разности  $(h_i - h_{i-1})$  выражение (16), получим:

$$\begin{aligned} F_{f_n} &= B_k \frac{p_0^2}{k} \left[ \ln ch \left( Arch \frac{1}{\sqrt{1-q^2/p_0^2}} \right) + \right. \\ &\quad \left. + k_u \sum_{i=2}^n \lg \frac{i}{i-1} \ln ch \left( Arth \frac{q}{p_0} \right) \right] = \\ &= B_k \frac{p_0^2}{k} \left( \ln \frac{1}{\sqrt{1-q^2/p_0^2}} + k_u \sum_{i=2}^n \lg \frac{i}{i-1} \ln \frac{1}{\sqrt{1-q^2/p_0^2}} \right) \end{aligned}$$

или

$$F_{f_n} = B_k \frac{p_0^2}{k} \ln \frac{1}{\sqrt{1-q^2/p_0^2}} (1 + k_u \lg n). \quad (17)$$

На основании формулы (17) построим график зависимости силы сопротивления качению колесной ходовой системы от числа осей для слабо упрочняющейся почвы (рис. 4).

Из рис. 4 видно, что при давлении колес на почву  $q = 75$  кПа прирост силы сопротивления качению незначительный. При более высоких давлениях интенсивность приращения силы сопротивления качению при последующих проходах колес возрастает.

Найдем сопротивление качению колесных ходов для почвы, подготовленной под посев. Для такой почвы зависимость между напряжением и деформацией описывается следующей формулой [5]:

$$\sigma = \frac{a}{b} \cdot \operatorname{tg}(abh), \quad (18)$$

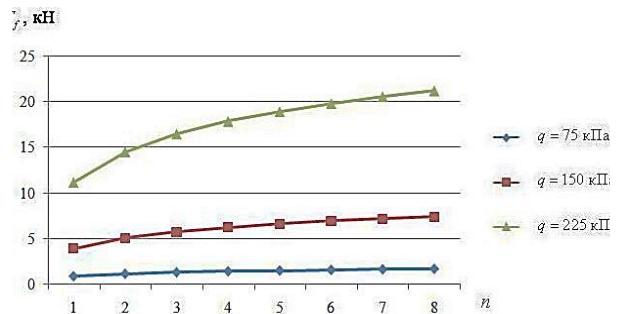


Рисунок 4. Зависимость силы сопротивления качению колесной ходовой системы от числа осей для слабо упрочняющейся почвы

где  $a = \sqrt{k_0}$ ,

$$b = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{h_{y_{\text{пл}}} \sqrt{k_0}},$$

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

где  $k_0$  – коэффициент объемного смятия почвы, подготовленной под посев, Н/м<sup>3</sup>;

$h_{y_{\text{пл}}}$  – 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.

Зависимость накопления повторных осадок для почвы, подготовленной под посев, имеет вид [5]:

$$h_n = \frac{1}{a \cdot b} \operatorname{Arc cos} \left( \frac{n^{-B_1}}{\sqrt{1 + (b^2 / a^2) \cdot \sigma^2}} \right). \quad (19)$$

На рис. 5 приведен график зависимости между напряжением и осадкой при повторных нагрузлениях, построенный на основании зависимости (19).

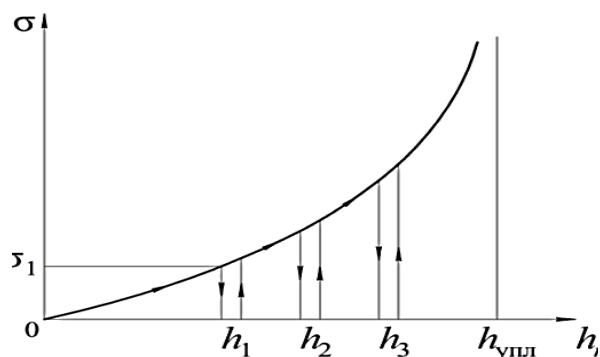


Рисунок 5. Закономерности накопления повторных осадок для почвы, подготовленной под посев

При этом зависимость  $\sigma(h)$  при повторных нагрузлениях является непрерывной. С учетом этого, зависимость (5) может быть преобразована к виду:

$$F_{fn} = B_k \int_0^{h_n} \frac{a}{b} \operatorname{tg}(abh) dh. \quad (20)$$

Решение интеграла (20) примет вид

$$F_{fn} = -\frac{B_k}{b^2} \left| \ln \cos(abh) \right|_0^{h_n}.$$

Подставив вместо верхнего предела интегрирования  $h_n$  его значение, определяемое формулой (19), и учитывая, что  $\sigma_1 = q$ , получим

$$F_{fn} = -\frac{B_k}{b^2} \ln \left( \frac{n^{-B_1}}{\sqrt{1 + (b^2 / a^2) \cdot q^2}} \right). \quad (21)$$

На основании формулы (21) получена графическая зависимость силы сопротивления качению колесной ходовой системы от числа осей для почвы, подготовленной под посев (рис. 6).

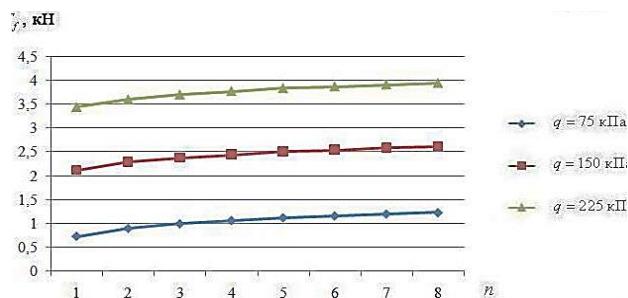


Рисунок 6. Зависимость силы сопротивления качению колесной ходовой системы от числа осей для почвы, подготовленной под посев

Из рис. 6 видно, что для почвы, подготовленной под посев, интенсивность прироста силы сопротивления качению меньше, чем для слабо упрочняющихся почв. Это объясняется наличием у почв, подготовленных под посев, плотного подстилающего основания.

## Заключение

Предложенные закономерности изменения силы сопротивления качению при повторных проходах колес по следу учитывают тип и состояние почвы. Для сильно упрочняющихся почв наибольшая энергия на передвижение расходуется при первом проходе колеса. Для слабо упрочняющихся почв при давлении колес на почву свыше 150 кПа происходит интенсивный прирост силы сопротивления качению при последующих проходах колес по следу. Для почвы, подготовленной под посев, наличие пахотного подстилаемого слоя способствует снижению интенсивности нарастания силы сопротивления качению.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шило, И.Н. Закономерности уплотнения почвы под воздействием колес сельскохозяйственных машин / И. Н. Шило, Н. Н. Романюк, А. Н. Орда, В. А. Шкляревич, А. С. Воробей // Агропанорама, 2016. – № 2. – С. 2–8.
2. Романюк, Н.Н. Снижение уплотняющего воздействия на почву вертикальными вибродинамическими нагрузками пневмоколесных движителей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03; 05.20.01/ Н.Н. Романюк. – Минск, 2008. – 206 л.
3. Кацыгин, В. В. Основы теории выбора оптимальных параметров мобильных сельскохозяйственных машин и орудий / В.В. Кацыгин // Вопросы сель-

скохозяйственной механики. – Минск: Ураджай, 1964. – Т. 13. – С. 5-147.

4. Шило, И.Н. Влияние количества осей ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники на глубину следа / И. Н. Шило, А. Н. Орда, Н. Н. Романюк, С. О. Нукешев, В.Г. Кушнир // Тракторы и сельхозмашины, 2016. – №4. – С. 37-42.

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

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 22.05.2017

УДК 621.431

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ И ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Д.А. Жданко,

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

А.В. Новиков,

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

Д.И. Сушкин,

аспирант каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ

А.А. Шиш,

студент агромеханического факультета БГАТУ

*В статье рассмотрены вопросы определения эффективной мощности двигателей мобильных энергетических средств и ее потерь в гидростатической трансмиссии путем создания тормозного момента на коленчатом валу двигателя с использованием насоса гидростатической трансмиссии и дополнительного дросселя постоянного сечения.*

*Ключевые слова: мобильное энергетическое средство, гидростатическая трансмиссия, собственный гидронасос, тормозной момент, дроссель, мощность двигателя, техническое обслуживание.*

*The article considers the issues of determining the effective power of mobile power equipment engines and their losses in a hydrostatic transmission by creating a braking torque on the crankshaft of the engine using a hydrostatic transmission pump and an additional constant-flow choke.*

*Keywords: mobile power means, hydrostatic transmission, own hydraulic pump, braking torque, throttle, engine power, maintenance.*

### Введение

В структуре себестоимости продукции растениеводства затраты на топливо-смазочные (ТСМ) материалы составляют по данным отчетов сельскохозяйственных предприятий до 11 %. С увеличением единичной мощности двигателей мобильных энергетических средств (МЭС) эти затраты не только не снизились, но и имеют тенденцию к увеличению.

Резервы снижения расхода ТСМ заключаются в использовании современных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, четкой организации использования МЭС в составе комплексов с многочисленной техникой и поддержание их в технически исправном состоянии.

Среди названных резервов особое значение имеет техническое состояние двигателей МЭС, так как возникновение у них множества различных неисправностей сопровождается повышением расхода ТСМ. Особенную роль играет состояние систем и агрегатов двигателя, определяющих его мощность.

По результатам исследований [1] из-за неисправностей двигателя эффективной мощностью 200 л.с., сопровождающих его в течение года, потери топлива могут составить до 90 т/год на один трактор или МЭС.

Эффективная мощность двигателя является обобщенным показателем его технического состояния. Исправным принято считать [2] двигатель, фактическое значение эффективной мощности которого не ниже 95 % и не выше 107 % номинального значения.

Существует мнение, что падение мощности двигателя механизатор замечает без использования каких бы то ни было приборов, но оказывается, что это не так. В Челябинском институте механизации сельского хозяйства [3] в свое время было установлено, что в энергонасыщенных тракторах механизаторы замечают падение мощности, если оно превышает 25 % номинального значения. Даже при абсолютно исправной системе питания двигателя удельный расход топлива на единицу его мощности будет повышаться эквивалентно снижению эффективной мощности.

Не менее важным резервом экономии топлива следует считать техническое состояние гидростатической трансмиссии, которой оснащаются современные МЭС. Обобщенным показателем ее технического состояния является объемный коэффициент полезного действия (КПД). Агрегаты гидростатической трансмиссии принято считать исправными, если ее объемный КПД имеет значение не ниже 0,75 [4, 5]. Его снижение влечет за собой значительный перерасход топлива и снижение производительности МЭС.

Планово-предупредительной системой технического обслуживания машин в сельском хозяйстве [2, 3] во избежание использования тракторов и самоходных машин с неисправными двигателями и перерасхода топлива предусмотрено через 1000 м-ч (при проведении ТО-3) измерять эффективную мощность двигателя и удельный расход топлива. Нормативная годовая загрузка отечественных тракторов составляет 1000 часов в год, т.е. не менее одного раза в год необходимо измерить эффективную мощность двигателя каждого трактора. При годовой загрузке кормоуборочных и зерноуборочных комбайнов в 150-200 часов проверку эффективной мощности их двигателей следует проводить не реже одного раза в год. Так как эффективная мощность двигателей современных МЭС почти в два раза превышает мощность современных тракторов, то и потери топлива в случае снижения мощности будут соответственно выше.

Если эффективную мощность двигателей тракторов представляется возможным измерить, хотя и с большими сложностями, с помощью тормозного стенда, то для измерения мощности двигателей МЭС (комбайнов) подобных технических средств нет.

### Основная часть

В МЭС, кроме падения эффективной мощности двигателя из-за его неисправности, имеют место потери мощности в трансмиссии в связи с износом деталей насоса и мотора, что выражается снижением ее объемного КПД. Выявление снижения мощности двигателя и ее потерь в трансмиссии предусмотрено ГОСТ 20793-2009 при техническом обслуживании МЭС с периодичностью 960 м-ч (для УЭС – 2-250 и др.).

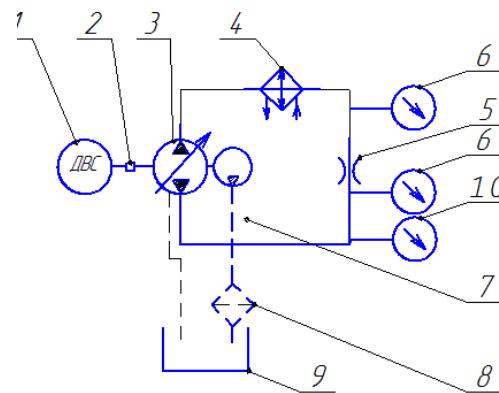
Из известных методов определения эффективной мощности двигателя и диагностирования аксиально-плунжерного насоса гидростатической трансмиссии наиболее точным является статопараметрический метод [4], т.е. с помощью их торможения.

Для создания тормозного момента на коленчатом валу двигателя авторами публикации предлагается использовать собственный регулируемый аксиально-плунжерный насос гидростатической трансмиссии МЭС путем дросселирования создаваемого им потока рабочей жидкости с помощью дросселя постоянного сечения (рис.1) или, как вариант, с помощью нагруженного клапана. Особенностью такого предложения является то, что оно позволяет не только определить эффективную мощность двигателя, не снимая его с МЭС, но и значительно снизить трудозатраты на организацию процесса торможения, так как отпадает

необходимость в отдельных тормозных устройствах, установке их на МЭС и снятии в дальнейшем. Торможение двигателя и гидронасоса МЭС с помощью дросселя постоянного сечения возможно в силу использования в гидростатической трансмиссии МЭС регулируемого аксиально-плунжерного насоса. Конструкция насоса позволяет при максимальной частоте вращения его вала иметь нулевую подачу рабочей жидкости и увеличивать ее постепенно от нуля до максимума. Использование такого предложения позволяет заменить сложное измерительное устройство дроссель-расходомер на нерегулируемый дроссель, представляющий собой отверстие определенного диаметра в стальной пластине. Применение дросселя постоянного сечения более предпочтительно в сравнении с нагруженным клапаном, как с точки зрения снижения материалоемкости, так и с точки зрения его простоты, а, следовательно, стоимости и удобства монтажа.

Дросселирование рабочей жидкости осуществляется следующим образом. ДВС 1 МЭС (рис. 1) приводит во вращение вал регулируемого аксиально-плунжерного насоса 3, который подает рабочую жидкость на нерегулируемый дроссель 5 с возможностью постепенного увеличения подачи с нуля до максимума. Увеличивающееся при дросселировании рабочей жидкости давление перед дросселем фиксируется манометром 6. При этом необходимая температура поддерживается с помощью теплообменного аппарата 4 и контролируется термометром 10.

Для получения максимального тормозного момента на приводном валу гидронасоса необходимо знать диаметр дросселя постоянного сечения, который определяется по выражению (1) [6, 7]:



- гидролиния высокого давления (нагорная)
- гидролиния с давлением подпитки
- - - гидролиния всасывания
- - - гидролиния с давлением дrenaажа

Рисунок 1. Диагностическая схема:

1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – датчик частоты вращения коленчатого вала; 3 – регулируемый аксиально-плунжерный насос гидростатической трансмиссии МЭС; 4 – теплообменный аппарат; 5 – дроссель постоянного сечения; 6 – манометр; 7 – насос подпитки; 8 – фильтр; 9 – гидробак МЭС; 10 – термометр

$$d_{\text{опт}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{V_{\text{омакс}} n_{\text{н}} \eta_{\text{o}}}{\pi \mu \sqrt{\frac{2}{\rho}} (p_{\text{ном}} - p_1)}}, \quad (1)$$

где  $V_{\text{омакс}}$  – максимальный рабочий объем насоса, м<sup>3</sup>;

$n_{\text{н}}$  – частота вращения вала насоса, с<sup>-1</sup>;

$\eta_{\text{o}}$  – объемный КПД насоса;

$\mu$  – коэффициент расхода;

$p_{\text{ном}}$  – номинальное давление насоса, Па;

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

$p_1$  – давление за дросселем, Па.

Значение тормозного момента, создаваемого регулируемым аксиально-плунжерным насосом гидростатической трансмиссии на валу двигателя дросселированием потока рабочей жидкости, определяется по формуле [6]

$$M_{\text{н}} = 0,125 \kappa \frac{d_{\text{ном}}^2 \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p^3 (1 + \beta_{\text{т}} (T - T_1))}{\rho_1}}}{n_{\text{н}}}, \quad (2)$$

где  $\kappa$  – коэффициент взаимовлияния;

$\beta_{\text{т}}$  – коэффициент объемного расширения, К<sup>-1</sup>.

Для минеральных масел  $\beta_{\text{т}} = 8 \cdot 10^{-4}$  К<sup>-1</sup>;

$\rho_1$  – плотность жидкости при температуре  $T_1$ , кг/м<sup>3</sup>

Коэффициент взаимовлияния  $\kappa$  при создании нагрузки дросселированием потока жидкости позволяет учесть изменение коэффициента расхода  $\mu$  и КПД насоса  $\eta_{\text{н}}$  и повысить точность определения тормозного момента на валу двигателя [8].

$$\kappa = \frac{\mu}{\eta_{\text{н}}}, \quad (3)$$

где  $\eta_{\text{н}}$  – КПД насоса.

Если рассматривать процесс дросселирования потока рабочей жидкости, как турбулентный режим истечения из затопленного цилиндрического насадка, то выражение (3) запишется в виде:

$$\kappa = \frac{1}{\eta_{\text{н}} (1,23 + \frac{58lv}{d^2 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}}) \sqrt{1 + \frac{0,03}{1,23 + \frac{58lv}{d^2 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}}}}}, \quad (4)$$

где  $l$  – длина дросселя, м.

Техническое состояние насоса гидростатической трансмиссии оценивается по значению объемного КПД, определяемого по развиваемому им давлению

при его торможении путем дросселирования рабочей жидкости [4, 5]

$$\eta_{\text{o}} = \frac{\mu S_o}{V_{\text{ном}} n_{\text{н}}} \sqrt{\frac{2p_{\text{н}} (1 + \beta_{\text{т}} (T - T_1))}{\rho_1}} \quad (5)$$

Состояние насоса соответствует техническим требованиям, т.е. он исправен, если значение его объемного КПД не ниже 0,75 [4, 5].

Подставляя полученное значение объемного КПД в зависимость (2), определяется тормозной момент на коленчатом валу двигателя.

Техническое состояние двигателя оценивается по значению тормозного момента на его коленчатом валу, возникающем в результате дросселирования потока рабочей жидкости, созданного диагностируемым регулируемым аксиально-плунжерным насосом, т.е. собственным насосом гидростатической трансмиссии МЭС, и частоте вращения коленчатого вала.

Сравнивая полученные значения тормозного момента и частоты вращения коленчатого вала двигателя с соответствующими их значениями внешней скоростной характеристики двигателя, можно сделать заключение о техническом состоянии двигателя.

### Заключение

1. Для предупреждения перерасхода топлива двигателями МЭС необходим периодический контроль их технического состояния по значению развиваемой эффективной мощности. Наиболее простым и наименее трудоемким методом определения эффективной мощности двигателей МЭС может быть их торможение путем дросселирования потока рабочей жидкости, созданного собственным регулируемым аксиально-плунжерным насосом гидростатической трансмиссии МЭС, с использованием дросселя постоянного сечения, параметры которого определяются по зависимости (1).

2. Определить фактическое состояние двигателя представляется возможным либо путем определения его мощности по полученным авторами зависимостям (2, 3), либо по предварительно построенной, на основании полученных зависимостей (1-3), nomogramme, на которой должна быть представлена зависимость мощности двигателя МЭС в функции давления дросселирования потока рабочей жидкости при постоянной площади сечения дросселя.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добыш, Г.Ф. Потенциальные резервы экономии топливно-энергетических ресурсов в агропромышленном комплексе / Г.Ф. Добыш [и др.]. – Мн.: ГУ «Учебно-методический центр Минсельхозпода», 2005. – 137 с.

2. Бельских, В.И. Справочник по техническому обслуживанию и диагностированию тракторов / В.И. Бельских. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 399 с.

3. Казакевич, П.П. Обновление парка обкаточно-тормозных устройств и их импортозамещение / П.П. Казакевич, В.Я. Тимошенко // Агропанорама, 2010. – №1. – С. 45–48.
4. Тимошенко, В.Я. Диагностирование гидростатических трансмиссий / В.Я. Тимошенко, А.В. Новиков, Д.А. Жданко, Е.С. Некрашевич // Агропанорама, 2009. – № 1. – С. 44–48.
5. Столяров, А.В. Повышение долговечности аксиально-поршневого гидронасоса с наклонным блоком восстановлением и упрочнением изношенных поверхностей деталей: автореф. дис. канд. техн. наук / А.В. Столяров; МГУ им. Н.П. Огарева. – Саранск, 2009. – 18 с.
6. Жданко, Д.А. Теоретическое обоснование параметров гидравлического тормозного устройства обкаточно-тормозного стенда / Д.А. Жданко // Агропанорама, 2009. – № 3. – С. 38–42.
7. Жданко, Д.А. Обоснование параметров дросселя постоянного сечения как нагрузочного элемента электрогидравлического обкаточно-тормозного стенда / Д.А. Жданко // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2009. – № 43. – С. 139–143.
8. Тимошенко, В.Я. Обоснование необходимости модернизации обкаточно-тормозных стендов моторемонтных предприятий / В.Я. Тимошенко, Д.А. Жданко, А.В. Новиков, В.Б. Ловкис, И.В. Загородских // Вестник БГСХА, 2013. – № 2. – С. 144–149.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.03.2017

УДК 629.366

## О ВЗАИМОСВЯЗИ ПОТЕРЬ НА КАЧЕНИЕ ТРАКТОРА И ЕГО БАЛЛАСТИРОВАНИЕМ

**В. Я. Тимошенко,**

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

**А. В. Нагорный,**

ассистент каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ

**А.Л. Лонский,**

студент БГАТУ

*В статье изложены применяемые в настоящее время способы увеличения сцепного веса тракторов и доказана нецелесообразность применения отдельных из них.*

*Ключевые слова: трактор, балластирование, сопротивление самоподвижению, потери мощности.*

*The article describes currently used methods of increasing the coupling weight of the tractor and the inappropriateness of application of some of them is proven.*

*Keywords: tractor, ballasting, resistance to self-movement, power loss.*

### Введение

Для проектирования нового трактора требуются определенные исходные данные и, прежде всего, мощность его двигателя, а также назначение трактора, класс тяги, наличие на рынке необходимого двигателя, отвечающего определенным требованиям, его стоимость, надежность и т.д.

После выбора двигателя задача конструкторов состоит в определении эксплуатационного и сцепного веса будущего трактора.

Определяющим фактором в решении этой задачи является обеспечение максимального значения движущей силы агрегата. Более полная реализация касательной силы через повышение силы сцепления движителя с почвой является актуальной задачей.

Цель настоящей работы – определение пределов целесообразности повышения сцепного веса за счет балластирования тракторов, так как оно сопровождается повышением затрат энергии на самоподвижение.

### Основная часть

Механизм образования движущей силы машинно-тракторного агрегата таков, что она находится в зависимости, как от эффективной мощности двигателя трактора, так и его сцепного веса, т.е. веса, приходящегося на ведущие колеса трактора, и коэффициента сцепления движителя с почвой (рис. 1).

С одной стороны, движущая сила агрегата ограничивается касательной силой тяги на колесе трактора, зависящей от эффективной мощности его двигателя, передаточного числа трансмиссии, радиуса качения ведущих колес, что можно представить зависимостью (1) [1]:

$$P_k = \frac{M_k}{r_k} = \frac{M_e i_{mp} \eta_{mp}}{r_k} = \frac{0,159 N_e i_{mp} \eta_{mp}}{r_k n_h}, \quad (1)$$

где –  $M_k$  – крутящий момент на ведущей оси трактора, кН·м;

$i_{mp}$  – передаточное число трансмиссии;

$\eta_{mp}$  – КПД трансмиссии;

$r_k$  – радиус качения ведущего колеса, м;

$n_u$  – номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя,  $c^{-1}$ .

Радиус качения колеса представляется как

$$r_k = r_o + h_{uw} \lambda_{uw},$$

где  $r_o$  – радиус стального обода, м;

$h_{uw}$  – высота пневматического профиля шины, м;

$\lambda_{uw}$  – коэффициент усадки шины.

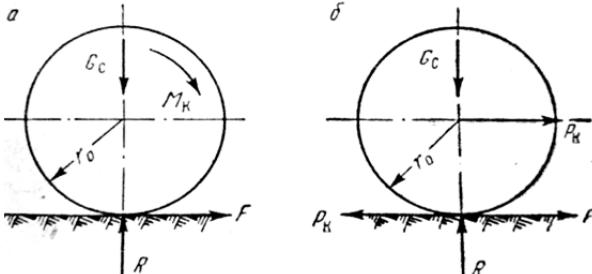


Рисунок 1. Схема образования движущей силы

С другой стороны, движущая сила агрегата ограничивается максимальной силой сцепления движителя с почвой:

$$F_{cu} = \mu G_{cu}, \quad (2)$$

где  $\mu$  – коэффициент сцепления движителя с почвой;

$G_{cu}$  – сцепной вес, кН.

Более полная реализация касательной силы тяги на колесе, т.е. приближение ее к максимальной силе сцепления движителя с почвой возможна за счет увеличения множителей формул (2) – коэффициента сцепления  $\mu$  и сцепного веса  $G_{cu}$ .

Среди известных мер повышения коэффициента сцепления наиболее эффективными считаются: применение гусеничного и полурусничного ходовых аппаратов, ходовых аппаратов с резинометаллической гусеницей. Значительный эффект достигается за счет сдавивания и спаривания ведущих колес трактора, увеличения площади контакта колес с почвой – за счет применения широкопрофильных и арочных шин. Любая из приведенных мер повышения коэффициента сцепления практически не вызывает увеличения потерь энергии двигателя на качение.

Повышение сцепного веса трактора тоже может осуществляться разными способами. В инструкции по эксплуатации трактора «Беларус 2522» [2] для его высокопроизводительного использования на разных видах работ, в широком диапазоне тяговых усилий рекомендуется поддерживать оптимальное распределение эксплуатационного веса трактора на передний и задний мосты.

Рекомендуемым [2] для данного трактора является распределение эксплуатационного веса (развесовка) в соотношении: 40-45 % на передний мост и 55-60 % на задний мост. Отмечается, что такое распределение позволяет работать трактору с большими тяговыми усилиями без возникновения резонансных колебаний. Справедливость такой рекомендации спорна, так как при работе с прицепными, полунавесными и навесными машинами имеет место догрузка задней оси трактора за счет его тягового усилия и наклона его к горизонту.

В тракторах с шарнирно сочлененной рамой (тип К-701 и Т-150К) развесовка выглядела наоборот – 60 % эксплуатационного веса трактора приходилось на передний мост и 40 % на задний. Такое распределение выглядит более обоснованным, так как задний мост получает дополнительную догрузку за счет тягового усилия на крюке, что обеспечивало выравнивание вертикальных нагрузок на оба моста.

Наиболее эффективным способом увеличения сцепного веса следует считать активный привод второго моста, что увеличивает сцепной вес более чем на 1/3, делая весь эксплуатационный вес трактора сцепным.

С давних пор на тракторах марки МТЗ и нынешних «Беларус» устанавливались гидроувеличители сцепного веса (ГСВ), а еще ранее корректоры вертикальных нагрузок (КВН), с помощью которых часть веса агрегатируемых с трактором рабочих машин в процессе работы переносилась на ведущую ось трактора. Это осуществлялось за счет создания давления подпора в гидроцилиндре заднего навесного устройства трактора в пределах 5...31 Бар. Такое давление не было достаточным для подъема орудия, но достаточным для того, чтобы догрузить заднюю ведущую ось трактора. Такой способ увеличения сцепного веса тракторов практиковался в то время, когда более 75 % тракторного парка составляли тракторы с одним ведущим задним мостом. При догрузке заднего ведущего моста таким способом условно снижается вес машины, что снижает сопротивление ее перекатыванию.

В настоящее время практически все колесные тракторы, выпускаемые под маркой «Беларус» – полноприводные. На них уже не устанавливаются ГСВ, а применяется электрогидравлическая система автоматического регулирования глубины обработки (BOSH), которая позволяет поддерживать навесную машину «на весу», как в силовом, так и позиционном режиме, обеспечивая таким образом перенос части ее веса на заднюю ведущую ось трактора и повышая тем самым его сцепной вес. При этом разгружаются опорные колеса навесной машины, снижается сопротивление ее качению, что практически не влечет увеличения сил сопротивления движению агрегата, но позволяет повысить силу сцепления колес с почвой.

Отсюда следует вывод, что перенос части веса машины на трактор эффективен, так как при этом не только увеличивается сила сцепления движителей с почвой и в большей степени реализовывается касательная сила тяги, но и снижается сопротивление качению колес навесной машины.

Однако догрузка колес заднего моста таким образом влечет за собой разгрузку переднего моста трактора, что сопровождается снижением критерия управляемости трактора и требует балластирования переднего моста до обеспечения критерия управляемости не ниже  $K_{yn} = 0,2$ .

Балластирование тракторов сдавиванием и спариванием их колес тоже достаточно эффективно в сравнении с балластированием внештатным балластом, так как при этом увеличивается не только сцепной вес, но и коэффициент сцепления за счет увеличения площади контакта колес с почвой.

Критерий управляемости, как показатель продольной устойчивости МТА, равен отношению нагрузки на управляемый мост к эксплуатационной массе (весу) без учета балластных грузов:

$$K_y = \frac{10^2 T_n}{m} > 0,2$$

Комплектация трактора «Беларус 1523» [3, с.181] может быть следующей:

- без переднего балласта;
- с передним балластом 510 кг и раствором в передних шинах 420/70R24 (табл. 1, 2).

В инструкции [2] по эксплуатации трактора «Беларус 2522Д» отмечается, что во всех случаях применения трактора нагрузка на переднюю ось должна быть не менее 20 % собственной эксплуатационной массы без балластных грузов.

В конструкции тракторов «Беларус» предусмотрена возможность изменения эксплуатационной массы (веса) в широких пределах за счет балластирования с помощью сдавливания колес, заполнения раствором хлористого кальция передних и задних шин, в том числе сдвоенных, применения внештатного балласта.

В качестве примера рассмотрим балластирование трактора «Беларус 2522Д» заливкой жидкости в его шины.

В таблице 1 приведены рекомендуемые значения массы заливаемого раствора хлористого кальция в шины трактора «Беларус 2522Д».

Из таблицы видно, что максимально в шины трактора «Беларус 2522Д» можно залить раствора  $2\cdot290+2\cdot580=1740$  кг

Догрузку колес путем заливки жидкости в камеры шин трактора рекомендуется использовать только в случае недостаточного сцепления колес с почвой в неблагоприятных условиях (переувлажненная почва и т.д.).

В таблице 2 приведена норма раствора, заливаемого в одну шину трактора «Беларус 1523».

Если учесть, что балластные грузы, навешиваемые впереди трактора «Беларус 1523», равны 510 кг и в его колеса можно залить раствор (табл. 2) в количестве  $(2\cdot183+2\cdot450)=1266$  кг, то общий балласт составит:

$$1266+510=1776 \text{ кг}=17,42 \text{ кН}$$

Учитывая то, что балластные грузы, навешиваемые впереди трактора «Беларус 2522», равны 650 кг и в его колеса можно залить 1740 кг раствора, то общий балласт составит:

$$1740+650=2390 \text{ кг}=23,44 \text{ кН}$$

Этот дополнительный груз, используемый для увеличения сцепного веса трактора с целью более полной реализации его касательной силы тяги и, в

конечном счете, увеличения движущей силы, необходимо будет перемещать.

Дополнительное сопротивление качению, возникающее от перемещения балластных грузов, будет равно:

$$P_f = fG_b,$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления качению (на слежавшейся пашне  $f=0,10\dots0,12$ , (табл. 3) [4];

$G_b$  – общий вес балластного груза, кг.

$$P_{f \text{ Беларус1523}} = fG_b = 17,42 \cdot 0,10 = 1,74 \text{ кН.}$$

$$P_{f \text{ Беларус2522}} = fG_b = 23,44 \cdot 0,10 = 2,34 \text{ кН.}$$

**Таблица 1. Масса заливаемого раствора в шины трактора «Беларус 2522Д»**

		Шина	Масса раствора, кг
480/70R30 (шины передние основные)			290
580/70R42(шины задние основные)			580
540/65R30 (шины передние дополнительные)			315
710/70R38 (шины задние дополнительные)			700
650/65R42 (шины задние дополнительные)			649

**Таблица 2. Норма раствора на одну шину трактора «Беларус 1523»**

Типоразмер шин	Скорость, км/ч	Нагрузка на одну шину, кН и соответствующее ей давление, МПа						Норма раствора на одну шину, л
		0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	
420/70R24	30	15,45	17,20	18,80	20,35			183
	10	19,00	21,15	23,15	25,00			
520/70R38	30	24,40	27,15	29,70	32,10			450
	10	30,00	33,40	36,55	39,50			
18,4R38	30	15,45	17,20	18,80	20,35			400
	8	18,25	21,15	23,15	25,00			
16,9R38	30	18,25	20,25	22,25	24,25			350
	8			26,95	29,95	31,15	33,95	
11,2R28	20	9,75	10,90	11,90	12,75	13,75		90
	10	11,90	13,35	14,55	15,60	16,80		
11,2R42	20	12,70	13,50	14,75	15,80			120
	10	15,50	16,50	18,00	19,35			

На выполнении основных технологических операций рабочая скорость движения машинно-тракторных агрегатов примерно равна  $V_p = 3,5 \text{ м/с}$ , при этом мощность, необходимая для преодоления сопротивления качения, будет равна:

$$N_{f \text{ Беларус1523}} = P_f V_p = 1,74 \cdot 3,5 = 6,09 \text{ кВт}$$

$$N_{f \text{ Беларус2522}} = P_f V_p = 2,34 \cdot 3,5 = 8,19 \text{ кВт}$$

Если учесть, что при передаче этой мощности часть ее (около 25 %) потеряется в трансмиссии трактора, то все потери на качение балластного груза при КПД трансмиссии  $\eta_{mp} = 0,75$  будут следующие:  
трактор «Беларус 1523»:

**Таблица 3. Коэффициенты сцепления  $\mu$  и сопротивления качению  $f$  ходовых колес тракторов**

Условия движения	Колесные тракторы	
	Коэффициент сцепления	Коэффициент сопротивления качению
Шоссейная дорога	0,7 – 0,8	0,018 – 0,022
Щебеночное покрытие	0,7 – 0,8	0,030 – 0,040
Сухая укатанная дорога: глинистый грунт песчаный грунт	0,8 – 0,9 0,7 – 0,8	0,03 – 0,05 0,03-0,05
Целина, залежь, дернина, сильно-уплотненная стерня (суглинок)	0,8 – 0,9	0,03 – 0,06
Стерня нормальной влажности	0,7-0,8	0,06- 0,08
Слежавшаяся пашня	0,5 – 0,6	0,10 -0,12
Поле, подготовленное под посев	0,5 – 0,7	0,16 – 0,20
Свежевспаханное поле	0,4 – 0,5	0,18 – 0,22

$$N_f + N_{mp} = \frac{N_f}{\eta_{mp}} = \frac{6,09}{0,75} = 8,12 \text{ кВт};$$

трактор «Беларус 2522»:

$$N_f + N_{mp} = \frac{N_f}{\eta_{mp}} = \frac{8,19}{0,75} = 10,92 \text{ кВт}$$

Кроме того, часть мощности теряется при буксировании двигателей. При допустимом буксировании в 10 % общие потери на перемещение балластных грун-

зов составят:

$$\Sigma N_{\text{потерь}} \text{ Беларус 1523} = \Delta N_f + \Delta N_{tp} + \Delta N_\delta = 8,12/0,90 = 9,02 \text{ кВт}$$

$$\Sigma N_{\text{потерь}} \text{ Беларус 2522} = \Delta N_f + \Delta N_{tp} + \Delta N_\delta = 10,92/0,90 = 12,13 \text{ кВт}$$

Возможный выигрыш в увеличении движущей силы за счет балластирования трактора при работе на слежавшейся пашне составит:

$$\Delta P_{de \text{ Беларус 1523}} = \mu G_6 = 0,55 \cdot 17,42 = 9,58 \text{ кН}$$

$$\Delta P_{de \text{ Беларус 2522}} = \mu G_6 = 0,55 \cdot 23,44 = 12,89 \text{ кН}$$

Таким образом, увеличение движущей силы за счет реализации касательной силы тяги тракторов «Беларус 1523» и «Беларус 2522» через увеличение их сцепного веса балластированием при работе на слежавшейся пашне (табл. 3) составит  $\Delta P_{de} = 9,58 \text{ кН}$  и  $\Delta P_{de} = 12,89 \text{ кН}$  соответственно. При этом сопротивление перекатыванию трактора за счет перемещения балластировочных грузов увеличится на  $\Delta P_f = 1,74 \text{ кН}$  и  $\Delta P_f = 2,34 \text{ кН}$  соответственно.

Однако увеличение движущей силы возможно в случае недоиспользования касательной силы тяги на колесе по мощности двигателя  $P_k$ .

Если исходить из среднего значения рабочей скорости движения машинно-тракторных агрегатов  $V_p = 11 \text{ км/ч}$  или  $3,5 \text{ м/с}$ , то, например, в тракторах «Беларус 1523» и «Беларус 2522» касательная сила тяги реализуется по сцеплению на 4-х основных передачах (табл. 4, 5).

Анализ данных таблиц 4 и 5 указывает на необходимость введения показателя целесообразности

**Таблица 4. Недоиспользованные по сцеплению  $\Delta P_k$  значения касательной силы тяги на колесе трактора «Беларус 1523» на 4-х рабочих передачах трактора**

Условия движения	$\mu$	$F_{cmax}, \text{ кН}$	$\Delta P_{k1}, \text{ кН}$	$\Delta P_{k2}, \text{ кН}$	$\Delta P_{k3}, \text{ кН}$	$\Delta P_{k4}, \text{ кН}$
Шоссейная дорога: – цементно-бетонное или – асфальто-бетонное покрытие	0,75	43,5	213,96	140,26	90,34	54,31
– щебенчатое или гравийное покрытие	0,75	43,5	213,96	140,26	90,34	54,31
– булыжное покрытие	0,65	37,7	219,76	146,06	96,14	60,11
Сухая укатанная дорога: – глинистый грунт	0,85	49,3	208,16	134,46	84,54	48,51
– песчаный грунт	0,75	43,5	213,96	140,26	90,34	54,31
– чернозем	0,65	37,7	219,76	146,06	96,14	60,11
Снежная укатанная дорога	0,3	17,4	240,06	166,36	116,44	80,41
Целина, залежь, плотная дернина, сильно уплотненная стерня (суглинок)	0,85	49,3	208,16	134,46	84,54	48,51
Стерня нормальной влажности	0,75	43,5	213,96	140,26	90,34	54,31
Влажная стерня	0,65	37,7	219,76	146,06	96,14	60,11
Слежавшаяся пашня	0,55	31,9	225,56	151,86	101,94	65,91
Подготовленное под посев поле, вспаханное поле (суглинок), чистый пар, свежеубранное из-под картофеля поле	0,6	34,8	222,66	148,96	99,04	63,01
Свежевспаханное поле (супесь)	0,44	25,52	231,94	158,24	108,32	72,29
Влажный луг: – скошенный	0,7	40,6	216,86	143,16	93,24	57,21
– нескошенный	0,55	31,9	225,56	151,86	101,94	65,91
Песок: – влажный	0,4	23,2	234,26	160,56	110,64	74,61
– сухой	0,3	17,4	240,06	166,36	116,44	80,41
Глубокая грязь	0,1	5,8	251,66	177,96	128,04	92,01
Глубокий снег		0	257,46	183,76	133,84	97,81
Торфяно-болотная осушенная целина		0	257,46	183,76	133,84	97,81

**Таблица 5. Недоиспользованные по сцеплению  $\Delta P_k$  значения касательной силы тяги на колесе трактора «Беларус 2522» на 4-х рабочих передачах трактора**

Условия движения	$\mu$	$F_{cmax}$ , кН	$\Delta P_{k1}$ , кН	$\Delta P_{k2}$ , кН	$\Delta P_{k3}$ , кН	$\Delta P_{k4}$ , кН
Шоссейная дорога:						
– цементно-бетонное или асфальто-бетонное покрытие	0,75	107,18	119,87	79,84	44,48	17,73
– щебенчатое или гравийное покрытие	0,75	107,18	119,87	79,84	44,48	17,73
– булыжное покрытие	0,65	92,89	134,16	94,13	58,77	32,02
Сухая укатанная дорога:						
– глинистый грунт	0,85	121,47	105,58	65,55	30,19	3,44
– песчаный грунт	0,75	107,18	119,87	79,84	44,48	17,73
– чернозем	0,65	92,89	134,16	94,13	58,77	32,02
Снежная укатанная дорога	0,3	42,87	184,17	144,14	108,79	82,03
Целина, залежь, плотная дернина, сильно уплотненная стерня (суглинок)	0,85	121,47	105,58	65,55	30,19	3,44
Стерня нормальной влажности	0,75	107,18	119,87	79,84	44,48	17,73
Влажная стерня	0,65	92,89	134,16	94,13	58,77	32,02
Слежавшаяся пашня	0,55	78,60	148,45	108,42	73,06	46,31
Подготовленное под посев поле, вспаханное поле (суглинок), чистый пар, свежеубранное из-под картофеля поле	0,6	85,74	141,30	101,27	65,92	39,16
Свежевспаханное поле (супесь)	0,44	62,88	164,17	124,14	88,78	62,03
Влажный луг: – скошенный	0,7	100,03	127,01	86,98	51,63	24,87
– нескошенный	0,55	78,60	148,45	108,42	73,06	46,31
Песок: – влажный	0,4	57,16	169,88	129,85	94,50	67,74
– сухой	0,3	42,87	184,17	144,14	108,79	82,03
Глубокая грязь	0,1	14,29	212,75	172,72	137,37	110,61
Глубокий снег		0,00	227,04	187,01	151,66	124,90
Торфяно-болотная осущененная целина		0,00	227,04	187,01	151,66	124,90

балластирования трактора. Таким показателем, по мнению авторов, может быть коэффициент полезного действия балластирования, который можно представить как частное от деления разности значений увеличения движущей силы трактора и увеличения силы сопротивления качению трактора за счет дополнительных балластных грузов и значения увеличения движущей силы трактора.

$$\Theta = (\Delta P_{dv} - \Delta P_f) / \Delta P_{dv} = (9,58 - 1,74) / 9,58 = 0,82$$

Такое значение этого коэффициента свидетельствует о целесообразности балластирования трактора.

В таблице 4 приведены результаты расчета недоиспользованных значений касательной силы тяги  $\Delta P_k$  на четырех основных рабочих передачах.

Анализ таблицы показывает, что касательная сила  $P_k$  на основных четырех рабочих передачах (1-я; 2-я; 3-я; 4-я) используется по сцеплению полностью, что указывает на нецелесообразность балластирования тракторов. Если учесть, что тракторы работают не только в поле, но и на дорогах, а балластирование их требует определенных затрат труда и средств, то это подтверждает ранее сделанный вывод о его нецелесообразности.

### Заключение

1. Балластировка трактора с целью повышения его сцепного веса сопровождается соответствующим увеличением сопротивления качению на перемещение самого балласта.

2. Сопоставляя мизерный эффект от балластирования тракторов и связанные с этим затраты, можно сделать вывод о его нецелесообразности.

3. Расчеты показывают, что при выполнении технологических сельскохозяйственных операций на скорости 3,5 м/с касательная сила тяги тракторов реализуется полностью, без увеличения сцепного веса.

4. Наблюдения за использованием тракторов в сельхозпредприятиях и их анализ показывают, что балластировка тракторов не производится.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свищевский, Б.С. Эксплуатация машинно-тракторного парка / Б.С. Свищевский. – М.: Сельхозгиз, 16-я типография Московского городского совнархоза, 1957. – С. 27-34.

2. Трактор «Беларус 2522» и его модификации. Руководство по эксплуатации / РУП «Минский тракторный завод», 2003. – С. 300.

3. Левков, В.Г. Тракторы «Беларус» 1522, 1522В, 1523, 1523В. Руководство по эксплуатации / В. Г. Левков, И. Ф. Бруенков, Э. А. Бомберов/ ПО «Минский тракторный завод», 2001.

4. Техническое обеспечение продукции растениеводства: практикум /А.В.Новиков [и др.]; под общ. редакцией А.В. Новикова. – Минск: БГАТУ, 2011. – 408 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 11.05.2017

## **ТЕЧЕНИЕ ДВУХ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ В КАНАЛЕ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ**

**И. И. Скорб,**

*ст. преподаватель каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ*

**А. М. Волк,**

*доцент каф. высшей математики БГТУ, канд. техн. наук, доцент*

*Рассмотрено течение двух несмешивающихся жидкостей различной вязкости в канале прямоугольной формы.*

**Ключевые слова:** смешивание, жидкость, осадок, вязкость, давление, скорость.

*The flow of two immiscible liquids of different viscosity in a rectangular channel is considered.*

**Keywords:** mixing liquid sludge, viscosity, pressure, speed.

### **Введение**

Гидравлические системы удаления навоза в последние годы получают все большее распространение как наиболее простые и надежные в эксплуатации, позволяющие отказаться от применения трудоемких ручных операций и полностью автоматизировать технологический процесс, связанный с удалением и переработкой бесподстилочного навоза.

Исследования и опыт эксплуатации гидравлических способов уборки навоза показали, что такие системы уборки успешно работают как при уборке навоза крупного рогатого скота, так и свиней [1].

Применение гидравлических систем уборки навоза за периодического действия позволяет сократить трудовые и материальные затраты на 10...30 % по сравнению с механическими средствами уборки. Удельная металлоемкость гидравлических систем уборки и транспортировки навоза в 4...6 раз меньше, удельные капиталовложения на одно скотоместо ниже на 30...40 % по сравнению с механическими способами.

С учетом санитарно-гигиенических и ветеринарных требований гидравлические способы имеют преимущества, так как значительно снижается загрязненность пола по сравнению с уборкой транспортерами, скреперными установками и бульдозерами, содержание вредных веществ в помещении не превышает значений предельно допустимой концентрации. Однако при гидросмыте содержание их на 16...18 % выше, чем при самотечных способах уборки [2].

По комплексному показателю, включающему экономические, технические и зоотехнические требования, надежность и условия работы обслуживающего персонала, самотечные способы уборки уступают только уборке с помощью бульдозера и мобильного погрузчика, которые применяются на небольших фермах.

При самотечных способах уборки навоз наиболее доступен механизации и автоматизации на всех этапах процесса, начиная с удаления из помещений и заканчивая внесением в почву. Использование гидро-транспорта для перемещения жидкого навоза позво-

ляет избежать загрязнения территории фермы опасным распространением инфекций, инвазий, как в пределах фермы, так и вне ее.

Вместе с тем гидравлические системы уборки имеют недостатки. Применение гидросмыва приводит к увеличению объема в 3...7 раз и влажности навоза с 87...90 % до 96...98 %. При уборке самотечным способом получают навоз влажностью 92...96 %, что означает увеличение его объема в 1,5...2 раза, хотя надежность работы системы обеспечивается при влажности 88...92 % [3].

Применение систем гидросмыва не рекомендуется рядом авторов из-за увеличения объема навоза, уменьшения концентрации питательных веществ в единице объема, выделения вредных газов, выше норм предельно допустимых концентраций [4, 5].

Опыт эксплуатации самотечных систем уборки показал, что снижению влажности навозной массы в каналах способствуют попадания остатков кормов и испарение влаги с поверхности, которое достигает 25 л в сутки из одного канала. С целью улучшения условий истечения навозной массы в каналы, необходимо добавлять воду [5-8].

Расход воды на промывку каналов при гидравлических способах уборки установлен от 1,5 до 32 л/сутки на одно животное [9].

Основными причинами ограничения использования самотечных систем уборки являются:

– системы периодического действия чувствительны к утечке жидкости из-за плохой герметизации гидрозатворов, попадания инородных примесей, снижающих надежность их работы, образованию осадка [6, 8, 10, 11, 12, 13, 14];

– в каналах систем уборки непрерывного действия образуется осадок, они переполняются, появляется сплошная корка, увеличивается трудоемкость и расход воды на удаление осадка [15].

Среди ученых нет единого мнения о том, какие самотечные системы лучше: периодического [16, 17] или непрерывного действия [6, 15].

Неудовлетворительная работа самотечных систем уборки навоза складывается из несоответствия систем уборки технологии содержания, несовершенства конструкции параметров каналов, отсутствия надежных гидрозатворов, средств для удаления осадка и интенсификации процесса истечения навоза из гидравлических каналов [18-22].

При проектировании новых ферм возникает вопрос об экологически безопасной утилизации навоза и технологии хранения и его переработки в удобрение.

Чтобы сократить затраты на строительство лагун и будущие расходы на их обслуживание, а также на транспортировку навоза от ферм, существует вариант устройства хранилища внутри фермы под щелевыми полами, образующими слаломную систему (рис. 1).

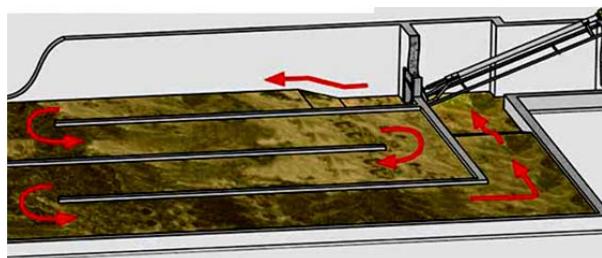


Рисунок 1. Слаломная система

В слаломной системе каналы расположены таким образом, что жидкий навоз циркулирует под щелевыми полами и удаляется самосливом. Шахта перемешивания является самым глубоким местом системы, находится под стойлами или за границами животноводческого помещения и одновременно может выполнять функцию насосного приемника или шахты забора жидкого навоза.

Навоз крупного рогатого скота в зависимости от консистенции и содержания свободной воды подвержен расслаиванию. При накоплении и хранении в каналах гидравлических систем жидкий навоз расслаивается на наиболее плотные включения: нижний осадочный слой, менее плотный средний слой (жидкая фракция) и верхний слой – поверхностная корка, которую составляют наименее плотные включения. Такое расслоение усложняет его транспортирование и истечение по гидравлическим каналам.

Для обеспечения постоянного перемещения с одновременным диспергированием (перемешиванием) осадка и жидкой фракции навоза применяется гомогенизатор (рис. 2).

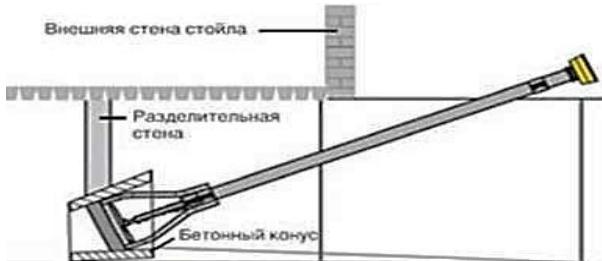


Рисунок 2. Гомогенизатор, установленный в канал слаломной системы

Наиболее эффективными с экономической точки зрения являются каналы прямоугольной формы, шириной 1,0-1,2 м и глубиной 0,6-1,2 м – для свиней, шириной 1,2-1,5 м и глубиной 0,8-1,4 м – для крупного рогатого скота. Большая ширина ограничивается пределом прочности решетчатого пола, перекрывающего канал, и временем накопления навоза до начала истечения [23-25].

Установлено, что при ширине каналов до 1 м загрязненность пола и кожного покрова животных повышается, увеличивается испарение влаги, из которой выделяются соединения азота, в результате чего ценность навоза как удобрения снижается. При ширине каналов более 1,5 м концентрация аммиака в помещении повышается до 22 мг/м<sup>3</sup>, то есть выше предельно допустимых концентраций [15, 26].

### Основная часть

Как отмечалось ранее, при накоплении в каналах гидравлических систем жидкий навоз расслаивается: образуется осадок и жидкая фракция. Для интенсификации процесса перемещения осадка и жидкой фракции навоза по гидравлическим каналам слаломной системы (рис. 1) используют гомогенизатор определенной производительности (рис. 2).

При решении ряда технических задач, связанных с использованием жидкого навоза, необходимо знать закономерности его движения.

Предположим, что движущая сила гомогенизатора обеспечивает производительность  $Q$ , м<sup>3</sup>/ч.

Рассмотрим установившееся движение (рис. 3) двух вязких несмешивающихся жидкостей в канале прямоугольной формы длиной  $L$ , м. Ось  $V$  прямоугольной системы координат направим вдоль канала, а ось  $x$  – вертикально вверх.

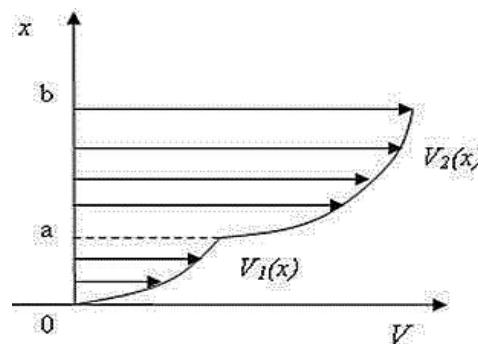


Рисунок 3. Схема течения двух несмешивающихся жидкостей

В источниках [27, 28] приводится описание того, как, исходя из уравнений Навье – Стокса и неразрывности потока, может быть получено дифференциальное уравнение для скорости стационарного плоского движения вязкой жидкости в канале, ограниченного плоскими параллельными стенками

$$-\mu \frac{dV(x)}{dx} = c_0 x + c_1, \quad (1)$$

где  $\mu$  – динамическая вязкость, Н·с/м<sup>2</sup>.

$$c_0 = \frac{\Delta P}{L}.$$

где  $\Delta P$  – перепад давления по длине канала, Па.

Данным дифференциальным уравнением будем описывать движение каждого слоя жидкости.

Интегрируя (1), получим общее решение распределения по высоте канала скорости текучего осадка

$$V_1(x) = -\frac{c_0}{2\mu_1}x^2 - \frac{c_1}{\mu_1}x + c_2 \quad (2)$$

и скорости верхнего слоя жидкости

$$V_2(x) = -\frac{c_0}{2\mu_2}x^2 - \frac{c_1}{\mu_2}x + c_3, \quad (3)$$

где  $\mu_1$  – динамическая вязкость осадка, Н·с/м<sup>2</sup>;

$\mu_2$  – динамическая вязкость верхнего слоя жидкости, Н·с/м<sup>2</sup>.

Произвольные постоянные находим из граничных условий. Из условия прилипания по дну канала получим [28]:

$$x = 0, \quad V_1(0) = 0, \quad c_2 = 0.$$

На поверхности потока отсутствуют касательные напряжения сил трения, поэтому

$$\left. \frac{dV_2(x)}{dx} \right|_{x=b} = 0, \quad -\frac{c_0}{\mu_2}b - \frac{c_1}{\mu_2} = 0, \quad c_1 = -c_0 b,$$

где  $b$  – высота слоя жидкой фракции, м.

Получаем частные решения для скорости каждого слоя жидкости:

$$V_1(x) = -\frac{c_0}{2\mu_1}x^2 + \frac{c_0 b}{\mu_1}x; \quad (4)$$

$$V_2(x) = -\frac{c_0}{2\mu_2}x^2 + \frac{c_0 b}{\mu_2}x + c_3. \quad (5)$$

Приравнивая скорости на границе раздела жидкостей  $V_1(a) = V_2(a)$ , получим:

$$\begin{aligned} -\frac{c_0}{2\mu_1}a^2 + \frac{c_0 b}{\mu_1}a &= -\frac{c_0}{2\mu_2}a^2 + \frac{c_0 b}{\mu_2}a + c_3; \\ c_3 &= \frac{c_0 a(2b-a)}{2\mu_1} - \frac{c_0 a(2b-a)}{2\mu_2} = \\ &= \frac{c_0 a(2b-a)}{2} \left( \frac{1}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_2} \right) \end{aligned}, \quad (6)$$

где  $a$  – высота слоя осадка, м.

Находим средние значения скоростей в канале единичной ширины:

$$\begin{aligned} \bar{V}_1 &= \frac{1}{a} \int_0^a V_1(x) dx = \frac{1}{a} \int_0^a \left( -\frac{c_0}{2\mu_1}x^2 + \frac{c_0 b}{\mu_1}x \right) dx = \\ &= \frac{1}{a} \left( -\frac{c_0 x^3}{6\mu_1} + \frac{c_0 bx^2}{2\mu_1} \right) \Big|_0^a = \\ &= \frac{1}{a} \left( -\frac{c_0 a^3}{6\mu_1} + \frac{c_0 ba^2}{2\mu_1} \right) = \frac{c_0 a(3b-a)}{6\mu_1}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \bar{V}_2 &= \frac{1}{b-a} \int_a^b V_2(x) dx = \\ &= \frac{1}{b-a} \int_a^b \left( -\frac{c_0}{2\mu_2}x^2 + \frac{c_0 b}{\mu_2}x + c_3 \right) dx = \\ &= \frac{1}{b-a} \left( -\frac{c_0 x^3}{6\mu_2} + \frac{c_0 bx^2}{2\mu_2} + c_3 x \right) \Big|_a^b = \\ &= \frac{c_0(b-a)^2}{3\mu_2} + \frac{c_0 a(2b-a)}{2\mu_1}. \end{aligned} \quad (8)$$

Рассчитаем расход жидкости по поперечному сечению прямоугольного канала и приравняем его соответствующему расходу, обеспеченному заданной производительностью гомогенизатора:

$$\frac{\bar{V}_1 ah + \bar{V}_2(b-a)h}{bh} = \frac{Q}{bh3600} \text{ или}$$

$$\frac{\bar{V}_1 a + \bar{V}_2(b-a)}{b} = \frac{Q}{bh3600}, \quad (9)$$

где  $Q$  – производительность гомогенизатора, м<sup>3</sup>/ч;

$h$  – ширина прямоугольного канала, м.

Из последнего уравнения определяем постоянную  $c_0$  и получим математическую модель для скорости движения двух несмешивающихся жидкостей с учетом их вязкости и распределения по высоте канала.

### Заключение

Полученные распределения скоростей текучего осадка и верхнего слоя жидкости в канале прямоугольной формы дают возможность рассчитать их средние скорости с учетом вязкости и распределения слоев по высоте, при некоторой заданной производительности гомогенизатора. Данная математическая модель позволяет оценить время, необходимое для перемешивания, а также решать различные технические задачи, связанные с использованием жидкого навоза.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения; предисл. и пер. с нем. П.Я. Семенова. – М.: Колос, 1978. – 271 с.
2. Лукашевич, Н.М. Механизация уборки, переработки и хранения навоза и помета: учеб. пособие / Н.М. Лукашевич. – Мозырь: Белый Ветер, 2000. – 248 с.
3. Капустин, В.П. Совершенствование систем уборки и транспортировки бесподстилочного навоза / В.П. Капустин. – Тамбов: ТГТУ, 2001. – 122 с.
4. Васильев, В.А. Применение бесподстилочного навоза для удобрения / В.А. Васильев, М.М. Швецов. – М.: Колос, 1983. – 174 с.
5. Капустин, В.П. Уборка навоза в автоматизированном свинарнике-откормочнике / В.П. Капустин, Е.С. Дудышев, В.А. Саяпин // Техника в сельском хозяйстве, 1975. – №5. – С. 42-44.
6. Зуев, В.А. Самотечное перемещение экскрементов в канале / В.А. Зуев, М.С. Текучева // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1971. – №7. – С. 26-29.
7. Назаров, С.И. Расчет параметров и режимов работы самотечной системы уборки навоза / С.И. Назаров, С.П. Захаревич // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1981. – № 5. – С. 19-22.
8. Письменов, В.Н. Эксплуатационные показатели шиберных систем уборки навоза на молочных фермах / В.Н. Письменов, П.Н. Фоманюк, Г.В. Рулевский // Научн.-техн. Бюллетень ЦНИПТИМЭЖ. – Запорожье, 1978. – Вып. 17. – С. 96-105.
9. Общесоюзные нормы технологического проектирования систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения, подготовки и использования навоза и помета: ОНТП 17-81. – М.: Колос, 1983. – 22 с.
10. Вороневский, С.И. Механизация удаления и утилизации навоза на животноводческих фермах Молдавской ССР: обзор / С.И. Вороневский, А.Т. Переярестов, Л.С. Полонский. – Кишинев: МолдНИИНТИ, 1974. – 62 с.
11. Линник, Н.К. Совершенствование технологий и технических средств использования органических удобрений / Н.К. Линник // Техника в сельском хозяйстве, 1990. – №5. – С. 51-53.
12. Буряк, Ю.И. Системы удаления и хранения бесподстилочного навоза: обзорн. информация / Ю.И. Буряк, В.П. Рязанцев. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1986. – 48 с.
13. Обоснование, исследование и совершенствование оптимальных способов и технических средств для уборки, обработки и транспортировки навоза на молочных (КРС) и свиноводческих промышленных комплексах, применительно к зоне ЦЧО: отчет о НИР (заключительный) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; рук. темы В.П. Капустин. – Тамбов, 1980. – 125 с. – № ГР.7707912.
14. Капустин, В.П. Применение самотечных систем уборки навоза на молочных комплексах Тамбовской области / В.П. Капустин, В.А. Саяпин // Удаление, транспортировка, переработка, обеззараживание и использование жидкого навоза на животноводческих комплексах: тез. докл., Волгоград, 24-27 февраля 1976 г. / Волгоград, 1976. – С. 8-9.
15. Ковалев, Н.Г. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих фермах / Н.Г. Ковалев, И.К. Глазков, И.Н. Матяш. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 63 с.
16. Яли, И.И. Удаление навоза самотеком / И.И. Яли // Молочное и мясное скотоводство, 1978. – №1. – С. 46-48.
17. Андреев, В.А. Использование навоза свиней на удобрение / В.А. Андреев, М.Н. Новиков, С.М. Лукин. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 94 с.
18. Текучева, М.С. Исследование самотечной системы непрерывного удаления навоза из коровников: автореф... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / М.С. Текучева; Всесоюз. науч.-исслед. институт механизации сельского хоз-ва.– М., 1973. – 23 с.
19. Методические рекомендации по профилактике гельминтозов сельскохозяйственных животных и птиц в крупных специализированных хозяйствах и комплексах промышленного типа. – М., 1975. – 33 с.
20. Вейнла, В.Д. Сравнительная оценка систем удаления навоза / В.Д. Вейнла, А.О. Сейлер, А.А. Вольмар // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1981. – №5. – С. 17-19.
21. Капустин, В.П. Гидрозатворы для систем уборки навоза / В.П. Капустин, В.А. Саяпин, А.В. Колесников // Техника в сельском хозяйстве, 1978. – № 3. – С. 36-38.
22. Ото, Ф.К. Оборудование и методы чистки коровников и свинарников / Ф.К. Ото // Европейская экономическая комиссия. – Нью Йорк: ООН, 1971. – 21 с.
23. Письменов, В.Н. Уборка, транспортировка и использование навоза / В.Н. Письменов. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 200 с.
24. Методические рекомендации по проектированию систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения и утилизации навоза и помета. – М.: Колос, 1983. – 61 с.
25. Залыгин, А.Г. Механизация реконструируемых свиноводческих комплексов / А.Г. Залыгин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 255 с.
26. Проектирование и эксплуатация систем удаления, переработки и использования навоза ферм и комплексов КРС: рекомендации. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 63 с.
27. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1969. – 742 с.
28. Берд, Р. Явления переноса / Р. Берд, В. Стьюарт, Е. Лайтфут. – М.: Химия, 1974. – 688 с.

**ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 09.02.2017**

УДК 637.11.022

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫТЕСНЕННОГО ОБЪЕМА И КОЭФФИЦИЕНТА ЖЕСТКОСТИ СОСКОВОЙ РЕЗИНЫ ДОИЛЬНОГО СТАКАНА

**С.Н. Бондарев,**

магистрант каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ

**В.И. Передня,**гл. научн. сотрудник РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»,  
докт. техн. наук, профессор**А.В. Китун,**

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

*В статье описан метод расчета объема, вытесняемого сосковой резиной в процессе работы, и метод определения коэффициента жесткости сосковой резины.*

*Ключевые слова:* сосковая резина, вытесненный объем, коэффициент жесткости, гиперболоид.

*The article deals with the method for calculating the volume displaced by the nipple rubber during operation, as well as with the method for determining the coefficient of stiffness of nipple rubber.*

*Keywords:* nipple rubber, the displaced volume, stiffness coefficient, hyperboloid.

### Введение

Целью данной работы является определение вытесненного объема и степени жесткости сосковой резины доильного стакана. Степень жесткости один из важнейших показателей, который характеризует работоспособность сосковой резины, а также степень ее воздействия на организм животного.

### Основная часть

Одним из параметров, характеризующих степень воздействия сосковой резины на сосок животного, является жесткость сосковой резины. Для наиболее полной оценки жесткости сосковой резины расчетным методом используют параметр «степень жесткости». Важность этого показателя заключается в том, что с помощью него можно расчетным методом, без использования каких-либо специальных приборов и средств, определить жесткость сосковой резины и ее пригодность к машинному доению.

При определении степени жесткости важно помнить, что его определение нужно проводить после наступления рефлекса молокоотдачи у животного, так как в это время жесткость соска и силы, действующие в нем, будут максимальны.

Сосковую резину, действующую на сосок животного, можно представить как балку, лежащую на упругом основании. Согласно теории Фусса – Винклера, величина реакции на упругую осадку балки (прогиб) на упругом основании в рассматриваемом сечении пропорциональна давлению. На основании этого можно сделать вывод, что сила, оказываемая на сосковую резину, пропорциональна вытесненному ее объему, так как давление, оказываемое на стенки сосковой резины снаружи, одинаково во всех точках.

Степень жесткости сосковой резины определим по формуле:

$$C_p = \frac{F_{cж}}{V}, \quad (1)$$

где  $F_{cж}$  – сила давления воздуха, оказываемая на стенки сосковой резины, Н/м<sup>2</sup>;

$V$  – вытесненный объем сосковой резины в процессе сжатия соска животного, м<sup>3</sup> [1, с.127].

Из формулы 1 выразим силу давления:

$$F_{cж} = p \cdot S, \quad (2)$$

где  $F_{cж}$  – сила сжатия стенок сосковой резины, Н;  $S$  – площадь сжимаемой части сосковой резины, м<sup>2</sup>;  $p$  – давление, оказываемое на стенки сосковой резины, Па.

Определим площадь сосковой резины, подверженной давлению. Как известно, сосковая резина 2 (рис. 1) имеет цилиндрическую форму, и для нахождения площади, сжимаемой ее части, нам необходимо определить площадь боковой грани цилиндра:

$$S = 2\pi \cdot r \cdot h, \quad (3)$$

где  $r$  – радиус основания цилиндра, м;

$h$  – высота цилиндра, м.

Как видно из рис. 1, во время такта отдоха стенки сосковой резины находятся в состоянии покоя и выровнены, так как давление с обеих сторон стенки одинаковое. Но при осуществлении такта сжатия (рис. 2), давление с внешней стороны сдавливает стенки сосковой резины 2 вокруг соска животного 1, обеспечивая тем самым полноценное обжатие соска по кругу для стимуляции кровообращения в нем [2, с. 83].

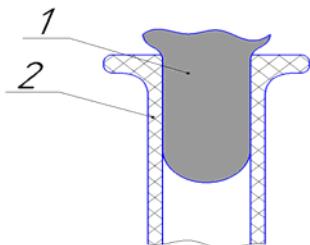


Рисунок 1. Сосковая резина в время такта отдыха:  
1 – сосок животного; 2 – сосковая резина

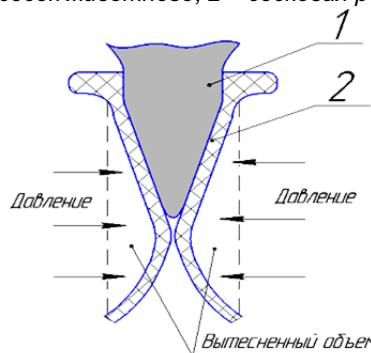


Рисунок 2. Сосковая резина во время такта сжатия:  
1 – сосок животного; 2 – сосковая резина

Разница между объемом, занимаемым сосковой резиной во время такта отдыха (рис. 1) и во время такта сжатия и будет считаться вытесненным объемом сосковой резины (рис. 2).

Для точного нахождения этого объема представим процесс сжатия сосковой резины в пространстве на осях  $xuz$  (рис. 3). Если представить в пространстве объем, занимаемый сосковой резиной во время такта отдыха, то эта фигура будет напоминать цилиндр 1, так как сосковая резина в состоянии покоя имеет круглую форму в поперечном сечении. При наступлении такта сжатия стенки сосковой резины обжимают сосок животного со всех сторон. Под кончиком соска животного сжатая сосковая резина будет иметь наибольшее сужение, так как в этой точке нет сил сопротивления сдавливанию. Далее, при удалении от точки смыкания, сужение начинает уменьшаться, так как стенки сосковой резины прикреплены к молочной трубке. Таким образом, форма, которую приобрела сжатая сосковая резина, будет напоминать однополостный гиперболоид 2 (рис. 3).

Находим объем цилиндра:

$$V_1 = \pi \cdot r^2 \cdot h, \quad (4)$$

где  $r$  – радиус основания цилиндра, м;

$h$  – высота цилиндра, м.

Рассмотрим однополостный гиперболоид (рис. 4) с основанием  $[A, B]$ , ограниченный непрерывной кривой  $f(y)$ . Так как гиперболоид относится к телам вращения, то зададим ему вращение вокруг оси  $Oy$ . Теперь объем гиперболоида можно определить по формуле [3, с. 353]:

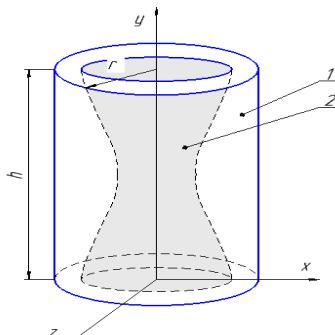


Рисунок 3. Модель вытесняемого объема сосковой резиной в процессе сжатия:  
1 – цилиндр; 2 – гиперболоид

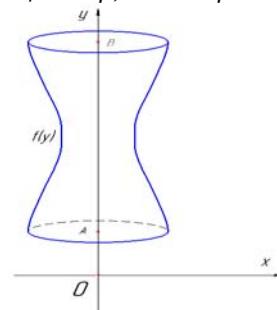


Рисунок 4. Схема к расчету объема гиперболоида

$$V_2 = \pi \int_A^B f^2(y) dy, \quad (5)$$

где  $A$  и  $B$  – высота расположения, соответственно, нижнего и верхнего оснований однополостного гиперболоида.

Тогда из канонического уравнения гиперболы:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 \rightarrow x = \frac{a^2}{b^2}(y^2 + b^2), \quad (6)$$

где  $a$  – длина действительной полуоси, м;  
 $b$  – длина мнимой полуоси, м.

Так как объем цилиндра и гиперболоида определен, теперь определим объем, вытесненный сосковой резиной в процессе сжатия:

$$V = V_1 - V_2 = \pi \cdot r^2 \cdot h - \pi \int_A^B f\left(\frac{a^2}{b^2}(y^2 + b^2)\right)^2 dy. \quad (7)$$

Определим силы, противодействующие силе сжатия  $F_{cж}$  сосковой резины, в сумме они будут являться силами сопротивления сжатию (рис. 5).

Определим силу трения сосковой резины о сосок животного:

$$F_{mp} = N \cdot f_{mp}, \quad (8)$$

где  $N$  – сила нормальной реакции, Н;

$f_{mp}$  – коэффициент трения сосковой резины о сосок животного.

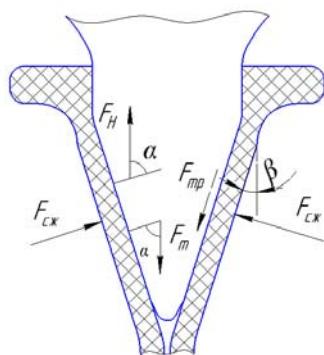


Рисунок 5. Отношение сил, действующих на стенки сосковой резины

Определим силу нормальной реакции:

$$N = p \cdot S_c, \quad (9)$$

где  $p$  – давление вакуума на стенки сосковой резины, Н/м<sup>2</sup>;

$S_c$  – площадь соприкосновения соска животного с сосковой резиной, м<sup>2</sup>.

С помощью аппроксимации определена функция линии контура соска животного [4, с. 2]:

$$Y = a + bx + cx^2 + de^x, \quad (10)$$

где  $a=3,12$ ;  $b=0,26$ ;  $c=-0,003$ ;  $d = -7,86 \cdot 10^{-23}$  – коэффициенты уравнения [4, с. 3];

$x$  и  $y$  – переменные для определения линии контура соска животного [4, с. 3];

$e$  – экспонента.

Определим площадь соприкосновения соска животного с сосковой резиной путем интегрирования уравнения (10) [4, с. 3]:

$$S_c = 2\pi \int_{n_1}^{n_2} (a + bx + cx^2 + de^x)x, \quad (11)$$

где  $n_1$  и  $n_2$  – точки пересечения функции  $Y$  с осью  $OX$ .

Определяем суммарную силу сопротивлений в сечении  $A - A$ :

$$F_c^{A-A} = F_{mp} + F_m \cdot \cos \alpha + F_H \cdot \cos \alpha, \quad (12)$$

где  $F_m$  – торцевая сила, действующая на кончик соска во время такта сжатия, Н;

$F_H$  – сила, действующая на устье соска при такте сжатия, Н;

В сечениях  $B - B$  и  $B - B$  силы, которые препятствуют сжатию сосковой резины, отсутствуют. Таким образом,  $F_c^{B-B} = 0$  и  $F_c^{B-B} = 0$ .

Теперь определим эффективную силу сжатия  $F_c$  в сечении  $A - A$  (рис. 6) сосковой резины как разность силы сжатия и суммы сил сопротивления сжатию:

$$F_c^{A-A} = F_{cж} - F_c = F_{cж} - F_{mp} + + F_m \cdot \cos \alpha - F_H \cdot \cos \alpha, \quad (13)$$

где  $F_c$  – сила сопротивления сжатию сосковой резины, Н.

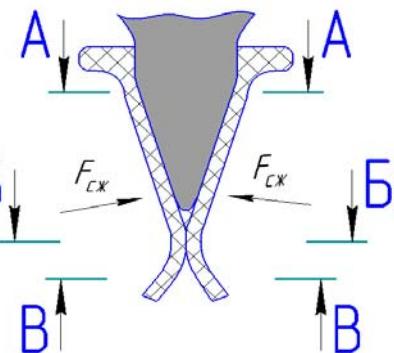


Рисунок 6. Расположение сечений для нахождения коэффициента жесткости в сосковой резине

Далее определим степень жесткости в каждом из этих сечений.

Формула степени жесткости в сечении  $A - A$  будет иметь вид:

$$C_p^{A-A} = \frac{F_{cж} - F_c^{A-A}}{V} = \frac{F_{cж} - F_{mp} + F_m \cdot \cos \alpha - F_H \cdot \cos \alpha}{\pi \cdot r^2 \cdot h - \pi \int_A^B f \left( \frac{a^2}{b^2} (y^2 + b^2) \right)^2 dy}. \quad (14)$$

Степень жесткости в сечении  $B - B$  определим по формуле:

$$C_p^{B-B} = \frac{F_{cж}}{V} = \frac{F_{cж}}{\pi \cdot r^2 \cdot h - \pi \int_A^B f \left( \frac{a^2}{b^2} (y^2 + b^2) \right)^2 dy}. \quad (15)$$

Степень жесткости в сечении  $B - B$ :

$$C_p^{B-B} = \frac{F_{cж}}{V} = \frac{F_{cж}}{\pi \cdot r^2 \cdot h - \pi \int_A^B f \left( \frac{a^2}{b^2} (y^2 + b^2) \right)^2 dy}. \quad (16)$$

Для нахождения общей степени жесткости сосковой резины определим среднее значение найденных степеней жесткости в сечениях:

$$C_p = \frac{C_p^{A-A} + C_p^{B-B} + C_p^{B-B}}{3} = \left[ \frac{[F_{cж} - F_{mp} + \cos \alpha (F_m - F_H) + 2F_{cж}]}{\pi \cdot r^2 \cdot h - \pi \int_A^B f \left( \frac{a^2}{b^2} (y^2 + b^2) \right)^2 dy} \right] \cdot 3^{-1} \quad (17)$$

### Заключение

1. Из формулы 17 следует, что степень жесткости сосковой резины будет переменной по оси  $y$ .

2. Эффективная сила сжатия, сила сопротивления сжатию и вытесненный объем сосковой резины в

рассматриваемых сечениях будут иметь различное значение.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Краснов, И.Н. Определение коэффициента жесткости сосковой резины доильных аппаратов / И.Н. Краснов, С.Г. Краснichenko // Эксплуатация и ремонт сельскохозяйственной техники, 1976. – № 3. – С. 126.

2. Передня, В.И. Технологии и оборудование для доения коров и первичной обработки молока: пособие / В.И. Передня, В.А. Шаршунов, А.В. Китун; под ред. В.А. Шаршунова. – Минск: Минсантра, 2016. – 975 с.

3. Шнейдер, В.Е. Краткий курс высшей математики: учеб. пособие для вузов / В.Е. Шнейдер, А.И. Слуцкий, А.С. Шумов. – М.: Высшая школа, 1972. – 640 с.

4. Способ определения параметров и конфигурации конструктивных элементов стенд для испытания доильных аппаратов: пат. 2138157 РФ, МПК A01J7/00 / С.А. Соловьев, В.А. Шахов, Е.М. Асманкин, А.М. Асманкин, В.Н. Алексеев; заявитель Оренбургский гос. аграрн. ун-т; заявл. 20.05.1997, опубл. 27.09.1999.

5. Трубников, В.В. Сравнительная оценка современных доильных аппаратов: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / В.В. Трубников; Оренб. гос. аграрн. ун-т. – Оренбург, 2011. – 150 л.

**ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.03.2017**

УДК 534.838.7: 631.56

## **АКТИВАЦИЯ ЖИДКИХ СРЕД И ПРЕДПОСЕВНАЯ ОБРАБОТКА СЕМЯН УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ПОЛЕМ**

**В.С. Корко,**

*доцент каф. электротехнологий БГАТУ, канд. техн. 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, Е.Т. Титова,**

*студенты БГАТУ*

*Представлены результаты аналитических и экспериментальных исследований основных проявлений ультразвуковых колебаний при активации жидких сред и предпосевной обработке семян для повышения всхожести и энергии прорастания.*

*Ключевые слова:* ультразвук, предпосевная стимуляция, семена, диэлектрическая сепарация, электрофизическое воздействие.

*The results of analytical and experimental studies of the main manifestations of ultrasonic oscillations during the activation of liquid media and presowing seed treatment for increasing germination and germination energy are presented.*

*Keywords:* ultrasound, presowing stimulation, seeds, dielectric separation, electrophysical effect.

### **Введение**

Все реакции в живых организмах происходят только в жидких средах, являющихся важным компонентом биологических систем и играющих главную роль в формировании физико-химических свойств молекул веществ, растворенных в воде. Физиологическое действие таких растворов определяется их химическим составом и физическими параметрами, характеризующими жидкую среду с энергетической точки зрения как сложную структурированную систему, свойства которой наиболее выражены после перехода ее в неравновесное термодинамическое состояние путем активации.

Активацию воды и растворов проводят с помощью физических, химических или биологических методов. Из физических методов эффективны воздействия магнитным и акустическим полем, ультрафиолетовым и лазерным излучением, электролизом, вакуумированием и др. [1, 2]. Развитие и применение ультразвуковых (УЗ) технологий открывает перспективы в создании новых веществ и материалов, придающих известным материалам и средам нужных технологических свойств и поэтому требует исследования процессов, происходящих под действием УЗ.

Абиотические факторы при посеве семян не всегда благоприятны для нормального развития зародыша,

особенно в начальный период. Поэтому значительное количество семян некоторых культур, жизнеспособных, но не обладающих высокой жизненной активностью, не могут прорости. Полевая всхожесть семян часто составляет 60-70 %, поэтому перед посевом их необходимо специально готовить для повышения всхожести, энергии прорастания и продуктивности [3].

Основными такими приемами являются: закаливание, замачивание, влаго- и воздушнотепловая обработка, стратификация, обработка микробиологическими препаратами и др. [2, 3]. Применение стимуляторов дает хорошие результаты у семян, находящихся в неглубоком покое. Сложнее обстоит дело с твердосемянными культурами. Положительный эффект от обработки различными стимуляторами получают не у всех видов семян и не со всеми веществами. Комбинированные обработки производятся путем последовательного намачивания в разных растворах и только тогда, когда концентрация компонентов различается на порядок и более [3]. Затем семена необходимо подсушить.

Целью настоящей работы является исследование основных проявлений УЗ колебаний при активации жидких сред и предпосевной обработке семян для повышения всхожести и энергии прорастания.

### Основная часть

Структурная схема УЗ технологического аппарата включает в себя электронный генератор с устройствами контроля, управления и согласования, колебательную систему (преобразователь, концентратор и излучатель) и технологическую среду.

Практическое применение УЗ технологий развивается в двух основных направлениях:

- применение волн малой интенсивности (до 10 кВт/м<sup>2</sup>) для контроля, измерений, исследований внутренней структуры материалов и изделий;
- применение высокоэнергетических колебаний – волн высокой интенсивности для активного воздействия на вещества, изменения их структуры и свойств, изменения скорости химических реакций [4...6].

При прохождении УЗ в жидкостях, а также биологических объектах, частицы среды совершают интенсивные колебательные движения с большими ускорениями. При этом на расстояниях, равных половине длины звуковой волны, в облучаемой среде могут возникать значительные разности давлений и сопутствующие механические, термические и физико-химические явления, в частности акустическая кавитация, интенсивное перемешивание, диспергирование, переменное движение частиц, интенсификация химических реакций, массообменных процессов и т.п. [1, 4, 5]. Воздействие УЗ с частотой 20...100 кГц характеризуется разделением молекул и ионов с различной массой, искажением формы волны, появлением переменного электрического поля, капиллярно-акустическим и тепловым эффектами, активацией диффузии.

Ультразвуковая кавитация – эффективное средство концентрации энергии акустической волны низкой

плотности в высокую ее плотность, связанную с пульсациями и захлопыванием кавитационных пузырьков. В момент схлопывания пузырьков давление и температура газа достигают значительных величин (по некоторым данным – 100 МПа и 1000 °С), в результате чего в окружающей жидкости распространяется сферическая ударная волна, быстро затухающая в пространстве.

Для плоской синусоидальной бегущей волны интенсивность ультразвука, Вт/м<sup>2</sup> определяется уравнением [2]:

$$I = \frac{Pv}{2} = \frac{v^2 \rho c}{2}, \quad (1)$$

где  $P$  – амплитуда звукового давления, Па;  
 $v$  – амплитуда колебательной скорости частиц, м/с;  
 $\rho$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  – скорость распространения ультразвука в данной среде (для воды  $c = 1430$  м/с).

Процесс возникновения кавитационных пузырьков является цепной реакцией, т.е. за время в несколько десятков периодов УЗ колебаний кавитация развивается в стабильную область. Интенсивность и характер проявления эффектов зависят от частоты и интенсивности колебаний, а также от свойств самих сред. В частности, в воде при частоте 20 кГц кавитация возникает при интенсивности от  $1 \cdot 10^4$  до  $(3 \dots 10^4)$  Вт/м<sup>2</sup>, а при частоте 500 кГц – более  $200 \cdot 10^4$  Вт/м<sup>2</sup> [1, 2, 4].

Приращение свободной энталпии кавитационных пузырьков равно [4]:

$$\Delta H = -H\Delta T + V\Delta P + \mu\Delta p, \quad (2)$$

где  $H$  и  $V$  – энталпия и объем подсистемы;  
 $\Delta T$  и  $\Delta P$  – приращения температуры и давления;  
 $\mu$  – химический потенциал пара в единице объема;  
 $\Delta p$  – относительное изменение давления.

В процессе расширения кавитационного пузырька можно считать, что  $\Delta T = \Delta P = 0$ . Тогда свободная энталпия всех кавитационных полостей в единичном объеме

$$H = \mu \int_{I_n}^I V_i \frac{dN(I)}{dt} = \mu K \quad (3)$$

является линейной функцией кавитации.

Энергия УЗ поля, идущая на образование кавитационной области, затрачивается в течение всей фазы расширения кавитационного пузырька. Приняв это время равным периоду первичного УЗ  $T_0$ , можно определить среднюю за период мощность, затраченную на образование всей кавитационной области

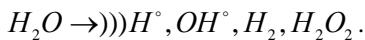
$$N_k = \frac{E_k}{T_0} = \eta \frac{E}{T_0} = N\eta, \quad (4)$$

где  $\eta = \frac{E_k}{E}$  – коэффициент кавитационного использования акустической энергии;

$E_k$  и  $E$  – соответственно, энергия, затраченная на создание кавитационной области, и полная энергия УЗ поля, Дж.

Таким образом, кавитационная область представляет собой своеобразный трансформатор мощности, в котором сравнительно медленно накапливаемая энергия освобождается в течение очень короткого времени, в результате чего мгновенная мощность во много раз превосходит среднюю, вводимую излучателем в кавитационную область. Энергии, выделяющейся в процессе захлопывания пузырька, достаточно для возбуждения, ионизации и диссоциации молекул воды, газов и веществ с высокой упругостью пара внутри кавитационной полости [5, 6].

Воздействие кавитации на водные растворы сводится к расщеплению молекул воды в кавитационных пузырьках. Независимо от природы растворенных веществ, воздействие УЗ энергии на воду приводит к изменению ее физико-химических свойств: увеличению pH, электропроводности воды, увеличению числа свободных ионов и активных радикалов, структуризации и активации молекул. Суммарная схема кавитационного расщепления молекул воды представляется в следующем виде:



Возникающие в системе активные частицы после перехода в раствор сольватируются и реагируют с растворенными веществами.

Таким образом, ультразвуковые колебания могут активировать жидкие среды и биологические системы, содержащие значительное количество жидкости, и применяться для осуществления ряда новых методов синтеза и ускорения происходящих в них медленных реакций.

Для экспериментальных исследований использовали УЗ установку УЗУ-0,25 с выходной мощностью – 250 Вт, рабочей частотой – 18 кГц.

В качестве объектов предпосевной УЗ обработки использовали семена подсолнечника (*Helianthus annuus*), кабачка-цукини (*Cucurbita pepo ssp. Pepo*) и хурмы (*Diospyros kaki Thunb*). Пробы с пятикратной повторностью, по 100 семян, помещенные в сеточки из капроновой нити, обрабатывали в УЗ ванне с водой при разных экспозициях (300, 600 и 900 с). Для прорашивания образцы помещали в чашки Петри с увлажненной фильтровальной бумагой и выдерживали в терmostатических условиях при температуре 21°C в соответствии с ГОСТ 30556-98. Проросшим считается семя с длиной ростка, равной половине длины семени.

Физические и энергетические параметры технологической УЗ установки рассчитывали по нижеприведенным формулам:

$$\begin{aligned} P_{ak} &= \frac{mc(t_2 - t_1)}{\tau\eta}; \quad \eta_{ak} = \frac{P_{ak}}{P_e}; \quad W = \frac{mc(t_2 - t_1)}{V}; \\ I &= cW; \quad \cos\varphi = \frac{P_1}{UI_p}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $P_{ak}$  – акустическая мощность, Вт (без учета теплопотерь в конструкциях установки);

$m$ ,  $c$  – соответственно масса, кг, и удельная теплоемкость воды в ванне, Дж/кг °C;

$t_1$ ,  $t_2$  – начальная и конечная температура, °C;

$\tau$  – время обработки, с;

$\eta$  – коэффициент полезного действия преобразователя;

$\eta_{ak}$  – акустический КПД;

$P_e$  – мощность генератора, Вт;

$W$  – плотность энергии, Дж/м³;

$V$  – объем воды в ванне, м³;

$I$  – интенсивность УЗ, Дж/см²;

$c$  – скорость распространения УЗ колебаний в воде, м/с;

$\cos\varphi$  – коэффициент мощности установки;

$P_1$  – мощность, потребляемая из сети, Вт;

$U$  – питающее напряжение, В;

$I_p$  – рабочий ток, А.

В результате исследований, с помощью кавитометра установлена существенная неравномерность уровня кавитации в воде во всех направлениях от излучателей и зависящая от наличия экранирующих предметов. Зона максимума кавитации наблюдается на расстоянии 0,02...0,03 м от излучателей, расположенных на дне ванны, и затем происходит ее ослабление практически по экспоненциальному закону с удалением от излучателей. Абсолютное значение уровня кавитации вблизи поверхности воды в 2,5...3 раза ниже максимума. При распространении УЗ колебаний возникает распределенное в пространстве поле звуковых давлений, имеющее три области: ближнее поле (0...0,04 м); область расстояний, сравнимых с размерами излучающей поверхности и длиной волны (0,04...0,08 м); дальнее поле (более 0,08...0,09 м). Это означает, что при УЗ обработке различных материалов в воде, их необходимо располагать в зоне с достаточным уровнем кавитации.

Сравнимость геометрических размеров излучающего рабочего элемента и объема технологической установки с длиной УЗ волны обуславливает ряд интерференционных явлений. Так, УЗ поле на расстояниях, сравнимых с длиной волны, характеризуется рядом максимумов и минимумов, расположенных на различных удалениях от излучателя.

В результате поглощения акустической энергии и кавитационных процессов возрастает энталпия системы и происходит приращение температуры среды, т.е., в определенной степени, активация жидкости.

Количественные характеристики действующего фактора – УЗ колебаний на систему «жидкость-семена», рассчитанные по уравнениям (5), приведены в табл. 1.

Семена подсолнечника и кабачка, обработанные в УЗ поле с различной экспозицией, были поставлены на прорашивание. Во всех опытных партиях наблюдается положительный эффект стимуляции всхожести семян: первые ростки подсолнечника и кабачка появились уже на 2-е сутки, более дружно – на 3-е сутки.

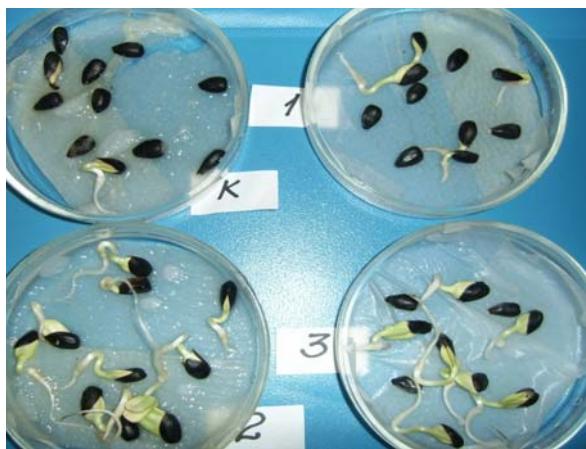
На рис. 1 представлены части семян в чашках Петри №№ 1, 2 и 3, которые были обработаны с выдержкой 300, 600 и 900 с, соответственно, и контрольные семена (К) после прорашивания на 4-е сутки

**Таблица 1. Физические и энергетические параметры технологической установки**

Показатели	Длительность УЗ обработки, с		
	300	600	900
Акустическая мощность, $P_{ак}$ , Вт	49,4	77,7	90,3
Плотность энергии, $W$ , $10^3$ Дж/м <sup>3</sup>	8 000	24 872	43 793
Интенсивность УЗ, $I$ , кВт/м <sup>2</sup>	11 960	37 139	65 471
Акустический КПД, $\eta_{ак}$ , о.е.	0,2	0,3	0,36
Коэффициент мощности, $\cos \varphi$ , о.е.	0,68	0,74	0,72

ки. В контрольной партии семян подсолнечника и кабачка ростки начали появляться на 4-5-е сутки.

Анализ результатов эксперимента (рис. 1) показывает, что существенное влияние на интенсивность всхожести оказывает время воздействия УЗ поля,



*a*



*б*

**Рисунок 1. Семена на 4-е сутки проращивания после УЗ обработки: а – подсолнечник; б – кабачок**

причем, неоднозначное для исследуемых культур. В частности, для семян подсолнечника лучшими оказались образцы № 2 (все семена проросли и дали наибольший прирост корешков) и № 3 (большинство проросших семян дали прирост корешков). Для кабачка явно оказался лучшим режим обработки 600 с

(образец № 2), а в образцах № 1 и № 3 (300 и 900 с, соответственно) процесс прорастания только начался.

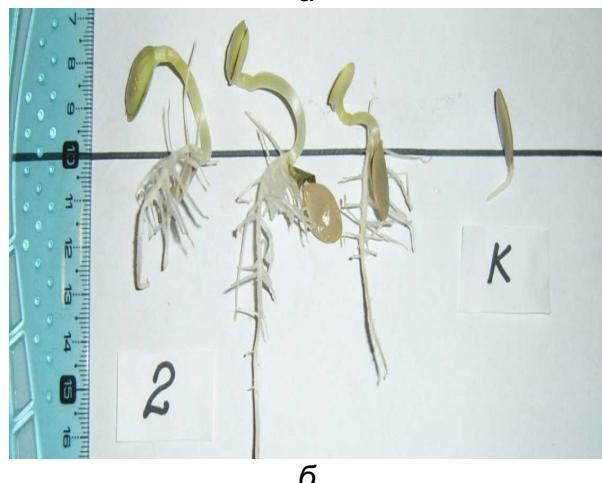
В дальнейшем для оценки проростков приняли наиболее эффективный режим обработки семян в течение 600 с. На рис. 2 представлены образцы проростков семян подсолнечника и кабачка на 5-е сутки.

Как видно из рис. 2, в контрольных образцах семян подсолнечника и кабачка на 5-е сутки имеются только небольшие корешки, тогда как в опытных партиях кабачка видна развитая стержневая корневая система и проростки, что подтверждает высокую эффективность данного режима УЗ обработки.

Твердосемянные культуры с низкой водопроницаемостью оболочки характеризуются длительной и относительно низкой всхожестью и энергией прорастания. Эксперимент по предпосевной УЗ обработке се-



*а*



*б*

**Рисунок 2. Проростки семян подсолнечника (а) и кабачка (б) на 5-е сутки после УЗ обработки в течение 600 с**

мян хурмы (*Diospyros kaki* Thunb) показал, что первые корешки появляются на 15-16-е сутки, а у контрольных – на 2-3-е суток позже (рис. 3). В условиях высокой влажности и значительной длительности прорашивания хурмы видны разросшиеся споры гриба *Penicillium* spp., в опытных образцах они отсутствует.

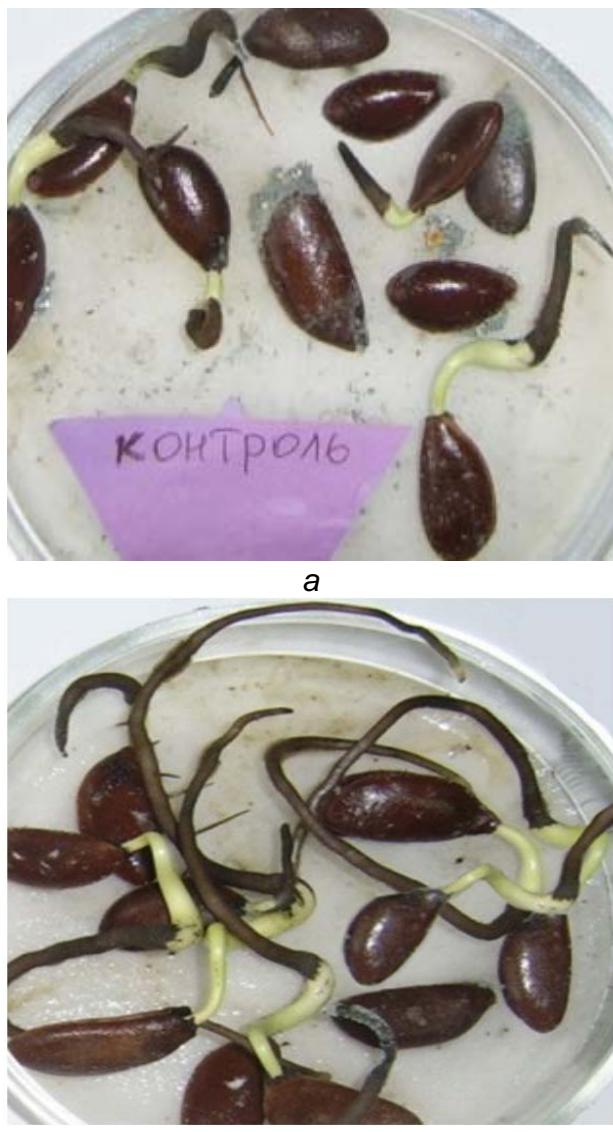


Рисунок 3. Проростки семян хурмы на 21-е сутки:  
а – контрольный образец; б – после УЗ обработки  
с экспозицией 600 с

В процессе УЗ обработки семена очищаются, как от механических загрязнений, так и от бактериальных инфекций. Дополнительный бактерицидный и стерилизующий эффекты оказывают проявления ультразвука (кавитация, диспергирование, термические и физико-химические действия). Таким образом, УЗ обработка оказывает комплексное биологическое воздействие: активацию жизнедеятельности семян и подавление нежелательной микрофлоры.

### Заключение

Анализ результатов экспериментов свидетельствует о том, что под действием ультразвука жидкие

среды активируются, происходит изменение их физико-химических свойств. Движущей силой активации является кавитационный процесс, в котором выделяется мгновенная энергия, достаточная для возбуждения, ионизации и диссоциации молекул.

Кавитация является многофакторным явлением, связанным с параметрами ультразвуковых волн и особенностями их распространения в среде, сопровождаемого затуханием, отражением, рассеянием ультразвука, и свойствами обрабатываемых материалов.

Ультразвуковое поле и кавитационная область в ванне с водой являются неоднородными. Максимальный уровень кавитации находится в непосредственной близости, но не на поверхности излучателей, и далее ослабляется по мере удаления от них.

Наряду с тепловыми эффектами в ультразвуковом поле в биологических средах наблюдаются механические, электрические и физико-химические эффекты, сочетание которых обеспечивает уникальность ультразвука как активирующего и дезинфицирующего фактора. При предпосевной УЗ обработке происходит обеззараживание семян, выведение их из состояния покоя, возбуждение жизненных сил зародыша, ведущих к повышению всхожести и энергии прорастания.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности / В. Н. Хмелев [и др.]. – Барнаул: АлтГТУ, 2007. – 416 с.
2. Корко, В.С. Электрофизические методы стимуляции растительных объектов: монография / В.С. Корко, Е.А. Городецкая. – Минск: БГАТУ, 2013. – 232 с.
3. Основы растениеводства: учеб. пособие / И.П. Козловская [и др.]; под ред. И.П. Козловской. – Минск: Беларусь, 2010. – 328 с
4. Флинн, Г. Физика акустической кавитации в жидкостях // Физическая акустика / Г. Флинн; под ред. У. Мезона. – Москва: Мир, 1967. – Т. 1. – Ч. Б. – С. 7 – 138.
5. Промтов, М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика / М.А. Промтов. – М.: Машиностроение, 2001. – 260 с.
6. Шиляев, А.С. Физические основы применения ультразвука в медицине и экологии: учеб.-методич. пособие / А. С. Шиляев, С. П. Кундас, А. С. Стукин; под общ. ред. С. П. Кундаса. – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2009. – 110 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 27.03.2017

УДК 621.313.33:004

# **РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ В ДВИГАТЕЛЬНОМ И ГЕНЕРАТОРНОМ РЕЖИМАХ ПРИ ЧАСТОТЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ ОБМОТОК СТАТОРА ВЫШЕ НОМИНАЛЬНОЙ**

**М.А. Прищепов,**

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

**Д.М. Иванов,**

*аспирант, каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ*

**Е.М. Прищепова,**

*ст. преподаватель каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ*

*В статье рассмотрены методики расчета статических характеристик асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в двигательном и генераторном режимах при частоте напряжения питания обмоток статора выше номинальной, разработаны алгоритмы расчета статических характеристик АД и проведено их сравнение.*

*Ключевые слова:* асинхронный двигатель, частотно-регулируемый электропривод, статические характеристики, алгоритмы расчета.

*The article deals with the calculation methods of static characteristics of asynchronous electric motors with short-circuited rotor in the motor and generator modes with the frequency of the supply voltage of the stator windings higher than the rated voltage. Algorithms for calculating the static characteristics of blood pressure are developed and their comparison is given.*

*Keywords:* asynchronous motor, frequency-controlled electric drive, static characteristics, calculation algorithms.

## **Введение**

Частотный метод регулирования скорости на сегодняшний день является наиболее широко распространенным, так как позволяет решать многие технические задачи привода в технологических процессах просто и эффективно. Все возрастающие требования к качеству и эффективности технологических процессов требуют и от систем электропривода высоких технических и экономических показателей управления, обеспечения широкого диапазона нагрузочных моментов и угловых скоростей, что часто требует использования двухзонного регулирования при частотном управлении, поэтому вопрос расчета статических характеристик асинхронного двигателя (АД) при частоте напряжения питания обмоток статора АД выше номинальной является весьма актуальным и требует обоснованного анализа и более подробного рассмотрения на конкретных примерах и расчетах.

## **Основная часть**

Большинство современных систем частотного управления, как правило, предусматривают две зоны регулирования частоты (угловой скорости):

– вниз от номинальной – наиболее часто, при стабилизации потока возбуждения в зависимости от принятого закона управления (стабилизации потокосцепления статора  $\Psi_1$ , взаимоиндукции  $\Psi_m$ , ротора  $\Psi_2$ );

– вверх от номинальной – при неизменной величине напряжения на статоре  $U_1=U_{1H}$  и его частоте выше номинальной, т.е.  $f_1 > f_H$ .

Регулирование в зоне скоростей ниже номинальных и соответствующие ей механические и электромеханические характеристики были рассмотрены авторами в работах [1] и [2].

В данной статье рассмотрим зону регулирования угловой скорости выше номинальной  $\omega_H \leq \omega \leq \omega_{MAX}$ , в которой регулирование скорости осуществляют при постоянной допустимой мощности.

Для значительного расширения диапазона регулирования скорости во многих производственных механизмах требуется повышение угловой скорости АД привода выше номинальной. Придерживаться соотношения  $U_1/f_1 = U_{1H}/f_H = const$  в данном диапазоне не представляется возможным, так как при наиболее распространенной схеме преобразователя частоты с автономным инвертором на его выходе невозможно получить напряжение выше напряжения питающей сети, да и АД привода по техническим возможностям не допус-

кает питания обмоток его статора напряжением выше номинального. Поэтому в этой зоне используется закон частотного управления при  $U_1=U_{1H}$ .

Для анализа изменения магнитного потока при регулировании угловой скорости в зоне выше номинальной воспользуемся выражением для относительного значения основного магнитного потока АД  $\Phi_m$ , полученным в работе [3]:

$$\frac{\Phi_m}{\Phi_{mH}} = \left| \frac{1}{\alpha} - \frac{\vec{I}_1}{\vec{U}_{1H}} \cdot \left( \frac{r_1}{\alpha} + jx_1 \right) \right|, \quad (1)$$

где  $\Phi_m$  – основной магнитный поток при текущих значениях частоты  $f_1$  напряжения питания  $U_1$  статора АД, Вб;

$\Phi_{mH}$  – основной магнитный поток при номинальных значениях частоты  $f_H$  напряжения питания  $U_{1H}$  статора АД, Вб;

$I_1$  – текущий ток обмоток статора АД, А;

$\alpha = f_1/f_H$  – относительное значение частоты питающего напряжения, о.е.;

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

$x_1$  – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора АД, Ом.

Из выражения (1) очевидно, что при токе статора  $I_1 \approx 0$  относительный поток изменяется обратно пропорционально частоте, а под нагрузкой при возрастании тока  $I_1$  поток будет снижаться медленнее.

Уменьшение потока при увеличении частоты  $f_1$  напряжения питания  $U_1$  статора АД вызвано также уменьшением тока статора  $I_1$  вследствие возрастания индуктивного сопротивления рассеяния обмоток статора  $x_1$ , которое в этом режиме играет такую же роль, как и активное сопротивление  $r_1$  при управлении по закону  $U_1/f_1 = U_{1H}/f_H = \text{const}$ .

Для анализа изменения механических и электромеханических характеристик АД проведем их расчет и построение при различных значениях относительной частоты  $\alpha$  и напряжении питания статора  $U_1$  по рассмотренным ранее в работе [1] методикам, изложенным в работах [4, 5] и работах [6, 7].

Некоторое несовпадение характеристик, рассмотренных по указанным выше методикам, объясняется тем, что ЭДС статора по методике, изложенной в работах [6, 7], рассчитывалась из векторной диаграммы геометрически, а по методике, изложенной в работах [4, 5], из алгебраического выражения. Тогда, основные выражения, используемые при построении характеристик по методике, изложенной в работах [4, 5], будут следующими:

– механическая характеристика  $\omega=f(M)$  АД

$$M = \frac{3 \cdot U_1 \cdot r_2}{\omega_0 \cdot s \left[ x_K^2 \cdot \alpha^2 + \left( r_{1\text{экв}} + \frac{r_2}{s} \right) + \left( \frac{r_{1\text{экв}} \cdot r_2}{s \cdot x_\mu \cdot \alpha^2} \right)^2 \right]}, \quad (2)$$

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

$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 / p$  – синхронная угловая скорость магнитного поля статора при текущем значении частоты  $f_1$  питающего напряжения  $U_1$  статора АД, рад/с;

$s$  – скольжение АД, о.е.;

$x_K$  – индуктивное сопротивление короткого замыкания, Ом;

$x_\mu$  – индуктивное сопротивление ветви намагничивания, Ом;

$r_{1\text{экв}} = r_1 - k_{KM} \cdot r_1$  – эквивалентное активное сопротивление цепи обмотки статора [4], где  $k_{KM}$  – коэффициент положительной обратной связи по току изменяется от 0 до 1.

– электромеханическая характеристика  $\omega=f(I_2)$  для данного закона регулирования скорости

$$I'_2 = \frac{U_1}{\left( r_{1\text{экв}} + \frac{r'_2}{s} \right) + x_K^2 \cdot \alpha^2 + \left( \frac{r_{1\text{экв}} \cdot r'_2}{s \cdot x_\mu \cdot \alpha^2} \right)^2} \quad (3)$$

– электромеханическая характеристика тока статора АД  $\omega=f(I_1)$  в соответствии с выражением:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + (I'_2)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I'_2 \cdot \sin \varphi_2}, \quad (4)$$

где  $I_0 = \frac{U_1}{\sqrt{r_{1\text{экв}}^2 + (x_1 \cdot \alpha + x_\mu \cdot \alpha)^2}}$  – ток холостого хода, А;

$$\sin \varphi_2 = \frac{x_K \cdot \alpha}{\sqrt{\left( r_{1\text{экв}} + \frac{r'_2}{s} \right)^2 + x_K^2 \cdot \alpha^2}} \quad \text{– синус угла между}$$

вектором напряжения питания статора  $\vec{U}_1$  и вектором тока ротора  $\vec{I}'_2$ , рад.

Детальный алгоритм расчета механических и электромеханических характеристик АД при частотном регулировании для закона  $U_1=U_{1H}$  и относительной частоте напряжения питания статора  $\alpha \geq 1$  по методике [4, 5] представлен на рисунке 1.

В работах [6, 7] при расчете электромеханических характеристик, токи рассчитываются через полное сопротивление цепи АД ( $Z'_{AD}$ ).

Выражения для построения характеристик будет иметь следующий вид:

– механическая характеристика  $\omega=f(M)$  АД:

$$M = \frac{2 \cdot M_K}{\alpha^2 \cdot \left( \frac{S_a}{S_{ak}} + \frac{S_{ak}}{S_a} \right)}, \quad (5)$$

$\omega = \omega_{0H} \cdot (\alpha - s_a)$

где  $M_K$  – критический момент двигателя, Н·м;

$s_a$  – абсолютное скольжение;

$\omega_{0H} = 2 \cdot \pi \cdot f_u / p$  – синхронная угловая скорость магнитного поля статора при номинальной частоте  $f_u$  питающего напряжения статора АД, рад/с;

– электромеханическая характеристика  $\omega=f(I_1)$  для данного закона регулирования скорости:

$$I_1 = \frac{U_{1H}}{Z'_{AD}}, \quad (6)$$

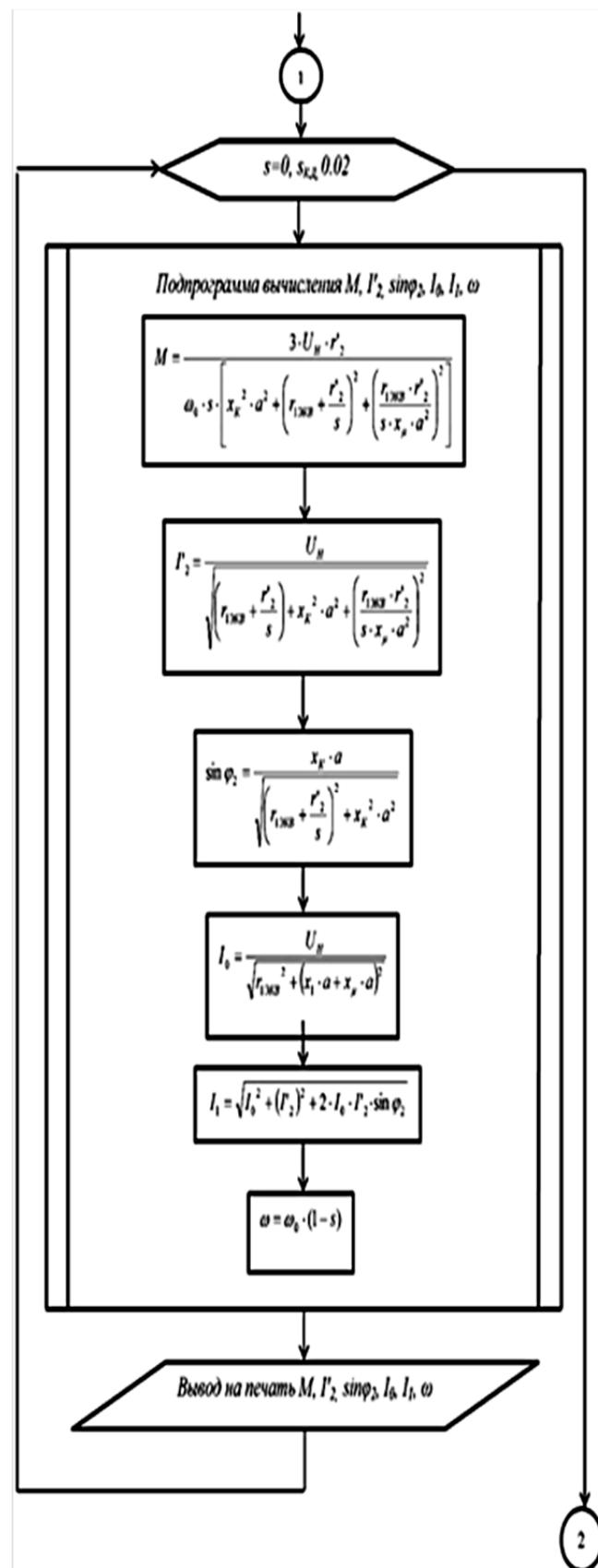
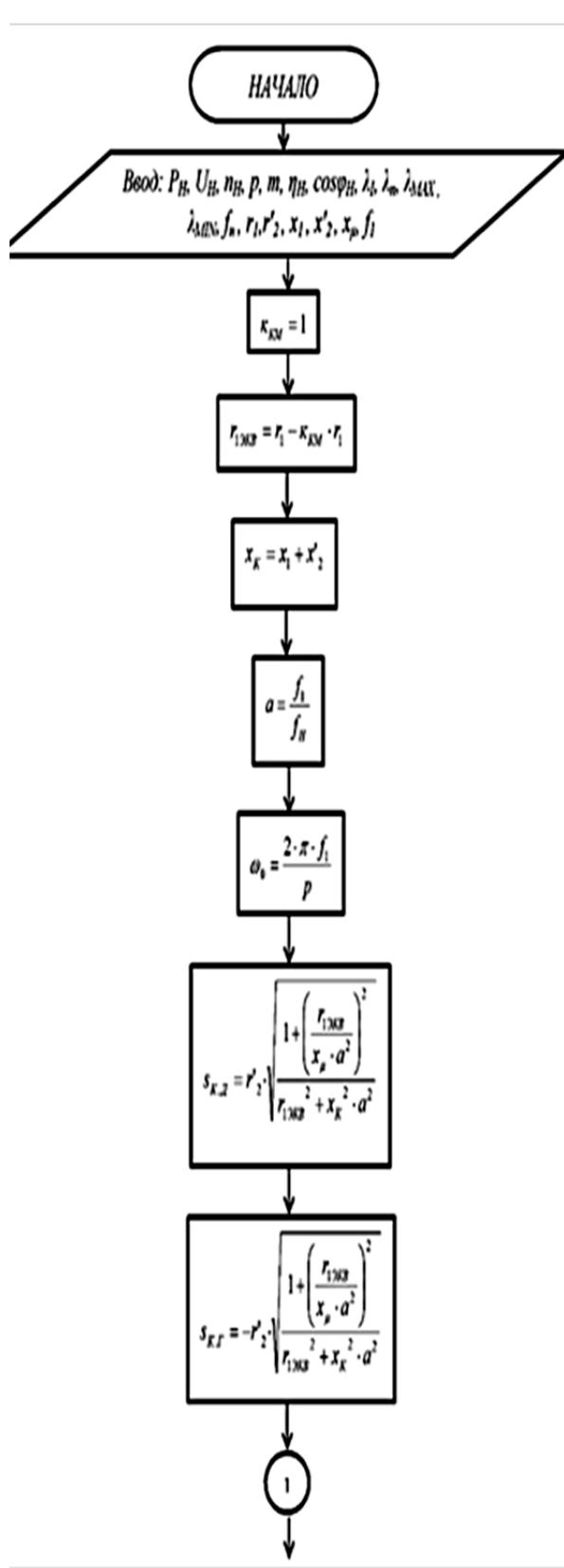
где  $Z'_{AD}$  – полное сопротивление цепи АД при данном абсолютном скольжении  $s_a$  и относительной частоте  $\alpha$ , Ом.

Полное сопротивление цепи АД при данном абсолютном скольжении  $s_a$  и относительной частоте  $\alpha$ :

$$Z'_{AD} = \sqrt{R_{AD}^2 + X_{AD}^2}, \quad (7)$$

где  $R_{AD}$  – активное сопротивление эквивалентной схемы АД, Ом;

$X_{AD}$  – индуктивное сопротивление эквивалентной схемы АД, Ом.



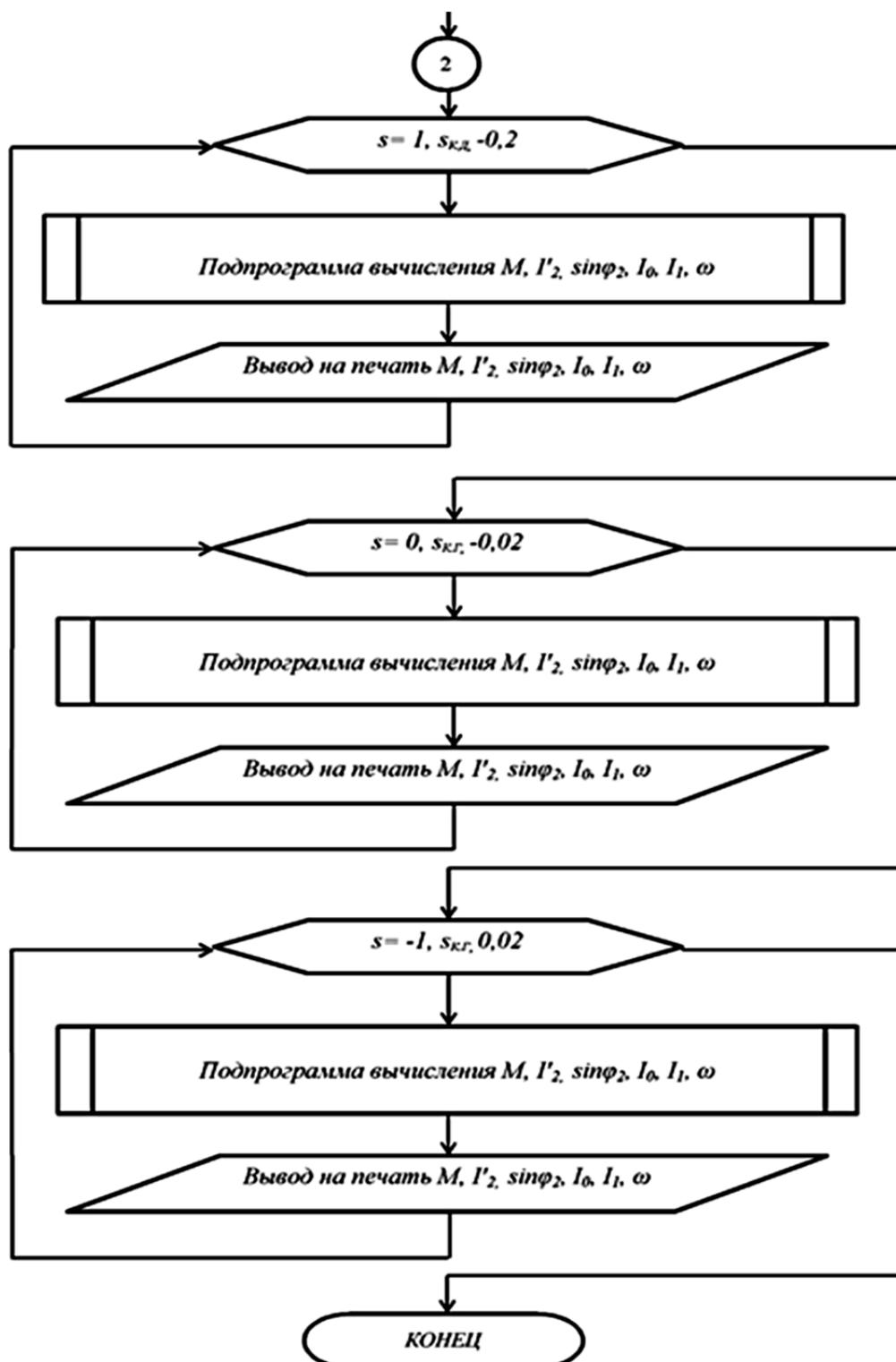


Рисунок 1. Алгоритм расчета механических и электромеханических характеристик АД при частотном регулировании для  $U_1 = U_{1N}$  по методике [4, 5] и относительной частоте напряжения питания статора  $\alpha \geq 1$ :

где  $P_H$  – номинальная мощность двигателя, кВт;

$U_H$  – номинальное напряжение питания (фазное), В;

$n_H$  – номинальная частота вращения ротора АД, об/мин;

$\eta_H$  – номинальный коэффициент полезного действия двигателя, %;

$\lambda_{MAX}$  – кратность максимального момента к номинальному, о.е;

$\cos\varphi_H$  – номинальный коэффициент мощности, о.е.;  
 $\lambda_{\Pi}$  – кратность пускового момента к номинальному, о.е.;  
 $\lambda_i$  – кратность пускового тока к номинальному, о.е.;  
 $\lambda_{MIN}$  – кратность минимального момента к номинальному, о.е.;  
 $f_H$  – номинальная частота переменного тока питающей сети, 50 Гц;  
 $r_1$  – активное сопротивление обмотки статора, Ом;  
 $r'_2$  – активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, Ом;  
 $x_1$  – индуктивное сопротивление рассеяния фазы статора, Ом;  
 $x'_2$  – индуктивное сопротивление рассеяния фазы ротора, приведенное к обмотке статора, Ом;  
 $x_{\mu}$  – индуктивное сопротивление ветви намагничивания, Ом;  
 $x_k$  – индуктивное сопротивление короткого замыкания, Ом;  
 $f_1$  – текущая частота переменного тока питающей сети, Гц;  
 $k_{KM}$  – коэффициент положительной обратной связи по току (при полной  $IR$ -компенсации  $k_{KM} = 1$ );  
 $r_{1EKV}$  – эквивалентное активное сопротивление цепи обмотки статора, Ом;  
 $\alpha$  – относительная частота питающего напряжения, о.е.;  
 $\omega_0$  – синхронная угловая скорость магнитного поля статора при текущем значении частоты  $f_1$  питающего напряжения статора АД, рад/с;  
 $s$  – скольжение АД, о.е.;  
 $s_{k.d.}$  – критическое скольжение в двигательном режиме, о.е.;  
 $s_{k.g.}$  – критическое скольжение в генераторном режиме о.е.;  
 $M$  – расчетный момент механической характеристики АД, Н·м;  
 $I'_2$  – расчетный ток ротора АД, приведенный к обмотке статора, А;  
 $\sin\varphi_2$  – синус угла между вектором напряжения питания  $\vec{U}_1$  и вектором тока ротора  $\vec{I}'_2$ , рад;  
 $I_0$  – ток холостого хода, А;  
 $I_1$  – расчетный ток статора АД искусственной электромеханической характеристики, А;  
 $\omega$  – текущее значение угловой скорости ротора АД, с<sup>-1</sup>.

Активное сопротивление эквивалентной схемы АД равно:

$$R_{AD} = r_1 + \alpha \cdot R_{B,A}, \quad (8)$$

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

Индуктивное сопротивление эквивалентной схемы АД равно:

$$X_{AD} = \alpha \cdot (x_1 + X_{B,A}), \quad (9)$$

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

«Внутреннее» активное сопротивление АД при номинальной частоте и данном значении абсолютного скольжения  $s_a$ :

$$R_{B,A} = \frac{x_{\mu}^2 \cdot r'_2 \cdot s_a}{r'^2_2 + (x'_2 + x_{\mu})^2 \cdot s_a^2}. \quad (10)$$

«Внутреннее» индуктивное сопротивление АД при номинальной частоте и данном значении абсолютного скольжения  $s_a$ :

$$X_{B,A} = x_{\mu} \cdot \frac{r'_2 + x'_2 \cdot (x'_2 + x_{\mu}) \cdot s_a^2}{r'^2_2 + (x'_2 + x_{\mu})^2 \cdot s_a^2}; \quad (11)$$

– электромеханическая характеристика  $\omega=f(I'_2)$  для данного закона регулирования скорости:

$$I'_2 = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{\alpha \cdot r'_2}{s_a}\right)^2 + (\alpha \cdot x'_{k,nom})^2}}. \quad (12)$$

Алгоритм расчета механических и электромеханических характеристик АД при частотном регулировании для закона  $U_I=U_{1H}$  и относительной частоте  $\alpha \geq 1$  по методике [6, 7] представлен на рисунке 2.

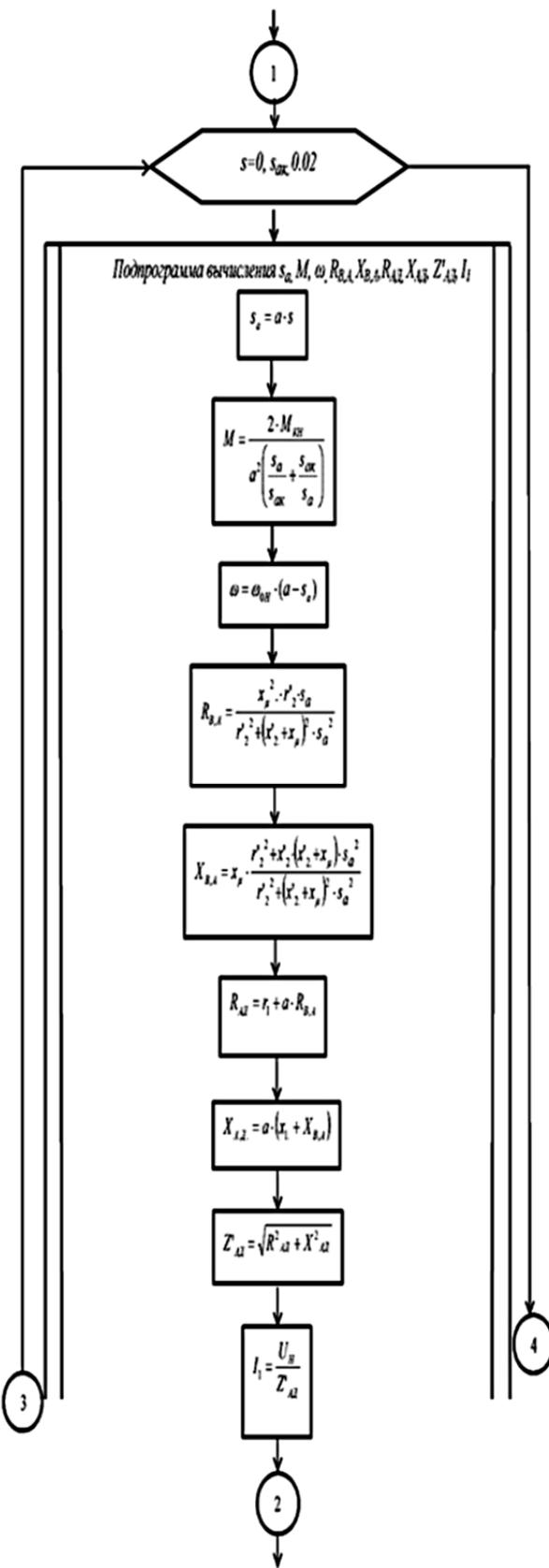
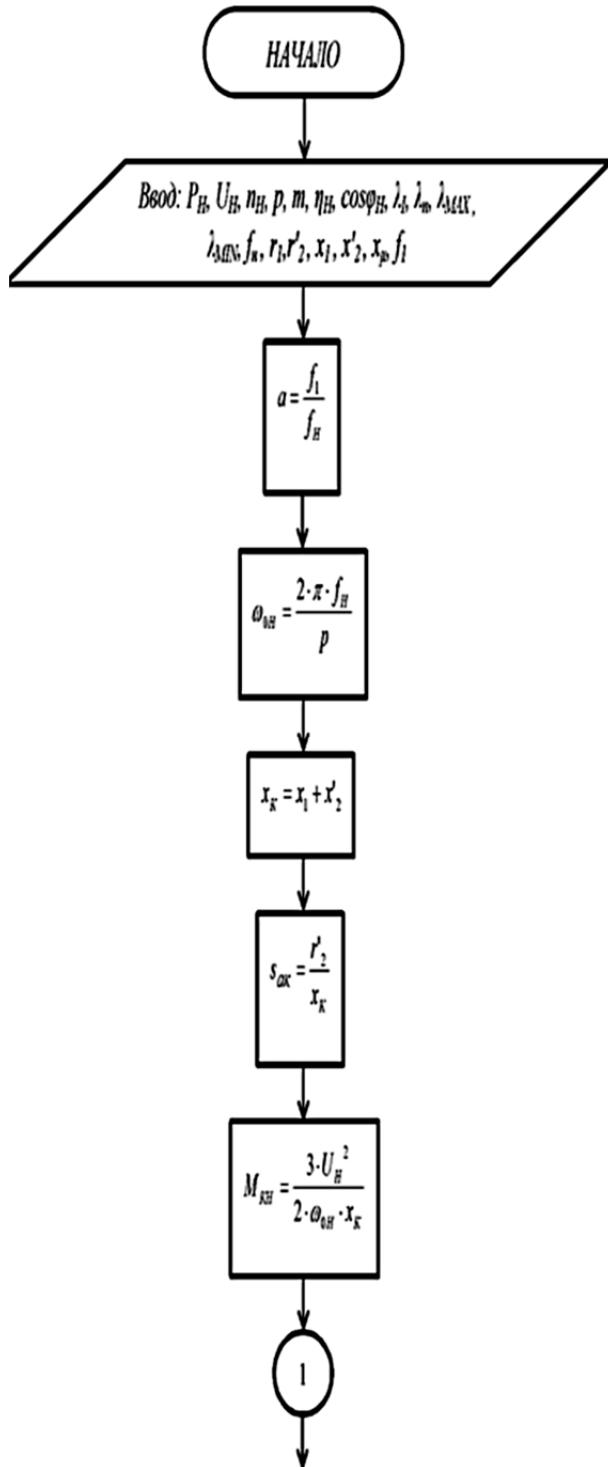
Остальные встречающиеся обозначения в этом алгоритме (рис. 2) совпадают с обозначениями алгоритма, приведенного на рисунке 1.

Далее по приведенным алгоритмам построим механические (рис. 3) и электромеханические (рис. 4, 5) характеристики для разных частот и напряжений на примере двигателя серии АИР с техническими характеристиками, приведенными в (табл. 1).

Сравнение полученных механических характеристик показывает (рис. 3) их практически полное совпадение. Некоторое несовпадение электромеханических характеристик  $\omega=f(I_1)$  (рис. 4) и  $\omega=f(I'_2)$  (рис. 5) возникает из-за того, что ЭДС статора в одной методике рассчитывается из векторной диаграммы, а во второй – из алгебраического выражения.

**Таблица 1. Технические характеристики электродвигателя [8]**

Тип	P, кВт	$n_H, \text{мин}^{-1}$	КПД, %	$\cos\varphi$	$\lambda_{\Pi} = \frac{I_{\Pi}}{I_H}$	$\lambda_h = \frac{M_{\Pi}}{M_H}$	$\lambda_{MAX} = \frac{M_k}{M_h}$	$\lambda_{MIN} = \frac{M_{MIN}}{M_h}$
АИР160S2	15	2930	88,7	0,89	7,0	2,1	3,0	2,0



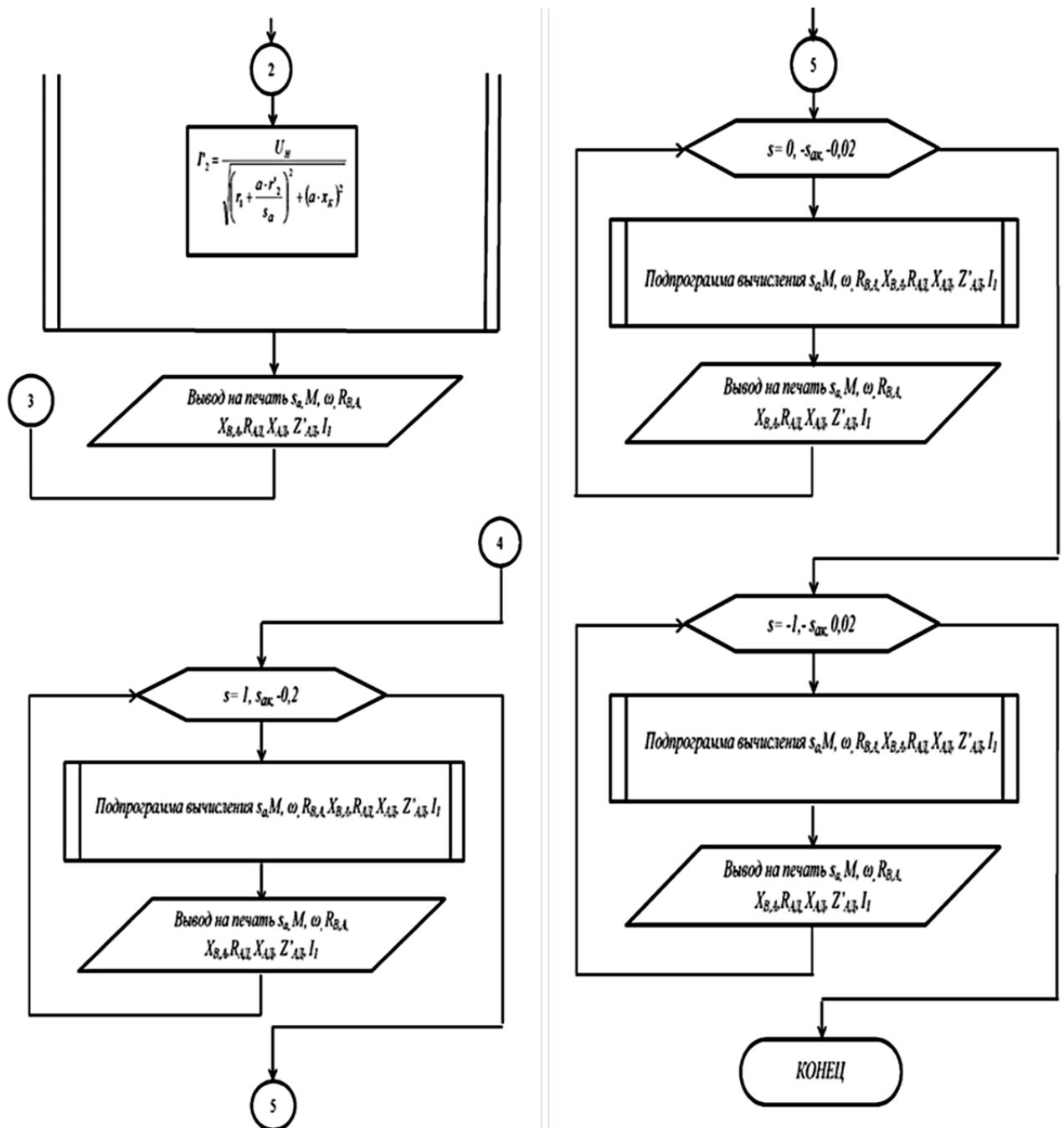


Рисунок 2. Алгоритм расчета механических и электромеханических характеристик АД при частотном регулировании для  $U_1 = U_{1n}$  по методике [6, 7] и относительной частоте напряжения питания  $\alpha \geq 1$ :

где  $\omega_{0n}$  – синхронная угловая скорость магнитного поля статора АД при номинальной частоте  $f_n$  напряжения питания, рад/с;

$s_{ak}$  – абсолютное критическое скольжение, о.е.;

$M_{KH}$  – критический момент двигателя при номинальной частоте и напряжении питания АД, Н·м;

$s_a$  – абсолютное скольжение, о.е.;

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

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

$R_{AD}$  – активное сопротивление эквивалентной схемы АД, Ом;

$X_{AD}$  – индуктивное сопротивление эквивалентной схемы АД, Ом;

$Z_{AD}$  – полное сопротивление цепи АД при данном абсолютном скольжении  $s_a$  и относительной частоте  $\alpha$ , Ом.

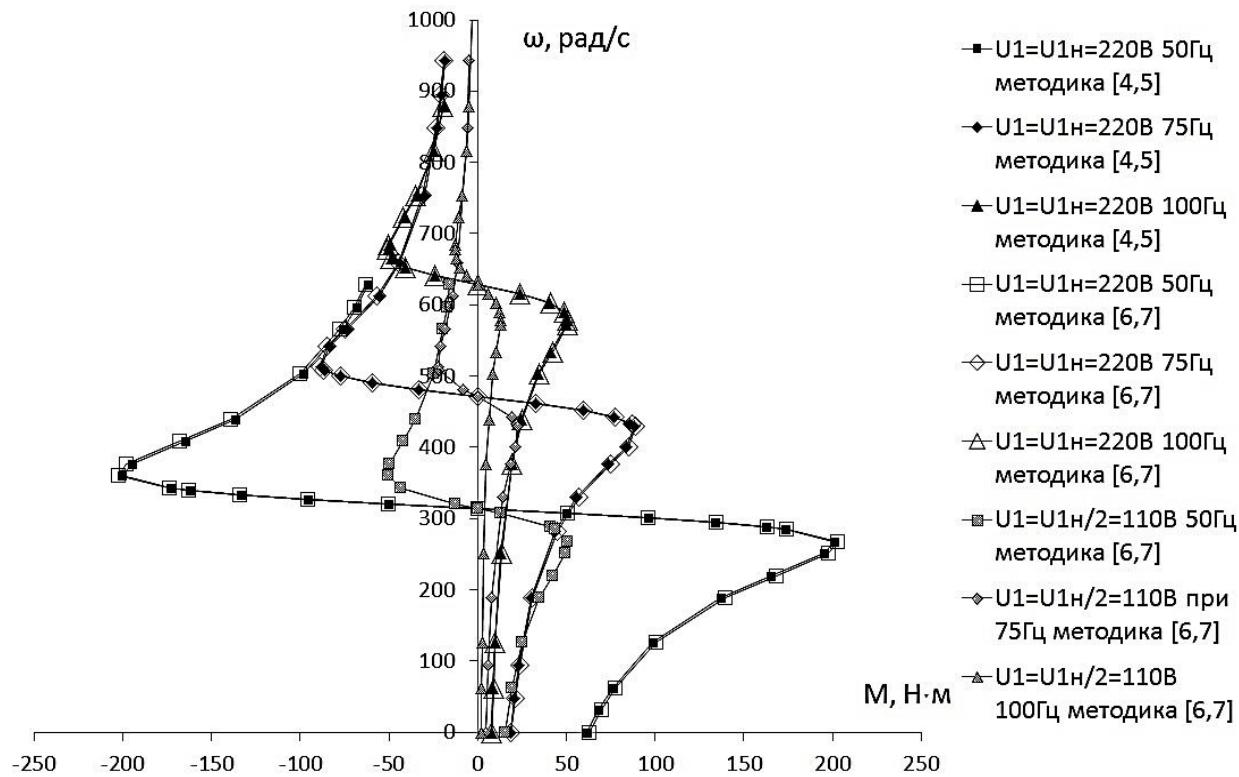


Рисунок 3. Механические характеристики АД  $\omega=f(M)$  при частотном регулировании для  $U_1 = U_{1H}$  ( $U_1 = U_{1H}/2$ ) и относительной частоте напряжения статора  $\alpha \geq 1$  по методикам [4, 5] и [6, 7] для двигателя АИР160S2

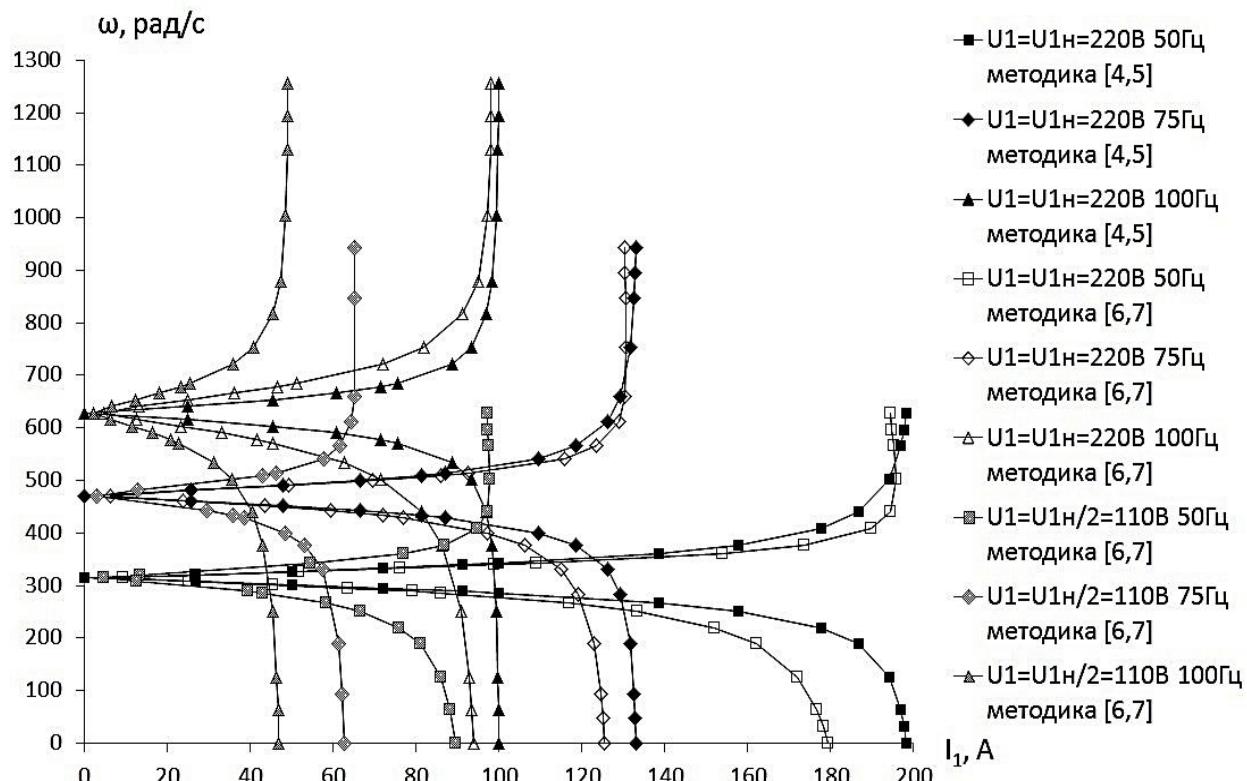


Рисунок 4. Электромеханические характеристики АД  $\omega=f(I_1)$  при частотном регулировании для  $U_1 = U_{1H}$  ( $U_1 = U_{1H}/2$ ) и относительной частоте напряжения статора  $\alpha \geq 1$  по методикам [4, 5] и [6, 7] для двигателя АИР160S2

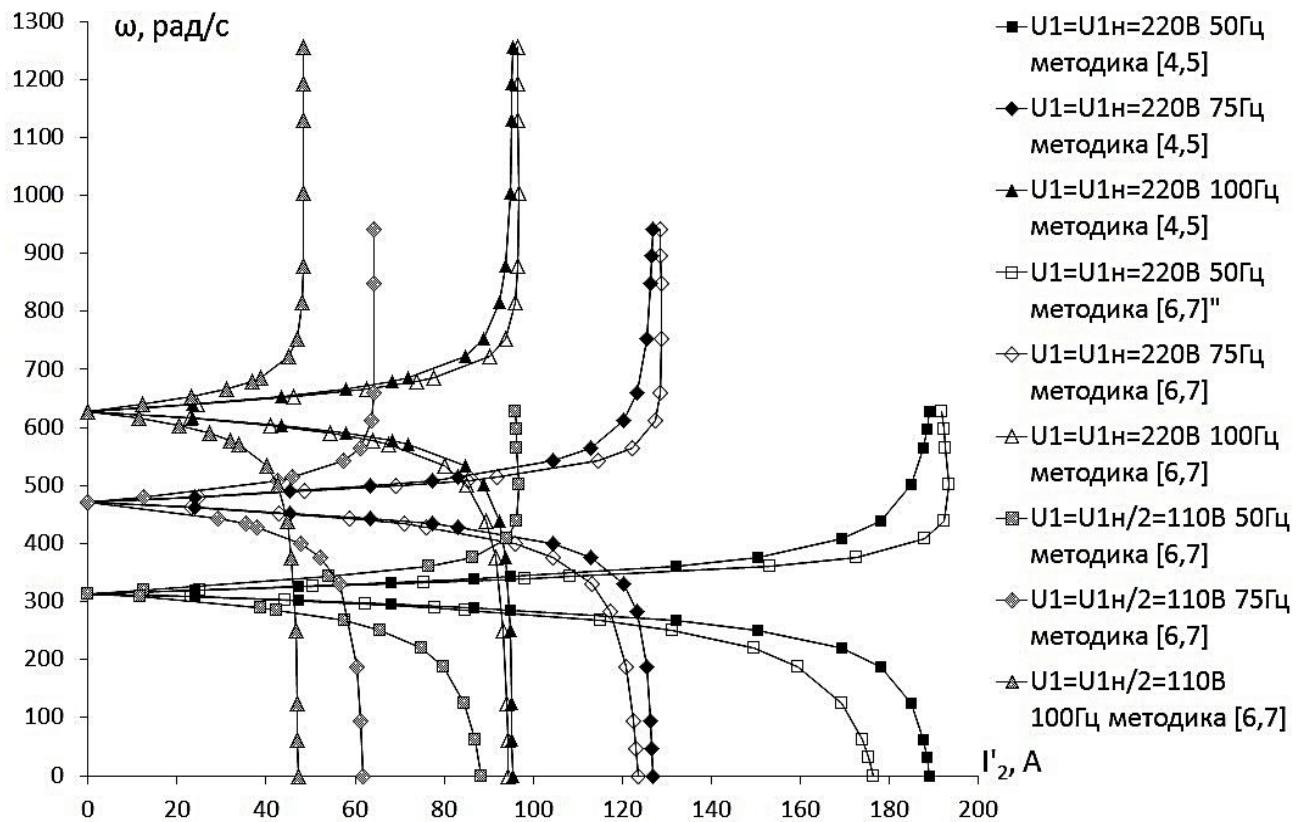


Рисунок 5. Электромеханические характеристики АД  $\omega=f(I_2')$  при частотном регулировании для  $U_1 = U_{1\text{Н}}$  ( $U_1 = U_{1\text{Н}}/2$ ) и относительной частоте напряжения статора  $\alpha \geq 1$  по методикам [4, 5] и [6, 7] для двигателя АИР160S2

### Заключение

Рассмотрев результаты расчета характеристик АД в диапазоне угловых скоростей, больших名义ной, по приведенным выше методикам, можно утверждать, что они имеют хорошее совпадение. При этом регулирование угловой скорости осуществляется при постоянной мощности, а критический момент уменьшается обратно пропорционально квадрату напряжения питания статора  $U_1$  и квадрату его относительной частоты  $\alpha$ .

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

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

Е.М. Прищепова, Д.М. Иванов // Агропанорама, 2017. – №2. – С. 26-36.

3. Усольцев, А.А. Частотное управление асинхронными двигателями: учеб. пособие / А.А. Усольцев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.

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

5. Удут, Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учеб. пособие / Л.С. Удут, Н.В. Коянин, О.П. Мальцева. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 448 с.

6. Фираго, Б.И / Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мин.: Техноперспектива, 2006. – 363 с.

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

8. Асинхронные двигатели: каталог ОАО «Могилевский завод «Электродвигатель» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mez.by>. – Дата доступа: 19.03.2017.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 12.04.2017

УДК 338.43

# **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ И ЭТАПЫ ЭФФЕКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ ВЕДЕНИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

**Г.И. Гануш,**

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

**В.В. Липницкая,**

*доцент каф. экономической теории и права БГАТУ, канд. экон. наук, доцент*

**З.Г. Близнюк,**

*ст. преподаватель каф. экономической теории и права БГАТУ*

*Изложены эколого-экономические преимущества и методологические аспекты освоения адаптивных систем хозяйствования в агропромышленном комплексе. Обоснованы методологические принципы перехода к адаптивным технологиям. Рекомендованы этапы освоения адаптивных систем производства в сельхозорганизациях и фермерских хозяйствах.*

*Ключевые слова:* адаптивные системы, сельхозорганизации, освоение, методологические принципы, этапы, алгоритм.

*The environmental and economic benefits, methodological aspects of the development of adaptive management systems are presented in the agricultural sector. The ecological principles of transition to adaptation technologies are proved. Stages of development of adaptive production systems in agricultural enterprises and farms are recommended.*

*Keywords:* adaptive systems, agricultural companies, development, methodological principles, stages, and algorithm.

## **Введение**

Одной из доминирующих тенденций развития мирового сельского хозяйства на рубеже XX и XXI столетий является переход к новой парадигме природопользования. Это, в частности, выражается в расширении масштабов освоения адаптивных технологий земледелия и животноводства, а также адаптивных систем агропромышленного производства в целом.

Адаптивные технологии, в отличие от традиционных, ориентированы на максимальное использование в производстве сельхозпродукции «даровых» (от слова «дарить») возобновляемых природных факторов (солнечный свет, атмосфера, биологические процессы и др.), что обеспечивает снижение себестоимости и улучшение качества продукции, повышение ее рыночной стоимости, а также соответствует принципам природоохранности в результате существенного сокращения дорогостоящих и невозобновляемых средств техногенного происхождения (нефть, газ, синтетические удобрения, химические препараты и др.) В данном контексте адаптивные системы выступают как объективно обусловленное перспективное направление хозяйствования на земле, наиболее адекватное экономическим, экологическим и социальным приоритетам развития человеческой цивилизации [1].

## **Основная часть**

Во многих сельхозорганизациях Беларуси технологические процессы недостаточно адаптированы к мест-

ным природным условиям, вследствие чего биологические ресурсы, как важнейший источник повышения эффективности и устойчивости аграрной отрасли, используются далеко не в полном объеме. Это, к примеру, проявляется в отсутствии рациональной структуры посевных площадей и научно обоснованных севооборотов, недостаточной организации практического применения рекомендаций науки по биологизации и экологизации растениеводства, конструированию агроэкосистем и агроландшафтов, совершенствованию семеноводства, селекции и агротехники [2, 4].

В организационных процессах перехода к адаптивным системам сельскохозяйственного производства, помимо природных факторов, необходимо также учитывать экономические и рыночные.

К экономическим факторам относятся такие производственные факторы, как наличие и качество трудовых ресурсов, обеспеченность основными производственными фондами и оборотными средствами, состояние материально-технической базы и другие. Структуру и объемы производства сельскохозяйственной продукции необходимо максимально адаптировать к указанным факторам, а иначе организовать эффективное ведение хозяйства не представляется возможным.

В связи с динамичным развитием процессов рыночной трансформации экономики, перманентными изменениями ситуации спроса и предложения, обострения конкуренции возникает объективная необходимость постоянной и оперативной адаптации

производственно-сбытовой деятельности к конъюнктуре внутреннего и внешних рынков. При этом следует исходить из принципиально важного положения, а именно: обеспечить конкурентную устойчивость производства возможно только на базе его максимальной природно-экономической адаптации, позволяющей существенно сокращать дорогостоящие техногенные затраты (топливо, удобрения, пестициды и др.), и на этой основе получать продукцию, конкурентоспособную по цене и качеству.

Использование рыночной составляющей триединого процесса адаптивной интенсификации производства предполагает осуществление квалифицированных маркетинговых исследований, направленных на научно обоснованную оценку перспективной конъюнктуры рынка, прежде всего с позиции спроса и предложения, что позволяет правильно определить специализацию производства, обеспечить эффективность производственной деятельности и устойчивое развитие субъектов хозяйствования. На практике это означает то, что определение структуры и объемов производства сельхозпродукции следует осуществлять на основе максимальной адекватности не только природным и экономическим условиям региона (хозяйства), но и параметрам перспективного рыночного спроса с тем, чтобы производить с учетом принципов адаптивности и сравнительных преимуществ не то, что производится, а то, что продается с получением планируемого эффекта.

Таким образом, освоение адаптивных систем ведения сельского хозяйства представляет собой сложный процесс, включающий природные, экономические и рыночные аспекты. Его успешное осуществление возможно на основе высокого уровня научного обеспечения и адекватной квалификации кадров. В данной связи полагаем целесообразным изложить методологические принципы и этапы освоения агротехнологий, адаптированных к природным, экономическим и рыночным условиям функционирования субъектов хозяйствования.

По итогам проведенных исследований, считаем возможным рекомендовать руководителям и специалистам сельхозорганизаций, фермерских хозяйств, органов управления АПК руководствоваться в практической работе по освоению адаптивных технологий аграрного производства следующими методологическими принципами:

**1. Первый принцип заключается в том, что системообразующим звеном специализации и размещения аграрного производства следует считать не регион, а сельскохозяйственную организацию.** В соответствии с данным принципом производственная специализация сельского хозяйства республики должна базироваться на основе учета агроклиматических условий каждой сельскохозяйственной организации. В этой связи, предлагаемые агрозэкономической наукой агроклиматические зоны специализации, в том числе в литературных источниках последних лет, утрачивают свою первостепенную значимость для научного обоснования специализации отрасли.

Во-первых, предлагаемое выделение зон специализации не является однозначным и характеризуется размытым определением сущности. Во-вторых, вообще не представляется возможным выделить реальные зоны специализации, имеющие практическое значение для производства. Ведь даже в рамках одного района насчитываются десятки почвенных разностей. Поэтому основным объектом, именно системообразующим объектом адаптивного сельского хозяйства, должны быть сельскохозяйственные организации, в том числе фермерские хозяйства. Данный методологический подход является важной составляющей эффективного механизма перехода в сельском хозяйстве к применению преимущественно адаптивных технологий.

**2. Второй принцип состоит в соблюдении требований закона возврата.** При разработке и освоении систем адаптивного земледелия важно руководствоваться требованиями, так называемого, закона возврата, который гласит: «Вещество и энергия, отчужденные из почвы, должны быть возвращены в нее с некоторым избытком» [4]. Теоретические и опытно-экспериментальные положения возврата в почву питательных веществ, вынесенных из нее при уборке урожая сельскохозяйственных растений, глубоко обоснованы академиком Д.Н. Прянишниковым, который по праву считается одним из основоположников сельскохозяйственной, в частности, агрономической науки. Им на основе опытов и конкретных расчетов показана роль различных сельскохозяйственных культур (зерновые, клевер, люцерна, сахарная свекла, лен и др.) в обогащении (обеднении) почвы при производстве урожая. Обоснованы условия, обеспечивающие соблюдение баланса почвенного плодородия [5].

**3. Третий принцип базируется на необходимости максимального учета сложившихся производственно-экономических условий, в том числе специализации хозяйства.** При разработке мероприятий по переходу к адаптивным системам земледелия следует ориентироваться на максимально возможное встраивание в новую систему созданного производственного потенциала, сложившейся специализации, установившихся производственно-экономических связей с партнерами. Это позволит обеспечить переход к адаптивным технологиям при минимальных издержках и в короткие сроки. Важно как можно полнее сохранять и задействовать созданные в предыдущие годы производственные фонды (техника, здания, другие производственные объекты), а также экономическое (рукотворное) плодородие почв.

**4. Четвертый принцип ориентирует субъекты хозяйствования на значимость квалифицированного определения перспективного рыночного спроса и предложения на производимую продукцию.** Реализация данного принципа связана, прежде всего, с осуществлением выбора перспективного производственного направления на основе адаптивности. Проблема выбора в экономике составляет сущность экономической науки. Решение ее применительно к адаптивным системам хозяйствования предполагает научно обоснованное определение специализации предприятия с учетом обеспечения эф-

фективного функционирования и устойчивого развития в условиях жесткой рыночной конкуренции. На этой основе реализуется классическое правило эффективности экономической деятельности: знать «Что», «Как» и для «Кого» производить. Для правильного обоснования каждой из составляющих указанной триады и их гармоничного сочетания требуется проведение глубоких маркетинговых исследований. Научно обоснованные маркетинговые стратегии должны находиться в основе принятия любых управлений решений в экономике. Особенно необходимы они при выборе направлений специализации производства в сельскохозяйственных организациях и фермерских хозяйствах. Практическая сторона решения данной проблемы воплощается в оптимизации структуры производства и посевных площадей, а также в максимальной адаптации севооборотов с учетом принципов адаптивности, как к природно-производственным, так и рыночным условиям.

Последовательность осуществления процесса освоения адаптивных систем в сельском хозяйстве, равно как и других производственных процессов, может быть обеспечена на основе поэтапного подхода. Целесообразно выделить следующие пять этапов механизма перехода к адаптивным технологиям аграрного производства.

**1. Исследование и эколого-экономическая оценка природно-ресурсного потенциала сельскохозяйственной организации.** На данном этапе, исходя из кадастровой оценки земельных угодий, следует определить наибольшую адекватность земельных ресурсов и климатических условий хозяйства производству определенных видов сельскохозяйственной продукции. На основе научного подхода предстоит установить: какие сельхозкультуры могут проявлять высокую продуктивность при наименьших затратах дорогостоящих техногенных средств (удобрения, топливо и др.) за счет максимального использования природных факторов. Это обеспечит формирование предпосылок для относительно низкой себестоимости производства единицы продукции.

**2. Оценка производственно-экономического потенциала сельскохозяйственной организации.** На данном этапе следует провести анализ имеющихся производственных фондов (техника, производственные здания и др.), оценить степень их износа и пригодность для производства определенных видов продукции, обладающей достаточной конкурентоспособностью по ценовым и качественным параметрам на внутреннем и внешних рынках. Необходимо также оценить обеспеченность хозяйства кадрами, особенно рабочих профессий. При этом важно определить соответствие качественных характеристик трудовых ресурсов освоению новых технологий, т.е. в какой степени профессиональный уровень кадров (образование, навыки и др.) отвечает требованиям инновационной модернизации производства и принципам рыночного хозяйствования.

**3. Проведение квалифицированных маркетинговых исследований.** Цель данного этапа заключается в выявлении перспективного рыночного спроса на те или иные виды продукции сельского хозяйства, уста-

новление емкости и сегментов рынка. Это позволит определить объемы и ассортимент продукции, производство которой будет иметь гарантированный сбыт с получением достаточных размеров добавленной стоимости. Полагаем, что для проведения указанных маркетинговых исследований целесообразно привлечь высококвалифицированных специалистов по маркетингу.

**4. Составление плана мероприятий (бизнес-плана) по освоению адаптивных систем хозяйствования.** В плане следует отразить результаты (выводы), полученные на предыдущих трех этапах, и наметить конкретные действия с указанием их содержания и сроков исполнения. На основе проведенных исследований необходимо предусмотреть разработку соответствующей структуры посевов, севооборотов, землепользования в целом. При наличии отрасли животноводства в хозяйстве, следует определить, исходя из предыдущих исследований, наиболее экологически целесообразную структуру производства животноводческой продукции, емкость ее рыночного спроса, численность и структуру поголовья животных, создание полноценной кормовой базы. На этом этапе целесообразно также спрогнозировать экономические результаты освоения адаптивных технологий в растениеводстве и животноводстве.

**5. Разработка организационно-управленческой структуры сельхозорганизации с учетом освоения адаптивных систем хозяйствования.** На данном этапе следует определить организационно-правовую форму хозяйствующего субъекта, структуру управления, систему снабжения материальными и финансовыми ресурсами, рациональную систему сбыта продукции, меры по обеспечению квалифицированными кадрами. Здесь важно установить на перспективу устойчивые связи с перерабатывающими торговыми и заготовительными организациями, учреждениями науки.

Алгоритм механизма поэтапного освоения адаптивных систем ведения сельского хозяйства представлен на рисунке 1.

Предложенный алгоритм поэтапного перехода к адаптивным системам сельскохозяйственного производства имеет сугубо ориентировочный характер. В каждом конкретном случае следует проявлять творческое отношение к решению данной проблемы с учетом особенностей природных, экономических и рыночных условий функционирования субъекта хозяйствования.

### **Заключение**

1. Доминирующей тенденцией развития мирового сельского хозяйства на современном этапе является переход к новой парадигме землепользования, которая в качестве важнейшей составляющей включает расширение масштабов освоения адаптивных систем хозяйствования.

2. Адаптивные технологии по сравнению с преобладающими ныне техногенными технологиями ориентированы на максимальное использование возобновляемых природных ресурсов (солнечный свет, атмосфера и др.), что позволяет снижать себестоимость производства и улучшать качество продукции, соблюдать принципы природоохранности.

3. В практической работе по освоению адаптивных систем земледелия целесообразно руководствоваться следующими методологическими подходами:

– системообразующим звеном специализации и размещения аграрного производства следует считать не регион, а сельскохозяйственную организацию (фермерское хозяйство);

– необходимо соблюдать требования закона возврата, который гласит: «вещество и энергия, отчужденные из почвы, должны быть возвращены в нее с некоторым избытком»;

– при переходе к адаптивным системам необходимо максимально учитывать сложившийся производственно-экономический потенциал сельхозорганизации;

– необходимо квалифицированное и глубокое маркетинговое исследование перспективной конъюнктуры аграрного рынка, что позволит правильно определить производственную специализацию субъекта хозяйствования.

4. Переход к адаптивным системам ведения сельского хозяйства рекомендуется осуществлять поэтапно. Возможно выделить пять следующих этапов:



Рисунок 1. Алгоритм механизма поэтапного освоения адаптивных систем ведения сельского хозяйства

- 1) исследование и эколого-экономическая оценка природно-ресурсного потенциала хозяйства;
- 2) оценка производственно-экономического потенциала сельхозорганизации;
- 3) проведение маркетинговых исследований рынка;
- 4) составление плана мероприятий (бизнес-плана) по освоению адаптивных систем хозяйствования;
- 5) разработка организационно-управленческой структуры сельхозорганизации с учетом освоения адаптивных систем хозяйствования.

Предложенные принципы и алгоритм перехода к адаптивным системам следует применять творчески, с учетом особенностей природно-экономических и рыночных условий каждого субъекта хозяйствования

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Роль адаптивной интенсификации земледелия в повышении эффективности аграрного производства / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь; Академия аграрных наук Республики Беларусь; Белорусский научно-исследовательский институт земледелия и кормов. – Редкол.: В.Н. Шлапунов и др. – Жодино, 1998. – Т. II. – 319 с.

лики Беларусь; Белорусский научно-исследовательский институт земледелия и кормов. – Редкол.: В.Н. Шлапунов и др. – Жодино, 1998. – Т. II. – 319 с.

2. Адаптивные системы земледелия в Беларуси / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь; Академия аграрных наук Республики Беларусь. – Редкол.: В.С. Антонюк и др. – Минск, 2001. – 308 с.

3. Беларусь 2020: наука и экономика: Концепция комплексного прогноза научно-технического прогресса и приоритетных направлений научно-технической деятельности в Республике Беларусь на период до 2020 года / В.Г. Гусаков [и др.]; под ред. В.Г. Гусакова. – Минск: Белорусская наука, 2015. – 211 с.

4. Кадыров, М.А. О земледелии, селекции и рациональном хозяйствовании / М.А. Кадыров. – Мн.: Несси, 2001. – 163 с.

5. Прянишников, Д.Н. Об удобрении полей и сеяния на полях и сеяния // Избранные статьи. – Москва, 1962. – С. 28-37.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 12.05.2017

## Система микропроцессорного автоматизированного регулирования положения распределительной штанги относительно обрабатываемой поверхности

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

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



### Основные технические данные

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

# ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЗАГОТОВКИ ТРАВЯНЫХ КОРМОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**Н.С. Яковчик,**

директор ИПК и ПК АПК БГАТУ, докт. с.-х. наук, докт. экон. наук, профессор

**А.Э. Шибеко,**

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

**Н.Н. Быков,**

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

**С.Л. Кулагин,**

соискатель Академии управления при Президенте Республики Беларусь

**О.А. Карабань,**

ст. преподаватель каф. экономики и организации предприятий АПК БГАТУ, магистр экономических наук

*В статье проанализирована экономическая эффективность заготовки травяных кормов с использованием различных инновационных технологий в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь.*

*Ключевые слова:* технологии заготовки травяных кормов, производительность агрегатов, расход топлива, эксплуатационные затраты, экономическая эффективность.

*The article analyzes the economic efficiency of billet herbal feed using different innovative technologies in agricultural organizations of the Republic of Belarus.*

*Keywords:* technology, productivity forage grass blanks aggregates, fuel consumption, maintenance costs, and economic efficiency.

## Введение

Заготовка сельскохозяйственными организациями высококачественных травяных кормов в оптимальные агротехнические сроки является важнейшим условием высокоеффективного развития животноводческой отрасли. Для обеспечения производства 9,2 миллиона тонн молока к 2020 году с продуктивностью дойного стада не менее 6000 –7000 кг молока необходимо обеспечить общественное поголовье кормами на уровне 45-50 центнеров кормовых единиц в год на одну условную голову, из них травянистых кормов не менее 30-35 центнеров кормовых единиц. Заготовка сенажа в полимерную пленку ежегодно должна составлять не менее 15 % от общего объема травянистых кормов с энергетической питательностью 1 кг сухого вещества не менее 10 МДж, с концентрацией обменной энергии в 1 кг сухого вещества сена – 9-9,2 МДж, сенажа – 10,6-10,9 МДж, силиса – 10,5-10,8 МДж. Кроме того, должны быть соблюдены требования по содержанию сырого протеина в сухом веществе: сена на уровне 13-14 %, сенажа – 15-16 % и силиса – 14-15 % [1].

В комплексе мер по повышению качества заготовки травяных кормов и обеспечению животноводства растительным белком исключительно важную

роль играют технологии и техническое обеспечение уборки трав и заготовки кормов. Как свидетельствует практика, именно на этих этапах сельскохозяйственные организации республики теряют до 25 % биологического урожая. В условиях дефицита высокопроизводительной кормозаготовительной техники и ее дороговизны, низкой платежеспособности большинства сельскохозяйственных организаций при организации кормозаготовительных работ на первом плане возникает необходимость выбора экономически целесообразных вариантов комплектования кормоуборочных комплексов.

## Основная часть

Эффективность и конкурентоспособность производства кормов – главное условие стабильного развития отраслей животноводства, снижения себестоимости продукции, надежности и своевременности обеспечения сырьем предприятий перерабатывающей промышленности, достижения продовольственной безопасности страны и формирования экспортного потенциала, поскольку на долю кормов в структуре себестоимости молока и мяса КРС приходится от 45 до 60 % всех затрат.

Выбор наиболее рационального способа заготовки травяных кормов определяется качеством,

потерями исходного сырья и затратами на реализацию технологии.

Заготовка рассыпного сена – весьма трудоемкий процесс, отличающийся недостаточным уровнем механизации. По этой причине основная масса сена в сельскохозяйственных организациях заготавливается в прессованном виде. В результате в несколько раз сокращается потребность в хранилищах, уменьшаются транспортные расходы, повышаются качество и питательная ценность корма за счет снижения потерь лиственной части растений, неизбежных при выполнении многочисленных операций по заготовке рассыпного сена.

Реально снизить затраты энергоресурсов и себестоимости корма можно, максимально используя техническую производительность пресс-подборщиков.

Технология заготовки сенажа и силоса с упаковкой в полимерные материалы получила широкое распространение во всем мире, зарекомендовав себя как экономически эффективная, надежная и обеспечивающая стабильно высокие результаты. Для применения рекомендуется несколько разновидностей данной технологии:

- заготовка сенажа и травяного силоса путем прессования провяленных трав в рулоны рулонными пресс-подборщиками с последующей индивидуальной обмоткой рулонов пленкой;

- упаковка рулонов сенажа или травяного силоса в полимерный рукав диаметром 1,5 м;

- упаковка измельченной сенажной или силосной массы в полимерный рукав диаметром 2,7 м.

Каждый из этих способов имеет свою область применения, технические, технологические и эксплуатационные особенности и обеспечивает высокое качество получаемого корма, практически 100 %-й уровень механизации технологических процессов и неоспоримые преимущества по сравнению с традиционными способами заготовки.

Все три разновидности технологии заготовки кормов с упаковкой в полимерные рукава и пленки, кроме сохранения высокого качества корма, имеют целый ряд технологических и экономических преимуществ:

- заготовка кормов в меньшей мере зависит от погодно-климатических условий (процесс закладки можно без потерь приостановить на любой срок до наступления благоприятной погоды);

- для закладки кормов не требуется специальных хранилищ: корма, упакованные в рукава и пленку, могут храниться на любой подходящей по размеру площадке;

- потери питательных веществ при хранении не превышают биологически неизбежные (8-10 %);

- гарантийный срок хранения кормов в полимерной упаковке – не менее двух лет;

- процесс заготовки практически полностью механизирован (трудозатраты составляют 0,07-0,09 чел.-ч/т);

- высокое качество получаемого корма и его сохранность эквивалентны повышению продуктивности кормовых угодий и получению дополнительной продукции животноводства.

Описанные способы заготовки кормов позволяют снизить реальные потери, сохранить качество, уменьшить затраты на заготовку и хранение в сравнении с традиционным траншейным способом, а главное – уменьшить общие потери:

- сухого вещества – на 6 %;

- протеина – на 14,5 %;

- кормовых единиц – на 9,5 %.

Это дает возможность дополнительно получить около 1 т молока или 120 кг мяса КРС с 1 га угодий [2].

При заготовке сена в рассыпанном виде потери могут достигать 50 %, а в прессованном – от 15 до 20 %, сенажа из провяленных трав с хранением в траншейных хранилищах – от 14 до 20 %. Самые минимальные потери от 6 до 8 % достигаются при заготовке травяных кормов с хранением в полимерных материалах [4].

Экономическая эффективность кормоуборочных машин с учетом технических характеристик способов заготовки сена в прессованном виде представлена в таблице 1.

Эксплуатационные затраты с применением прессса-подборщика Торнадо РППО 445.02 составляют:

вариант 1)  $28,5 - 7,4 = 21,1$  руб/т; а с применени-

**Таблица 1. Производительность, расход топлива и эксплуатационные затраты при заготовке сена в прессованном виде с применением пресс-подборщиков различных марок**

Технологическая операция	Марка трактора	Марка с.-х. машины	Производительность, га/ч (т/ч)	Расход топлива, л/га, л/т	Эксплуатационные затраты, руб/т
Скашивание	УЭС-2-250	КПР-9	7	0,23	1,1
Сгребание	Беларус 820	ГР-700П	7,4	0,12	0,4
Ворошение	Беларус 820	ГР-700П	7,4	0,12	0,4
Прессование (вариант 1)	Беларус 1221	Торнадо РППО 445.02	19	1,26	14,0
Прессование (вариант 2)	Беларус-2022	ПТ-800	24	1,25	7,4
Погрузка и транспортировка рулонов	Беларус 1221	ТП-10-1	12	0,75	3,7
Скирдование сена	Беларус 820	ПСН-1	11	0,73	1,5
Итого					28,5

ем пресса-подборщика типа ПТ-800 равны:  
вариант 2)  $28,5 - 14,0 = 14,5$  руб/т.

Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что производительность пресс-подборщика марки ПТ-800 на 26,3 % выше, а эксплуатационные затраты меньше на 6,6 руб/т пресс-подборщика типа Торнадо РППО 445.02.

Следовательно, заготовка сена в прессованном виде с применением пресс-подборщика марки ПТ-800 экономически более целесообразна.

Показатели экономической эффективности заготовки сенажа в рулонах с упаковкой в пленку различными вариантами представлены в таблице 2.

Эксплуатационные затраты при заготовке сенажа в рулонах с упаковкой в пленку с применением комбинированного пресса-подборщика марки Торнадо РППО 445.02 составляют:  $21,3 - 3,9 - 1,4 = 16,0$  руб/т, а с применением пресс-подборщика типа ПРП-150 и обмотчика рулонов марки ОРС-2 равны:  $21,3 - 6,4 = 14,9$  руб/т. Таким образом, учитывая, что эксплуатационные затраты на 1 т сенажа с использованием пресс-подборщика типа ПРП-150 и обмотчика рулонов марки ОРС-2 ниже на 1,1 руб/т, его применение более экономически оправдано, чем пресс-подборщик марки Торнадо РППО 445.02.

По данным Института системных исследований в АПК НАН Беларусь:

- порог эффективного производства сена многолетних трав формируется с концентрацией посевов 100–125 га на хозяйство при урожайности не менее 50–55 ц/га и выходе продукции на 1 балло-гектар не менее 155–185 кг с уровнем материально-денежных затрат на 1 га посевов 155–175 долл. США и себестоимостью 1т – 8-30 долл. США;

- порог эффективного производства зеленої массы многолетних трав формируется с концентрацией посе-

вов 450-500 га на хозяйство при урожайности не менее 400-450 ц/га и выходе продукции на 1 балло-гектар не менее 1000-1150 кг, с уровнем материально-денежных затрат на 1 га посевов порядка 280-330 долл. США и себестоимостью 1 т – 7,0-7,5 долл. США [3].

Для оценки сравнительной экономической эффективности заготовки сена в прессованном виде при использовании пресс-подборщиков различных марок приведен укрупненный расчет эксплуатационных затрат на 100 га многолетних трав, поскольку порог эффективного производства сена формируется с концентрацией посевов на уровне 100-120 га на сельскохозяйственную организацию и урожайности не менее 50-55 ц/га (табл. 3).

Таким образом, вышеупомянутые данные свидетельствуют об экономической целесообразности заготовки прессованного сена с применением пресс-подборщиков марки ПТ-800, поскольку экономия затрат на 100 га уборочной площади многолетних трав составляет 330 долл. США.

Аналогичным образом рассчитана сравнительная экономическая эффективность заготовки сенажа в рулонах с упаковкой в пленку и крупногабаритных рукавах (табл. 4).

Следовательно, заготовку сенажа в рулонах с упаковкой в пленку экономически целесообразнее производить с применением пресс-подборщика марки ПРП-150 и обмотчика марки ОРС-2, поскольку эксплуатационные затраты на каждые 100 га уборочной площади многолетних трав ниже на 1823 долл. США.

При выборе вариантов комплектования кормоуборочных комплексов должны учитываться концентрация посевов, урожайность сельскохозяйственных культур и финансовые возможности сельскохозяйственных организаций.

**Таблица 2. Экономические показатели заготовки сенажа в рулонах с упаковкой в пленку двумя вариантами**

Технологическая операция	Марка трактора	Марка с.-х. машины	Производительность, га/ч (т/ч)	Расход топлива, л/га, л/т	Эксплуатационные затраты, руб/т
Скашивание	УЭС-2-250	КПР-9	7	0,23	1,1
Сгребание	Беларус 820	ГР-700П	7,4	0,12	0,4
Ворошение	Беларус 820	ГР-700П	7,4	0,12	0,4
Прессование (вариант 1)	Беларус-2022	Торнадо РППО 445.02	42	0,57	6,4
Прессование (вариант 2)	Беларус 1221	ПРП-150	17,1	0,74	3,9
Обмотка рулонов (вариант 2)	Беларус 820	ОРС-2	17,1	0,50	1,4
Погрузка рулонов	-	Амкодор 332 с захватом	12	0,92	2,9
Транспортировка рулонов	Беларус 1221	ПТК-10	15	0,93	1,9
Складирование рулонов	-	Амкодор 332 с захватом	12	0,92	2,9
Итого					21,3

**Таблица 3. Показатели экономической эффективности заготовки сена в прессованном виде при различных технологиях**

Показатели	Ед. изм.	Марка пресс-подборщика	
		Торнадо РППО 445.02 (вариант 1)	ПГ-800 (вариант 2)
Уборочная площадь	га	100	100
Выход сена с 1 га	т	5,25	5,25
Валовой сбор сена	т	525	525
Эксплуатационные затраты на 1 т	руб.	21,1	14,5
Эксплуатационные затраты на 100 га уборочной площади	руб.	2110	1450
Эксплуатационные затраты на 100 га уборочной площади	долл. США	1055	725
Экономия затрат	долл. США	-	330

**Таблица 4. Сравнительная экономическая эффективность заготовки сенажа в рулонах с упаковкой в пленку различными агрегатами**

Показатели	Ед. изм.	Марка агрегата	
		Торнадо РППО 445.02 (вариант 1)	ПРП-150+обмотчик ОРС-2 (вариант 2)
Уборочная площадь	га	100	100
Урожайность зеленої массы многолетних трав (3 укоса)	ц/га	425	425
Валовой сбор зеленої массы	т	4250	4250
Валовой сбор сенажной массы	т	3315	3315
Эксплуатационные затраты на 1 т сенажной массы	руб/т	16,0	14,9
Затраты на 100 га уборочной площади многолетних трав	руб.	53040	49394
Затраты на 100 га уборочной площади многолетних трав	долл. США	26520	24697
Экономия затрат	долл. США	-	1823

### Заключение

Проведенная оценка экономической эффективности инновационных технологий заготовки травяных кормов позволяет сделать следующие выводы.

1. В настоящее время в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь применяются различные технологии заготовки травяных кормов. Современный период развития сельскохозяйственного производства отличается от всех предыдущих ростом стоимости материальных ресурсов, вкладываемых в развитие кормопроизводства. Низкий уровень платежеспособности большинства сельскохозяйственных организаций при принятии управленических решений специалистами вызывает необходимость сравнения экономической эффективности внедрения инновационных технологий заготовки травяных кормов.

2. При заготовке рассыпного сена технологические потери составляют до 50 %, прессованного – до 20 %, сенажа с хранением в траншейных хранилищах – до 20 % по сравнению с хранением сенажа в полимерных материалах, где потери составляют от 6 до 8 %.

3. Применение при заготовке сена пресс-подборщиков марки ПГ-800 и ПРП-150 является более экономически целесообразным по сравнению с применением пресс-подборщика тюкового марки Торнадо РППО 445.02, так как на каждых 100 га убо-

рочной площади многолетних трав достигается экономия затрат в 330 долл. США.

4. Сравнение экономической эффективности вариантов заготовки сенажа в рулонах с упаковкой в пленку с применением пресс-подборщика марки ПРП-150 и обмотчика ОРС-2 (вариант 2) по сравнению с пресс-подборщиком Торнадо РППО 445.02 (вариант 1) на 100 га уборочной площади многолетних трав показывает преимущество использования пресс-подборщика второго варианта, так как эксплуатационные затраты меньше на 1823 долл. США по сравнению с первым вариантом.

Выбор оптимальных вариантов применения кормозаготовительной техники позволит сельским товаропроизводителям сохранить качество, сократить сроки и повысить экономическую эффективность заготавливаемых кормов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016-2020 годы. – Минск, 2016. – 54 с.

2. Бречко, Я. Анализ современного состояния производства травяных кормов из многолетних и однолетних трав на пашне Республики Беларусь /

Я. Бречко, А. Головач, Е. Седнев // Аграрная экономика. 2015. – № 8. – С. 62–70.

3. Научные принципы регулирования развития АПК: предложения и механизмы реализации / В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларусь, 2016. – 164 с.

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

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 19.04.2017

УДК 338.43:637.1

## **ВЛИЯНИЕ ПРОДУКТИВНОГО ДОЛГОЛЕТИЯ КОРОВ НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА МОЛОКА**

**О.А. Карабань,**

ст. преподаватель каф. экономики и организации предприятий АПК БГАТУ, магистр экон. наук

*В статье рассматривается экономическая целесообразность увеличения продуктивного долголетия коров. Представлены расчеты зависимости затрат и прибыли от количества лактаций. Обоснованы факторы, влияющие на продуктивное долголетие коров, а также их влияние на себестоимость производства молока.*

*Ключевые слова:* **продуктивное долголетие коров, кормление, здоровье, условия содержания, производство молока, себестоимость, экономическая эффективность.**

*The article considers the economic feasibility of increasing the productive longevity of cows. Calculations of the dependence of costs and profits on the number of lactations are presented. The factors influencing productive longevity of cows, and also their influence on the cost price of milk manufacture are proved.*

*Keywords:* **productive longevity of cows, feeding, health, living conditions, milk production, prime cost, economic efficiency.**

### **Введение**

Актуальной проблемой для сельскохозяйственных организаций, производящих молоко на молочно-товарных комплексах, работающих на промышленной основе, а это 60 % общереспубликанского производства, является большой процент непроизводительного выбытия коров по различным причинам в наиболее продуктивный период, что является сдерживающим фактором увеличения объемов производства и повышения экономической эффективности развития молочной отрасли.

### **Основная часть**

Государственной программой развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016-2020 годы предусмотрено достижение объемов производства молока к 2020 году на уровне не менее 9200 тыс. тонн, для чего планируется увеличение численности поголовья коров молочных пород. Мероприятиями, проводимыми в ходе реализации подпрограммы 4 (Развитие племенного дела в животноводстве), предполагается достижение генетического потенциала в молочном скотоводстве до 11,5 тыс. кг молока от одной коровы в год, использование в воспроизводстве ремонтных телок – до 450 тыс. голов, получение на 100 голов маточного поголовья крупного рогатого скота молочных пород – до 90 телят [1].

По материалам исследований, проведенных в РУП «НПЦ НАН Беларусь по животноводству» на базе 12 крупнотоварных сельхозорганизаций Республики Беларусь с высоким уровнем продуктивности коров, установлено, что животные используются в среднем двух, семи лактаций (табл. 1).

Наиболее частыми причинами выбытия коров из основного стада являются маститы (20,5 %), нарушения обмена веществ (17,1 %), трудные роды и послеродовые осложнения (17,0 %), болезни копытец (13,5 %).

Заболевание молочной железы, которое происходит, как правило, из-за несоблюдения работниками молочно-товарных ферм технологических регламентов, а именно: правил машинного доения, кормления, запуска и условий содержания, становится причиной выбраковки молодых и высокопродуктивных коров.

Высокая молочная продуктивность сопровождается увеличением нагрузки на обменные процессы в организме и предъявляет повышенные требования к качеству кормов, организации полноценного кормления, содержанию и ранней диагностике нарушений метаболизма. Использование концентратов свыше 50 % нарушает соотношение питательных веществ в рационе, снижает процент сырой клетчатки в сухом веществе (СВ) ниже допустимого уровня, что приводит, как правило, к серьезным нарушениям рубцового пищеварения.

Высокий уровень выбытия коров после отела подтверждает значительное влияние человеческого фактора: нарушения правил кормления нетелей, су-

**Таблица 1. Среднее количество лактаций у высокопродуктивных коров в крупнотоварных сельскохозяйственных организациях за 2015 г.**

Название сельхозорганизации	Количество коров	Средний удой на 1 корову, кг	Количество лактаций
СПК «Остромечево»	3055	8339	2,7
ГУСП «Племзавод Мухавец»	1075	6652	3
РУП «Витебскэнерго» (ф-л «Весна-энерго»)	372	6249	2,3
СПК «Лариновка»	609	8787	3,2
РСПУП СГЦ «Заречье»	620	9179	2,9
КСУП с-к «Заря»	516	8053	2,9
РУСП «Племзавод Россь»	2510	5518	2,6
СПК «Свислочь»	906	8722	2,8
СПК «Агрокомбинат Снов»	4102	9544	2,5
РУСП «Племзавод Красная звезда»	3651	5757	1,6
РУП «Учхоз БГСХА»	998	6069	3
СПК «Овсянка»	1315	6340	2,5
Итого:	19729		2,7

Источник: данные РУП «НПЦ НАН Беларусь по животноводству» за 2015 г.

хостойных и новорожденных коров; несвоевременное лечение; неграмотное родовспоможение; ошибки, допущенные при выращивании молодняка и т.д.

Болезни копытец у коров довольно часто происходят из-за некачественного или недостаточного кормления, травм, инфекций, нарушения технологии конструкции полов в стойлах, отсутствия мягкой подстилки. Из-за сырости и других ненадлежащих гигиенических условий, дефекты и ссадины могут инфицироваться, в результате чего развиваются тяжелые формы заболеваний копытец, сопровождающиеся сильной болью и, как следствие, снижением аппетита и падением молочной продуктивности. Несбалансированное кормление животных, недостаток минеральных веществ, рацион с низким содержанием клетчатки приводят к заболеваниям копытец и хромоте с последующей выбраковкой животных.

Таким образом, с ростом продуктивности изменяется соотношение выбытия коров по разным причинам. При этом в 2-3 раза снижается выбраковка из-за низкой продуктивности, что приводит к разному

уровню окупаемости материально-денежных средств, вкладываемых в развитие отрасли.

Оценка эффективности производства молока в зависимости от удоя на 1 корову приведена в табл. 2.

Таблица составлена автором публикации на основе данных годовых отчетов сельскохозяйственных организаций Минской области за 2015 год.

Курс белорусского рубля по отношению к доллару США, установленный Национальным банком Республики Беларусь на 31.03.2017 г., составлял 1,8720 руб.

Из таблицы видно, что с увеличением продуктивности коровы на ее содержание

затрачивается больше материально-денежных средств. В группе сельхозорганизаций с продуктивностью 5001-6000 кг темп роста материально-денежных затрат превышает темп роста удоя и производственная себестоимость 1 т молока выше, чем в предыдущей группе. В то же время в остальных группах наблюдается тенденция снижения себестоимости 1 т молока при росте продуктивности. Проведем расчет затрат, выручки и прибыли в зависимости от срока хозяйственного использования коровы. Для определения выручки использована реализационная цена 1 т молока сорта «экстра» (277,8 долл. США). Затраты на выращивание 1 нетели, включая затраты на осеменение, составляют 1122 долл США. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Из данных табл. 3 следует, что корова с продуктивностью до 5452 кг молока в год, выбываемая из стада до 4-й лактации, для сельхозорганизации убыточна, т.к. затраты за все лактации, включая затраты на выращивание нетели, превышают выручку от продажи молока.

**Таблица 2. Группировка сельскохозяйственных организаций Минской области по удою на 1 корову за 2015 г.**

Показатели	Группы сельскохозяйственных организаций по удою на 1 корову, кг					
	до 3000	3001-4000	4001-5000	5001-6000	6001-7000	свыше 7000
Количество сельхозорганизаций в группе	34	55	57	36	25	12
Удой на 1 корову, кг	2 520	3 483	4 478	5 452	6 436	7 915
Материально-денежные затраты на 1 голову, долл. США	652,6	836,0	990,1	1 251,9	1 361,2	1 500,6
Темп роста удоя, %	-	1,38	1,29	1,22	1,18	1,23
Темп роста материально-денежных затрат, %	-	1,28	1,18	1,26	1,09	1,10
Производственная себестоимость 1 т молока, долл. США	223,8	210,1	195,3	203,2	186,2	167,8

**Таблица 3. Зависимость затрат и прибыли от количества лактаций**

Показатели	Средняя продуктивность 1 коровы, кг															
	4478				5452				6436				7915			
Количество лактаций, лет	3	4	5	6	2,7	3	4	5	2,7	3	4	5	2,7	3	4	5
Выручка за год, долл. США	1243,9				1514,4				1787,8				2198,6			
Выручка за все лактации, долл. США	3732	4976	6219	7463	4089	4543	6058	7572	4827	5363	7151	8939	5936	6596	8794	10993
Затраты за год, долл. США	990,1				1251,9				1361,2				1500,6			
Затраты за все лактации, включая затраты на выращивание, долл. США	4092	5082	6073	7063	4502	4878	6130	7382	4797	5206	6567	7928	5174	5624	7124	8625
Прибыль за все лактации, долл. США	-360	-106	146	400	-413	-335	-72	190	30	157	584	1011	762	972	1670	2368

*Таблица составлена автором на основе данных годовых отчетов сельскохозяйственных организаций Минской области за 2015 год*

Вышеприведенные данные показывают, что коровы с продуктивностью свыше 6436 кг молока в год даже за 2,7 лактации приносят прибыль хозяйству в размере 30 долл. США. При этом четко прослеживается зависимость суммы прибыли от количества лактаций, что свидетельствует о более высокой окупаемости вкладываемых ресурсов. Продлив срок хозяйственного использования коровы с продуктивностью 6000 кг и более до 5 лактаций, дополнительно от 1 коровы можно получить не менее 1011 долл. США прибыли в зависимости от продуктивности, не считая полученного приплода.

Более длительный период хозяйственного использования животных в стаде увеличивает количество лактаций высокопродуктивных коров, которые положительно влияют на экономические показатели развития молочной отрасли.

Таким образом, продуктивное долголетие несет прямую выгоду сельхозорганизациям, но при этом требует дополнительных инвестиций. Результаты отложений в длительное использование животных окупаются не так быстро, но позволяют получить больше прибыли в долгосрочной перспективе.

Рассмотрим основные факторы, влияющие на продуктивное долголетие коров:

### 1. Рост в молочный период

Продуктивность и здоровье коров отсчитываются с момента рождения, а не с первого отела, как принято считать. Роль этапа выращивания телят во много раз существеннее, чем роль их наследуемых качеств и молочный период является фазой, когда формируется продуктивность и возможности для полного раскрытия генетического потенциала. Получение более высокой продуктивности в первую лактацию объясняется наследственностью только на 7%, скоростью роста в молочный период – на 22% [2].

Главной особенностью в выращивании телят является быстрое развитие рубца, что позволяет сократить использование цельного молока и перейти на эко-

номически выгодные грубые и концентрированные корма. Добиться этого можно обязательным выпаиванием молозива в количестве 4 л в течение первых двух часов после рождения и дальше по схеме, а также вводом с третьего дня жизни хорошего стартерного корма. Масса теленка за 60 дней выращивания должна, как минимум, удвоиться. Каждый дополнительный килограмм привеса, полученный до отъема, дает до 750 кг молока за лактацию (данные ведущего специалиста по кормлению животных ЗАО «Экомол АгроВ.В. Переднева). Получение суточных привесов на уровне 800-900 г. позволяет сформировать телку с хорошей конституцией, способную реализовать генетический потенциал в условиях промышленной технологии. Весьма важно обеспечить оптимальный рост и развитие нетелей и ремонтных телок, чтобы их живая масса к первому отелу достигала 560 кг, так как при одинаковой концентрации обменной энергии в 1 кг сухого вещества от коров живой массой 400 кг можно получить 15 кг молока в сутки, с массой тела 500 кг – 20 кг, 600 кг – 25 кг, 700 кг – 35 кг соответственно.

Сопоставление традиционного и интенсивного методов выращивания молодняка показывает, что дополнительные затраты на корма составляют 65 долл. США на голову, а экономия на затратах труда, ветеринарном обслуживании и общем ущербе от недопущения падежа телят составляет около 117 долл. США на голову. С учетом того, что дополнительная выручка от повышения продуктивности первотелок составляет 180 долл. США на голову, суммарный эффект от внедрения интенсивной технологии содержания телят равен 232 долл. США на голову [2].

### 2. Кормление

В настоящее время в сельхозорганизациях республики используется сенажно-силосный и силосно-сенажный типы кормления. Высокопродуктивные животные предъявляют повышенные требования к полноценности кормления, поскольку обмен веществ

у них протекает на высоком уровне и нарушение его происходит достаточно часто. Несбалансированность рационов и низкое качество скармливаемых кормов являются основными причинами нарушений обмена веществ у высокопродуктивных коров, что приводит к увеличению яловости, рождению слабых телят, снижению устойчивости к заболеваниям, уменьшению живой массы и молочной продуктивности, ухудшению качества молока, и, как следствие, к преждевременной выбраковке животных.

В структуре рационов для высокопродуктивных коров с годовым удоем свыше 7000 кг молока в пик лактации концентрированные корма не должны превышать более 55 % по питательности. При этом разовая дача не должна быть более 2,0 кг.

Для увеличения хозяйственного использования животных и повышения воспроизводственных способностей особое внимание следует уделять качеству скармливаемых объемистых кормов. Рационы из высококачественных объемистых кормов с концентрацией обменной энергии (ОЭ) в СВ на уровне 10-11 МДж и содержанию сырого протеина в СВ в пределах 18-20 % в пастбищный и стойловый периоды даже без концентратов могут обеспечить суточный удой до 20 кг. Включение в рацион до 40-45 % высокозерновых комбикормов с концентрацией обменной энергии (КОЭ) 12-13 МДж обеспечивает удой на уровне 30-35 кг у высокопродуктивных коров. При хорошем качестве объемистых кормов с КОЭ 9-10 МДж и сырого протеина (СП) в СВ 14-15 % можно получить не более 15 кг молока от коровы. Включение в такой рацион 30-40 % высокозерновых и высокобелковых комбикормов (КОЭ 12 МДж и СП 16-18 %) обеспечивает удой до 20-25 кг и выше. Чем хуже качество объемистых кормов, тем больше высококачественных комбикормов нужно скармливать животным для обеспечения высокой продуктивности. Повышение качества объемистых кормов снижает расход концентратов для получения высокой продуктивности на 20-50 % [3, 7].

Для высокопродуктивных коров в сухом веществе рационов оптимальное содержание клетчатки должно составлять 18-22 %. Снижение клетчатки ниже 15 % сопровождается нарушением процессов пищеварения, снижением жира в молоке. Необходимо увеличить скармливание грубых кормов и снизить потребление концентрированных и сочных кормов. В течение трех-четырех недель после отела в рацион животного нужно вводить кормовые добавки на основе пропиленгликоля, чтобы избежать отрицательного энергетического баланса. Нарушение соотношения минеральных веществ в рационе могут привести к родильному парезу. При дефиците протеина в рационе снижается переваримость питательных веществ, а у растущих животных замедляется рост, снижается развитие внутренних органов, задерживается половое созревание, уменьшается иммунитет, появляются различные заболевания. При белковом перекорме с одновременным дефицитом в рационе углеводов, макро- и микроэлементов изменяются процессы сбраживания клетчатки в рубце, количество масляной

кислоты возрастает в 2 раза, резко уменьшается образование пропионовой кислоты.

Чтобы сократить затраты на кормление дойных коров необходимо оптимизировать кормовой рацион. При этом его основу должны составлять объемистые травяные корма хорошего качества, себестоимость которых в 2-3 раза ниже по сравнению с концентрированными кормами. Необходимо максимально использовать пастбищную траву, которая отличается низкой себестоимостью, высоким содержанием сырого протеина (16-20% в СВ) и концентрацией обменной энергии (10,5-11 МДж/кг СВ).

Высококачественные корма окупаются хорошим здоровьем животных и, как следствие, увеличением срока их хозяйственного использования, получением более дешевого молока, что в конечном результате обеспечивает более эффективное развитие молочной отрасли.

### 3. Здоровье и устойчивость к заболеваниям

В условиях ведения молочного скотоводства на промышленной основе, наряду с высокой продуктивностью, животное должно быть стрессоустойчивым.

Правильный уход, хорошее кормление и микроклимат способствуют здоровью коров и являются гарантом высокой продуктивности. Процент наследования хорошего здоровья у животных не высокий, но в племенной работе в сочетании с генетической изменчивостью эта характеристика очень важна [4]. Воспроизводительные способности коров, смертность телят из-за отклонений в развитии со стороны отца и матери, устойчивость к маститу и устойчивость к другим болезням служат показателями, которые характеризуют здоровье животного.

Еще одним затратным заболеванием, как с точки зрения экономики хозяйства, так и с позиции благополучия коровы, является хромота. Денежная сторона вопроса подразумевает потери в надоях, затраты на лечение, ухудшение показателей воспроизводства и преждевременную выбраковку. Профилактика ортопедических болезней должна проводиться постоянно. Функциональную расчистку копытец необходимо начинать с нетелей и не позднее 6 месяцев стельности у коров; проводить не реже 3 раз в год при бесприязвенно-выгульном содержании и один раз в 6 месяцев при стойлово-пастбищном содержании. После расчистки используются дезинфицирующие ванны [5].

Для профилактики мастита и получения молока высокого качества существует целая система мероприятий. Она включает в себя проведение диагностики, работу только в одноразовых перчатках, использование одноразовых бумажных салфеток, необходимость обработки сосков дезинфицирующим раствором на основе хлоргексидина до и после снятия дойльных стаканов, строгое соблюдение времени на подготовку коровы к доению и др.

Для оценки экономических потерь, связанных с маститом и хромотой, зарубежными учеными было проведено множество исследований, и большинство

из них показало, что на каждый случай заболевания затрачивается несколько сотен долларов.

#### **4. Условия содержания и технология доения**

Необходимо обеспечивать и контролировать все параметры, способствующие комфорtnому содержанию коров: соблюдение заданной периодичности кормления и доения, постоянный свободный доступ к качественной воде, параметры вентиляции и освещения, своевременное навозоудаление, общую гигиену животноводческих помещений, уделять значительное внимание заботе о здоровье коров, об отсутствии у них стресса. Когда корова находится в состоянии стресса, в ее кровь выделяется гормон адреналин, который, попадая в кровеносную систему, сокращает действие гормона окситоцина, что оказывает отрицательное воздействие на молокоотдачу и продуктивность.

Огромное влияние на срок хозяйственного использования коров оказывает технология доения. Результаты проведенных исследований и практический опыт показывают, что примерно 25–30 % коров в наших стадах не соответствуют требованиям пригодности к машинному доению, в связи с чем у животных часто возникают проблемы со здоровьем вымени (например, маститы). На характеристики доения (интенсивность молокоотдачи, степень скольжения по соску, продолжительность доения, качество механического воздействия на соски, состояние вымени животного) больше, чем любой другой фактор, влияет конструкция сосковой резины. Следовательно, чтобы доение проходило быстро, с максимальной полнотой, и при этом сосок не пережимался и не повреждался, резина должна быть высокого качества и правильно эксплуатироваться [6].

Необходимо соблюдать время обработки вымени, чтобы дезинфицирующее средство уничтожило микробы на сосках и началось действие гормона окситоцина (не менее 40 с). При несоблюдении этого правила происходит сухое доение, что негативно сказывается на здоровье животных и приводит к их непроизводительному выбытию из стада.

Создание комфортных условий для коров и внедрение передовых методов содержания, направленных на сохранение здоровья, обеспечение благополучия животных и увеличение продуктивности, не только улучшает условия работы обслуживающего персонала, но и приносит прибыль.

Управление факторами, влияющими на продуктивное долголетие коров, позволит значительно увеличить срок использования животных за счет проведения организационных, технологических и зооветеринарных мероприятий.

#### **Заключение**

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для минимизации факторов, влияющих на продолжительность хозяйственного и племенного исполь-

зования, необходимо переходить на систему интенсивного выращивания телят и телок, балансировать рацион по всем питательным веществам, проводить профилактические мероприятия инфекционных заболеваний, создавать в животноводческих помещениях комфортные условия содержания животных, строго следить за исправностью доильного оборудования и соблюдением технологических регламентов, повышать квалификацию обслуживающего персонала.

2. Длительное использование животных на молочно-товарных фермах с промышленной технологией производства молока дает возможность вести расширенное воспроизводство стада, проводить генетическое совершенствование животных, сокращать материальные затраты на их выращивание, повышать производство продукции и снижать окупаемость вкладываемых ресурсов. Продлив срок хозяйственного использования коровы с продуктивностью 6000 кг и более до 5 лактаций, дополнительно от одной коровы можно получить не менее 1011 долл. США прибыли только от продуктивности, не считая полученного приплода.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.msdp.gov.by/programms>. – Дата доступа: 02.03.2017
2. Влияние содержания и кормления молодняка на пожизненную продуктивность молочного скота [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.delaval.ru>. – Дата доступа: 19.11.2016.
3. Яковчик, Н.С. Кормление и содержание высокопродуктивных коров / Н.С. Яковчик, А.М. Лапотко. – Молодечно, 2005. – 287 с.
4. Казаровец, Н.В. Племенная работа, кормление и содержание высокопродуктивных молочных коров / Н.В. Казаровец, Н.С. Яковчик, П.П. Ракецкий. – Мин.: БГАТУ, 2016. – 564 с.
5. Организационно-технологические требования при производстве молока на молочных комплексах промышленного типа. Республиканский регламент, 2014
6. Технология машинного доения и контроль качества молока / И. В. Брыло [и др.]. – Мин.: НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства, 2017. – 195 с.
7. Лапотко, А. М. Организация полноценного кормления дойного стада с продуктивностью 7-10 тыс. кг молока в год / А. М. Лапотко // Технология кормопроизводства, обеспечение скота качественными кормами и белком и увеличение на этой основе производства молока и мяса: материалы семинара-учебы руководящих кадров АПК (Горки, январь 2012 г., БГСХА). – Мин., 2012. – С. 180-195.

**ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 30.01.2017**

# Правила для авторов

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

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

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

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

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

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

**Учреждение образования**  
**«Белорусский государственный аграрный технический университет»**  
**объявляет прием в аспирантуру в 2017 году**  
**по следующим специальностям:**

- 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»  
05.20.02 «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве»  
05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве»  
05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в сельском хозяйстве)»  
05.14.08 «Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии»  
08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством»  
05.05.03 «Колесные и гусеничные машины»  
05.18.12 «Процессы и аппараты пищевых производств»  
05.26.01 «Охрана труда (сельское хозяйство и перерабатывающая промышленность в АПК)»

**Прием документов – с 1 августа по 30 сентября 2017 г.**

**Вступительные экзамены по специальной дисциплине в объеме учебной программы I ступени высшего образования – с 10 по 21 октября 2017 г.**

**Начало занятий в аспирантуре – с 1 ноября 2017 г.**

Поступающие в аспирантуру представляют в приемную комиссию следующие документы:

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

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

**Подробная информация на сайте БГАТУ: new.batu.edu.by  
и по телефону аспирантуры (017) 385 91 07.**

**Адрес приемной комиссии:  
220023, г. Минск, пр-т Независимости, 99, к. 5-1, каб. 504**



9 772078 713007

17003