



ISSN 2078-7138

# АГРОПАНОРАМА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

**№ 5**  
**октябрь**  
**2021**

*Определение глубины колеи под сдвоенными задними колесами трактора «БЕЛАРУС-2022.5» на суглинке*

*Анализ результатов экспериментальных исследований сортирования семян льна*

*Расчет предельных механических и электро-механических характеристик при частотном регулировании скорости в разомкнутой системе преобразователь частоты-асинхронный двигатель*

*Оценка технического состояния форсунок топливной системы COMMON RAIL на примере трактора «БЕЛАРУС» с двигателем Д-243.5S3В*



**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И  
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Агроэнергетический факультет**

***Уважаемые коллеги!***

**Приглашаем Вас принять участие в работе  
Международной научно-технической конференции**

***«ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ - ВАЖНЕЙШЕЕ  
УСЛОВИЕ ИННОВАЦИОННОГО  
РАЗВИТИЯ АПК»***,

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

***21 - 22 декабря 2021 г.***

**Основные направления работы конференции:**

- ***Энергообеспечение АПК***
- ***Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии в АПК***
- ***Электротехнологии и электрооборудование в АПК***
- ***Автоматизация технологических процессов в АПК***
- ***Функциональные материалы и перспективные технологии в энергетике***

**г. Минск, пр-т Независимости, 99, корпус 1**

**Контактные телефоны: (+ 375 17) 326-04-25**

**факс (+375 17) 258-41-16**

**E-mail: [aef-bsatu@yandex.by](mailto:aef-bsatu@yandex.by)**

**[www.bsatu.by](http://www.bsatu.by)**

# АГРОПАНОРАМА 5 (147) октябрь 2021

Издается с апреля 1997 г.

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

*Учредитель*

*Белорусский государственный  
аграрный технический университет*

Главный редактор

Николай Николаевич Романюк

Заместитель главного редактора  
Игорь Степанович Крук

Редакционная коллегия:

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

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

*Компьютерная верстка  
В.Г. Леван*

Адрес редакции:

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

Прием статей и работа с авторами:

Минск, пр-т Независимости, 99/5, к. 602, 608  
Тел. (017) 385-91-02, 355-22-14  
Факс (017) 272-25-71  
E-mail: [AgroP@bsatu.by](mailto:AgroP@bsatu.by)

БГАТУ, 2021.

Формат издания 60 x 84 1/8.

Подписано в печать с готового оригинала-макета 25.10.2021 г. Зак. № 736 от 21.10.2021 г.

Дата выхода в свет 29.10.2021 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 2-е п/г 2021 г.:

для индивидуальных подписчиков - 34,32 руб.;

ведомственная - 36,03 руб.;

Цена журнала в киоске БГАТУ - 10,06 руб.

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### **Сельскохозяйственное машиностроение. Металлообработка**

**А.И. Бобровник, Т.А. Варфоломеева, М.М. Дечко,  
Н.Н. Зезетко**

Определение глубины колеи под сдвоенными задними колесами трактора «БЕЛАРУС-2022.5» на суглинке.....2

**И.Н. Шило, В.М. Поздняков, С.А. Зеленко**

Анализ результатов экспериментальных исследований сортирования семян льна.....9

### **Энергетика. Транспорт**

**М.А. Прищепов, Е.М. Прищепова**

Расчет предельных механических и электромеханических характеристик при частотном регулировании скорости в разомкнутой системе преобразователь частоты-асинхронный двигатель.....15

**С.М. Барайшук, И.А. Павлович, М.Х. Муродов,  
Х. Абдулхаев, А.Н. Скрипко**

Снижение сопротивления заземляющих устройств применением обработки грунта неагрессивными к материалу заземлителя стабилизирующими влажностью добавками.....28

### **Технический сервис в АПК. Экономика**

**Д.А. Жданко, О.О. Мухля**

Оценка технического состояния форсунок топливной системы COMMON RAIL на примере трактора «БЕЛАРУС» с двигателем Д-243.5S3В.....34

**Т.А. Тетеринец**

Интегральная оценка рисков развития человеческого капитала в проекции городского и сельского населения Беларуси.....39

**К.В. Борель**

Тенденции развития производства и реализации картофеля в Республике Беларусь.....43

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ КОЛЕИ ПОД СДВОЕННЫМИ ЗАДНИМИ КОЛЕСАМИ ТРАКТОРА «БЕЛАРУС-2022.5» НА СУГЛИНКЕ

**А.И. Бобровник,**

профессор, докт. техн. наук

**Т.А. Варфоломеева,**

ст. преподаватель каф. тракторов и автомобилей БГАТУ

**М.М. Дечко,**

инженер планово-диспетчерского отдела ЛМЗ «Универсал», канд. техн. наук, доцент

**Н.Н. Зезетко,**

гл. конструктор ОАО «Минский тракторный завод», канд. техн. наук, доцент

*В статье исследована схема нагружения заднего моста трактора «БЕЛАРУС-2022.5» со сдвоенными колесами с различным давлением. Рассмотрены формулы для расчета деформации шин и почвы. Выполнено сравнение расчетных и экспериментальных данных деформации шины от нормальной нагрузки на колесо и жесткости шины. Для упругодеформируемого колеса на уплотняемой почве рассмотрены различные формулы для расчета глубины колеи в зависимости от вертикальной нагрузки на задние колеса и давления в них. Предложена система уравнений для вычисления деформации шин и почвы по методу перемещений для статически неопределенных конструкций и выполнено сравнение результатов теоретических расчетов с полученными экспериментальными данными по изменению глубины колеи, образуемой четырьмя задними колесами при различном давлении в основной и дополнительной шинах. Наименьшее отклонение теоретических и экспериментальных данных, не превышающее 10 %, дает формула Хайлиса. Глубина колеи при движении трактора на суглинке составляет 60-82 мм.*

*Ключевые слова: сдвоенные колеса трактора, задний ведущий мост, глубина колеи, давление в шине, нагружения задней оси трактора, коэффициент жесткости шины.*

*The scheme of loading the rear axle of the tractor «BELARUS» with double wheels with different pressure is analyzed in the article. Formulas for calculating the deformation of tires and soil are considered. The calculated and experimental data on the deformation of the tire under normal load on the wheel and the stiffness of the tire are compared. For an elastically deformable wheel on compacted soil, various formulas for calculating the track depth depending on the vertical load on the rear wheels and the pressure in them are considered. A system of equations for calculating the deformation of tires and soil by the displacement method for statically indeterminate structures is proposed, and the results of theoretical calculations are compared with the experimental data obtained on the change in the depth of the track formed by the 4 rear wheels at different pressures in the main and additional tires. The smallest deviation of the theoretical and experimental data, not exceeding 10 %, is given by the Hailis formula. The track depth when driving a tractor on loam is 60-82 mm.*

*Key words: double tractor wheels, rear drive axle, track depth, tire pressure, tractor rear axle loads, tire stiffness coefficient.*

### Введение

Сельскохозяйственные тракторы в основном движутся по почве, на плодородие которых влияет давление, оказываемое их движителями.

К показателям, по которым оценивается трактор, непосредственно влияющим на урожайность сельскохозяйственных культур, относится агротехнический, которым предусматривается малое давление колесной ходовой системы на почву – 0,08...0,11 МПа [1]. Снижение давления колес на почву можно обеспе-

чить увеличением площади колес с опорной поверхностью, поэтому широко используется сдваивание, как задних, так и передних колес тракторов.

Ходовые системы современных тракторов совершенствуются в направлении улучшения тягово-сцепных свойств, несущей способности, снижения воздействия на почву. Эта проблема решается путем изменения размеров (диаметра и ширины) ведущих колес и применением сдвоенных колес, что расширяет возможности агрегатирования благодаря применению высокопроизводительных комбинированных

агрегатов. Это позволяет удлинить агросроки использования техники, уменьшить сопротивление движению трактора, глубину колеи, буксование колес трактора, уменьшить расход топлива, повысить тяговое усилие на различных почвах.

Величина давления воздуха в шине оказывает значительное влияние на сопротивление качению трактора в зависимости от полевых условий. Чтобы суммарные потери на деформацию почвы и деформацию шины были минимальными, следует пользоваться переменными давлениями воздуха в шинах.

Однако теоретических и экспериментальных работ по исследованию глубины колеи энергонасыщенных колесных тракторов под задними сдвоенными шинами при различном давлении в основном и дополнительном колесах не проводилось.

В данной работе приведены теоретические и экспериментальные исследования влияния давления в шинах колес на глубину колеи задних сдвоенных колес тракторов «БЕЛАРУС-2022.5».

### Основная часть

В ходе исследования проведен анализ и уточнение методики определения глубины колеи под задними сдвоенными колесами сельскохозяйственного трактора.

Исследования проводились на тракторе «БЕЛАРУС-2022.5» (заводской номер 205В00014; двигатель Д-260.4539; № 128937; производство ОАО «УКХ «ММЗ»).

Комплектация трактора: шины ПВМ 420/70R24 – ОАО «Белшина» (Бел 90); шина заднего моста 580/70R42 – ОАО «Белшина» (Бел 126) на ободе W18L; ТСУ-3В (вилка); передний балласт – 10 шт. по 45 кг. Почва – суглинок, при влажности 4,5...6,5 %.

Испытания проводились на экспериментальной базе ОАО «МТЗ».

Температура окружающего воздуха +4 °С, скорость ветра 11 км/ч (западный), атмосферное давление 764.3127 мм рт. ст., относительная влажность воздуха 87 %. Передний мост трактора находился в автоматическом режиме.

При выборе методики определения воздействия движителя трактора на почву, в качестве базовых приняты следующие основные положения: ГОСТ 26953-86 «Методы определения воздействия движителя на почву»; ГОСТ 26955-86 «Нормы воздействия движителя на почву»; «Методика определения условий испытаний»; ГОСТ 7463-2003 «Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. Технические условия» [2].

В процессе анализа оценивали следующие параметры: глубину и ширину следа основных и дополнительных задних колес (мм); влажность почвы (%); твердость почвы (кг/см<sup>2</sup>) под основным и дополнительными колесами, а также вне колеи; давление в шинах (кПа); частоту вращения коленчатого вала двигателя (мин<sup>-1</sup>); загрузку двигателя (%); расход топлива (кг/ч).

В первой серии экспериментов трактор «БЕЛАРУС-2022.5» не агрегатировался с сельскохозяйственной машиной, поэтому основная нагрузка на колеса при равномерном движении создавалась силой тяжести трактора. Массу трактора догружали до 10 т. При этом с учетом распределения силы тяжести по осям в статике на задний мост будет действовать сила  $G_T = 55132$  Н.

Схему нагружения заднего моста трактора упрощенно можно представить, как абсолютно жесткую балку, опирающуюся на 4 деформируемые опоры – основные и дополнительные колеса, погружающиеся в почву. Конструкция будет уравниваться четырьмя реакциями опор со стороны основных  $N_o$  и дополнительных колес  $N_d$ . В каждой опоре присутствует по два деформируемых элемента – основное и дополнительное колесо, с жесткостью, соответственно,  $\lambda_o$  и  $\lambda_d$ , зависящей от давления в шине, а также уплотняющаяся почва с коэффициентом объемного смятия  $k_n$  (рис. 1а). Деформация шин вызовет смещение опор рассматриваемой балки на величину  $h_{ш}$ .

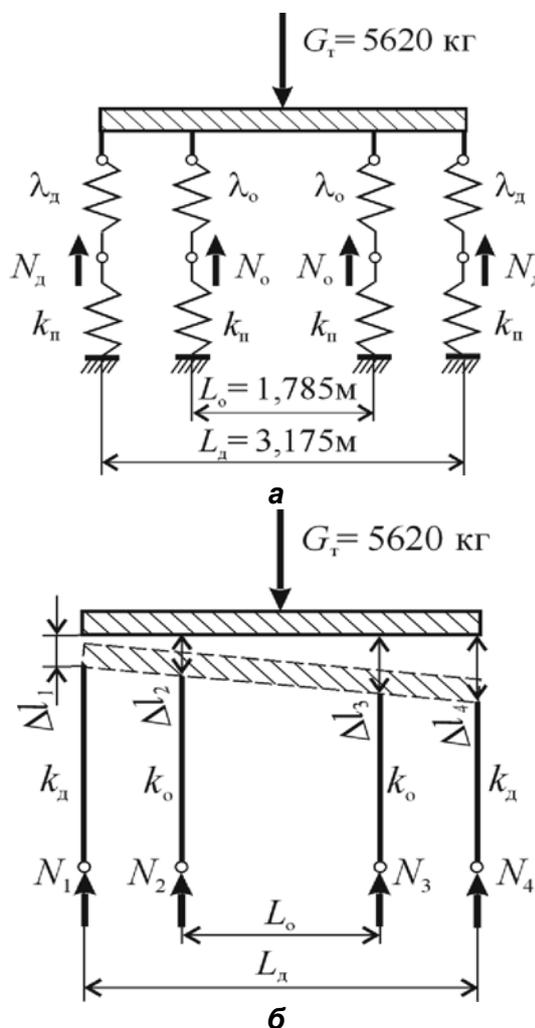


Рисунок 1. Схема нагружения (а), эпюра деформации (б) задней оси трактора

Смещение будет различным для основных и дополнительных колес вследствие разных расстояний до точки приложения нагрузки, а также при разном давлении в шинах. Деформация почвы приведет к смещению опор на глубину колеи  $h$ . При этом вследствие симметричной схемы нагружения и симметричной жесткости колес (давления в правых и левых основных и дополнительных колесах одинаковы), суммарные деформации шин и почвы  $h_{ш} + h$  должны быть одинаковы под каждой парой основных и дополнительных колес.

Рассмотрим предлагаемые различными исследователями формулы для расчета деформации шин и почвы.

В первом приближении нормальная деформация шины, находящейся в пределах реальных нагрузок и интервалов варьирования давлений в шине, с достаточной степенью точности, как указывается в источнике [3], описывается формулой Р. Хейдекеля:

$$h_{ш} = \frac{G_k}{2\pi p_{ш} \sqrt{r_0 r_c}}, \quad (1)$$

где  $G_k$  – нормальная нагрузка на колесо, Н;

$p_{ш}$  – давление воздуха в шине, Па;

$r_0 = D_0 / 2$  – свободный радиус ненагруженного колеса, м;

$D_0$  – диаметр колеса, м (для шины 580/70R42  $D_0 = 1,9$  м);

$r_c$  – радиус кривизны протектора, м (для шины 580/70R42  $r_c = 0,985$  м).

Откуда коэффициент жесткости шины  $\lambda$  в нормальном направлении подчиняется линейному закону Гука для упругих деформаций.

$$\lambda = \frac{G_k}{h_{ш}} = \pi p_{ш} \sqrt{2D_0 r_c}. \quad (2)$$

В качестве более достоверной приводится формула, полученная В.В. Смильским [4]:

$$G_k = (p_{ш} + p_3) \sqrt{z} \frac{D_0 b_d}{b} h_{ш}^3 \sqrt{\frac{h_{ш}}{H_{п}}}, \quad (3)$$

где  $p_3$  – давление, эквивалентное жесткости каркаса при различной деформации шины, кПа (для тракторных шин при расчетах рекомендовано принимать  $p_3 \approx 110$  кПа);

$z$  – число слоев корда в шине PR – Ply Rating (для шины 580/70R42 принимаем условно  $z = 8$ );

$b$  – ширина профиля беговой дорожки колеса, м ( $b = 0,546$  м для шины 580/70R42);

$b_d$  – ширина диска, м (для диска W18L  $b_d = 0,457$  м);

$H_{п}$  – высота профиля шины, м ( $H_{п} = 0,406$  м).

Зависимость деформации от нагрузки и давления в шине нелинейная:

$$h_{ш} = \sqrt[4]{\frac{H_{п}}{z^2} \left( \frac{G_k b}{D_0 b_d (p_{ш} + p_3)} \right)^3}. \quad (4)$$

В источнике [5] сравниваются зависимости прогиба шины от нормальной нагрузки, полученные экспериментально, расчетом по методу конечных элементов и по эмпирической формуле:

$$h_{ш} = \frac{G_k}{\pi K (p_{ш} + p_3) \sqrt{D_0 b}}, \quad (5)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий конструкционные особенности шины (диагональное или радиальное расположение корда, количество слоев корда, конструктивные особенности протектора, материал армирующих элементов и т.д.).

Указанное сравнение в работе [5] выполнено для автомобильной шины с существенно меньшими по сравнению с тракторными шинами размерами:  $D_0 = 686$  мм;  $b = 175$  мм;  $p_3 = 8$  кПа;  $K = 0,79$  (для исследованной бескамерной шины 175/80R16 размер определен на основе проведенных испытаний). Приведенный график (рис. 2) показывает, что экспериментальные данные прогиба шины в зависимости от нормальной нагрузки близки к линейной зависимости. При этом экспериментальные значения несколько превышают рассчитанные по формуле (5) (рис. 2, линии 1 и 2).

В ряде работ [6-8;10] приводятся данные экспериментальных исследований деформации шин на жестком основании под нагрузкой с использованием формулы В. Л. Бидермана:

$$h_{ш} = \frac{c_2 G_k}{2(p_{ш} + p_3)} + \sqrt{\left( \frac{c_2 G_k}{2(p_{ш} + p_3)} \right)^2 + c_1 G_k}, \quad (6)$$

где  $c_1$ , ( $\text{м}^2/\text{кН}$ ) и  $c_2$ , ( $1/\text{м}$ ) – постоянные для данной шины коэффициенты.

Давление  $p_3$ , кПа может быть рассчитано по формуле [6]:

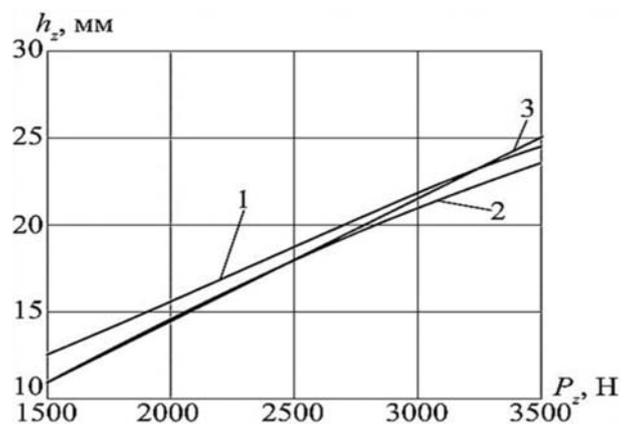


Рисунок 2. Зависимость прогиба шины от нормальной нагрузки на колесо при давлении воздуха в шине 150 кПа: 1 – эксперимент; 2 – расчет по формуле (5); 3 – расчет методом конечных элементов [2]

$$p_3 = 16,7z \left( \sqrt{\frac{D_0}{b}} - 1,4 \right) - 28 \quad (7)$$

Коэффициенты  $p_3$ ,  $c_1$  и  $c_2$  зависят от ряда параметров шины. Это наружный диаметр колеса ( $D_0$ ), максимальная ширина профиля шины ( $b$ ), статический радиус ( $r_c$ ), посадочный диаметр шины ( $D_n$ ) и норма слойности ( $z$ ) и др. Учитывая, что показатель нормы слойности в технических данных для радиальных шин не указывается, в источнике [7] предлагается адаптировать модель тракторных шин В.Л. Бидермана, используя показатель контурной площади пятна контакта. Выполненные в работе [8] эксперименты позволили получить эмпирические константы формулы (6) для шин 15,5R38 и 16,9R38 (табл. 1).

**Таблица 1 Эмпирические константы для расчета деформации шины по формуле (6) [8]**

Коэффициент	Шина 15,5R38	Шина 16,9R38
$c_1, \text{м}^2/\text{кН} \times 10^4$	1,45	3,06
$c_1, \text{м}^2/\text{кН} \times 10^4$	0,478	0,765
$c_2, \text{м}^{-1} \times 10^4$		
$c_2, \text{м}^{-1} \times 10^4$		

На рисунке 3 сопоставлены зависимости деформации шины 15,5R38 от нагрузки, рассчитанные по различным формулам и при различном давлении воздуха. Заметим, что деформации, рассчитанные по формуле (1), показывают заниженные значения деформации по сравнению с остальными формулами. Недостаток формулы (6) связан с необходимостью проведения натурных экспериментов для определения эмпирических констант  $c_1$  и  $c_2$ . В формуле (5) также присутствует эмпирическая константа  $K$ . Поэтому формулу (6) исключим из дальнейшего анализа, так как она требует проведения натурных экспе-

риментов по измерению деформации шины при различных нагрузках на колесо.

Подставив в формулу (4) константы, соответствующие шине 580/70R42 и диску W18L, получим формулу для расчета деформации шины в виде:

$$h_{\text{ш}} = K \left[ \frac{G_{\text{к}}}{(p_{\text{ш}} + p_3)} \right]^{\frac{3}{4}}, \quad (8)$$

где  $K$  – коэффициент, включающий параметры конкретной шины, равный в нашем случае 0,258.

Из формулы (8) следует, что жесткость шины зависит не только от давления в ней, но и от приложенной нагрузки. Формула содержит две константы, связанные с параметрами конкретной шины: коэффициент  $K = 0,258$  и  $p_3$  – давление, эквивалентное жесткости каркаса. Эти величины целесообразно уточнять опытным путем для конкретного типа шины. Коэффициент жесткости шины в нормальном направлении для рассматриваемого авторами типа шин может быть вычислен по формуле [4]:

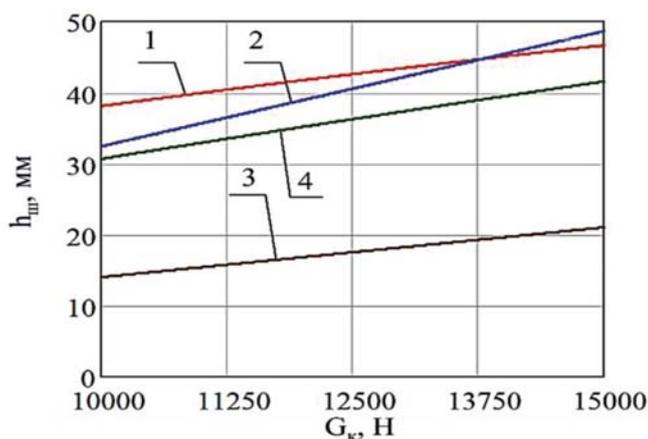
$$\lambda = \frac{G_{\text{к}}}{h_{\text{ш}}} = 3,87 \cdot \sqrt[4]{G_{\text{к}} (p_{\text{ш}} + p_3)^3} \quad (9)$$

При качении эластичного колеса по грунту, наряду с деформацией шины, происходит деформация грунта с образованием колеи. Для упругодеформируемого колеса на уплотняемой почве Гуськовым В.В. [3] предложена формула:

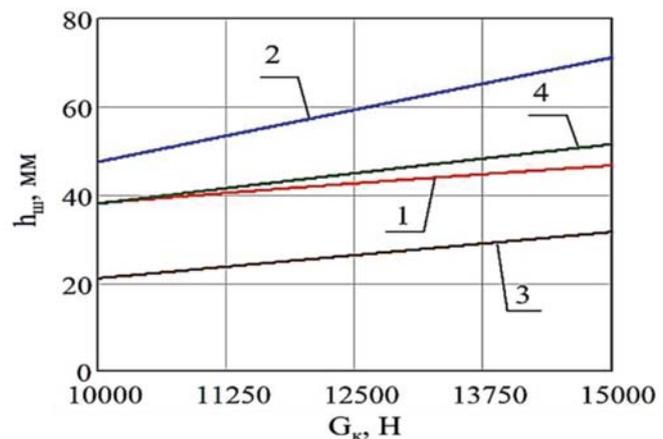
$$h = \sqrt[3]{\frac{G_{\text{к}}^2}{k^2 b^2 D_{\text{пр}}}}, \quad (10)$$

где  $k$  – коэффициент объемного смятия грунта,  $\text{Н}/\text{м}^3$  ( $k = (0,06-0,11) \cdot 10^7 \text{ Н}/\text{м}^3$  для среднего суглинка при слежавшейся пахоте влажностью 16-17 %) [3];

$D_{\text{пр}}$  – приведенный диаметр колеса, м;



**а**



**б**

Рисунок 3. Зависимость деформации шины от нормальной нагрузки на колесо при давлении воздуха в шине 100 кПа (а) и 150 кПа (б): 1 – расчет по формуле (6); 2 – расчет по формуле (5); 3 – расчет по формуле (1); 4 – расчет по формуле (4)

$$D_{пр} = D_0 - 2h_{ш} + \frac{h_{ш}}{h}(D_0 - h_{ш}). \quad (11)$$

Подставив выражение (10), формулу (11) в формулу (1), получим:

$$G_k = \lambda \sqrt{D_0 \lambda^2 h + G_k (D_0 - 2h) \lambda - G_k^2}. \quad (12)$$

Величина нагрузки  $G_k$  задана в неявном виде. Вертикальная нагрузка на колесо  $G_k$  может быть выражена при решении квадратного уравнения:

$$G_k = \lambda \frac{\sqrt{\frac{D_0^2}{4} + h^2 + \frac{D_0 \lambda^2}{b^2 k^2 h} + \frac{D_0}{2} - h}}{\left(\frac{\lambda}{bkh}\right)^2 + 1}, \quad (13)$$

где  $\lambda$  – коэффициент жесткости шины.

По уравнению (13) нельзя аналитически получить обратную формулу для вычисления глубины колеи  $h$  по заданной вертикальной нагрузке на колесо  $G_k$ , поэтому решение такой задачи может быть выполнено только численными методами.

Если принять, что коэффициент жесткости шины  $\lambda$  может быть задана произвольной формулой, то из формул (10) и (11) получим:

$$G_k = \frac{b^2 k^2 \sqrt{D_0^2 + 4h^2 + \frac{4D_0 \lambda^2}{b^2 k^2 h} + D_0 - 2h}}{2 \frac{\lambda}{h^2} + \frac{b^2 k^2}{\lambda}} \quad (14)$$

В работе Хайлиса Г.А. [9] для расчета глубины колеи в зависимости от нагрузки на деформируемое колесо предложена формула:

$$h = \sqrt[3]{\frac{G_k^2}{r_0 (kb)^2 \left[ \sqrt{\frac{8k}{9\lambda} + 1} + \sqrt{\frac{k}{2\lambda}} \right]^2}}. \quad (15)$$

Поскольку коэффициент жесткости шины  $\lambda$  для заданного типа является функцией давления в шине, то и глубина колеи при фиксированных параметрах шины и почвы будет зависеть только от давления в шине и нормальной нагрузки, которая распределяется на основные и дополнительные колеса в зависимости от жесткости системы. Коэффициент жесткости шины может быть рассчитан либо по формуле Хейдекеля (2), либо по формуле Смильского (9), а деформация почвы (глубина колеи) – численно из формулы Гуськова (10) или по формуле Хайлиса (15). При этом рассчитанные значения могут заметно отличаться (рис. 4).

Расчет распределения нагрузки от силы тяжести на колеса выполним по методу перемещений для статически неопределимых конструкций. Для упрощения расчета рассмотрим в качестве опор под недеформируемой балкой упругие стержни с жесткостью  $k_0$  и  $k_n$  для основных и дополнительных колес соответственно (рис. 16). Каждый такой стержень состоит из двух упругих элементов – шины и почвы, соединен-

ных последовательно и деформируемых под действием соответствующей реакции опоры на  $\Delta l = h_{ш} + h$ . Зададим виртуальные перемещения опор, которые вызывают деформации  $\Delta l_{1...4}$ .

Соотношения между виртуальными перемещениями дают два дополнительных уравнения, недостающих для статической определенности конструкции. Дополнив уравнения виртуальных перемещений уравнениями равновесия сил и моментов, получим систему уравнений для определения реакций в опорах, и подставив деформации шины и почвы под основными и дополнительными колесами, получаем:

$$\begin{cases} N_1 + N_2 + N_3 + N_4 - G_T = 0 \\ -N_1(L_A/2 - L_0/2) + N_3 L_0 - G_T L_0/2 + N_4(L_A/2 + L_0/2) = 0; \\ \frac{h_{ш}(N_3, p_{ш0}) + h(N_3, p_{ш0}) - h_{ш}(N_1, p_{шA}) - h(N_1, p_{шA})}{L_A + L_0} = \\ \frac{h_{ш}(N_2, p_{ш0}) + h(N_2, p_{ш0}) - h_{ш}(N_1, p_{шA}) - h(N_1, p_{шA})}{L_A - L_0} \\ \frac{h_{ш}(N_4, p_{шA}) + h(N_4, p_{шA}) - h_{ш}(N_1, p_{шA}) - h(N_1, p_{шA})}{L_A} = \\ \frac{h_{ш}(N_2, p_{ш0}) + h(N_2, p_{ш0}) - h_{ш}(N_1, p_{шA}) - h(N_1, p_{шA})}{L_A/2 - L_0/2}. \end{cases} \quad (16)$$

Система состоит из четырех уравнений с неизвестными  $N_1...N_4$ , которые также являются аргументами функций для вычислений деформаций шин и почвы для основных и дополнительных колес в зависимости от давления в шине. Решение системы уравнений (16) выполнено численно методом Левенберга-Марквардта в программе Mathcad.

Для сравнения теоретически рассчитанных результатов выполнено экспериментальное исследование по изменению глубины колеи  $h$ , мм, образуемой четырьмя задними колесами (основное и дополнительное

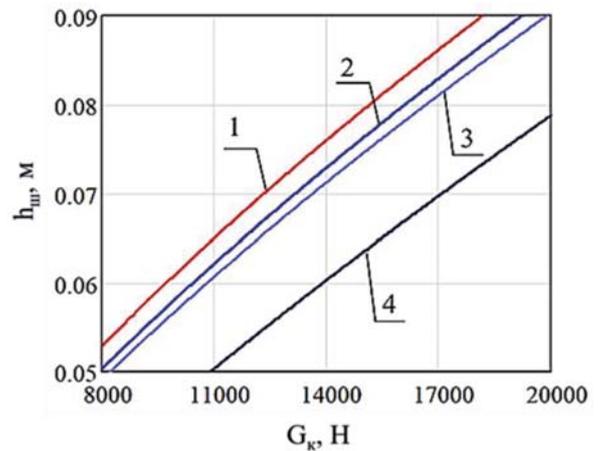


Рисунок 4. Зависимости глубины колеи от нагрузки на колесо при давлении в шине 120 кПа, рассчитанные по формулам: 1 – Хейдекеля (1), Гуськова (10); 2 – Смильского (8), Гуськова (10); 3 – Хейдекеля (1), Хайлиса (15); 4 – Смильского (8), Хайлиса (15)

на правой и левой стороне) на участке длиной 300 м. Давление в колесах варьировалось на трех уровнях (табл. 2). Измерения выполнялись по каждому колесу в десяти равностоящих от начала колеи точках. При этом было установлено, что в первых трех точках глубина колеи постоянно больше, чем в последующих точках. Эти точки находятся на участке разгона, где начиная движение, трактор двигался с ускорением, вызывающим дополнительную нагрузку на колеса и большее их погружение в почву, поэтому рассматривался только участок равномерного движения трактора.

Теоретические расчеты глубины колеи выполнены для всех возможных комбинаций формул: Хейдекель – Гуськов; Смильский – Гуськов; Хейдекель – Хайлис; Смильский – Хайлис. При этом учитывался и

тот факт, что некоторые константы, входящие в расчетные формулы, выбирались приближенно по литературным источникам:  $k$  – коэффициент объемного смятия почвы;  $p_3$  – давление, эквивалентное жесткости каркаса;  $K$  – коэффициент, связанный с параметрами конкретной шины. В процессе поиска решений значения этих констант подбирались таким образом, чтобы обеспечить наилучшее приближение расчетных и экспериментальных данных. Степень совпадения расчетных и экспериментальных данных оценивалась по средней остаточной дисперсии.

Выполненные расчеты (табл. 3) показали, что теоретические значения глубины колеи по всем формулам дают результаты в пределах допустимого отклонения, которые совпадают с экспериментальными. Формула

**Таблица 2. Экспериментальные данные по измерениям глубины колеи под основными и дополнительными колесами трактора на участке установившегося движения**

Давление, $p_{ш}$ , кПа		Колесо	Глубина колеи, $h_3$ , мм.													Среднее	Дисперсия	
основное колесо	дополнительное колесо																	
120	100	основное	70	74	73	70	70	75	69	80	74	72	70	72	76	71	73	9
160	140		98	92	89	85	70	72	74	96	94	86	82	74	74	77	83	93
130	110		80	79	81	78	64	75	75	79	79	78	79	65	78	75	76	27
160	100		99	98	98	97	97	95	95	98	97	97	96	97	96	95	97	2
120	140		69	72	74	76	68	71	69	69	73	72	75	69	70	69	71	7
160	110		88	89	90	90	94	87	87	89	89	90	89	94	87	87	89	5
120	110		75	73	69	70	64	70	72	77	76	60	77	60	77	70	71	35
130	140		80	80	77	78	70	76	79	84	81	79	76	79	78	78	78	10
130	100		89	86	77	80	79	79	81	86	86	80	80	81	79	80	82	13
120	100		72	70	69	72	68	70	68	76	76	70	74	70	72	67	71	8
160	140	дополнительное	94	83	84	89	74	80	79	94	86	87	88	72	86	74	84	49
130	110		79	79	77	77	60	74	73	76	77	77	76	63	76	74	74	32
160	100		64	62	64	59	61	64	64	68	62	64	62	66	65	65	64	5
120	140		76	70	75	76	79	70	68	68	70	73	74	70	69	70	72	12
160	110		86	70	76	79	74	70	74	80	69	74	78	79	79	76	76	22
120	110		72	70	68	69	60	74	69	77	75	61	74	60	74	69	69	31
130	140		83	84	80	82	79	79	83	85	86	83	86	79	70	84	82	17
130	100		80	79	75	80	76	77	79	79	81	78	78	76	80	79	78	3

**Таблица 3. Сравнение экспериментальных и расчетных данных глубины колеи  $h$ , мм под основными и дополнительными колесами трактора на участке установившегося движения**

Давление, кПа		Эксперимент		Гуськов								Хайлис							
				Хейдекель				Смильский				Хейдекель				Смильский			
				Расчетное		Отклонение													
осн.	доп.	осн.	доп.	осн.	доп.	осн.	доп.	осн.	доп.	осн.	доп.	осн.	доп.	осн.	доп.	осн.	доп.		
120	100	73	71	79	76	-6	-5	78	74	-5	-3	76	72	-3	-1	77	74	-4	-3
160	140	83	84	80	78	3	6	79	77	4	7	83	81	0	3	80	78	3	6
130	110	76	74	79	77	-3	-3	78	75	-2	-1	78	74	-2	0	78	75	-2	-1
160	100	97	64	82	75	15	-11	82	72	15	-8	82	73	15	-9	81	74	16	-10
120	140	71	72	77	80	-6	-8	75	79	-4	-7	77	80	-6	-8	76	79	-5	-7
160	110	89	76	81	76	8	0	81	73	8	3	83	75	6	1	81	75	8	1
120	110	71	69	79	77	-8	-8	77	75	-6	-6	76	74	-5	-5	77	75	-6	-6
130	140	78	82	78	79	0	3	76	78	2	4	79	80	-1	2	78	79	0	3
130	100	82	78	80	76	2	2	79	73	3	5	78	72	4	6	78	74	4	4
Средняя дисперсия				43				45				32				38			
$k$				$0,076 \times 10^7$				$0,071 \times 10^7$				$0,074 \times 10^7$				$0,060 \times 10^7$			
$p_3$								10								70			
$K$								0,245								0,25			

Хайлиса дает наименьшее отклонение при сравнении с экспериментальными данными. Отклонения расчетных значений глубины колеи от средних экспериментальных по всем формулам не превышают 10 %, в то время как отклонения экспериментальных значений от их средних – 18 %. Исключением является единственный эксперимент, в котором давление в шинах максимально отличалось (в основных колесах – 160 кПа, в дополнительных – 100 кПа).

Фактическое погружение основных колес в грунт при этом было на 15 мм, а дополнительных – на 10 мм больше расчетного. Это связано с тем, что очень низкое давление в шинах дополнительных колес приводит к большой деформации, которая значительно отличается от теоретически рассчитываемой по формулам Хейдекеля и Смильского.

При этом основные колеса будут глубже погружаться в почву, что вызывает возрастание сопротивления качению и дополнительное тяговое усилие на основных колесах, что в свою очередь способствует значительному погружению основных колес в почву.

Глубина колеи трактора «Беларус-2022.5» на суглинке при давлении, в основном, 120-160 кПа и дополнительном колесе 100-140 кПа составляет 64-97 мм.

#### **Заключение**

1. Выполнен сравнительный анализ методик расчета нормальной деформации шин и почвы (глубины колеи) применительно к тракторным шинам марки Бел-126 с профилем 580/70R42 на ободе W18L. Проведено экспериментальное исследование по определению глубины колеи под основными и дополнительными колесами на задней оси трактора «БЕЛАРУС-2022.5» со двоянными колесами с различным давлением в шинах при движении без прицепных агрегатов по суглинку.

2. Предложена математическая модель для теоретического расчета распределения нормальной нагрузки от силы тяжести трактора по методу перемещений для статически неопределенных конструкций на основные и дополнительные колеса в зависимости от давления в шинах. Определены теоретические значения глубины колеи в зависимости от соотношения давлений в основных и дополнительных шинах при движении трактора без прицепного агрегата по суглинку.

3. Сравнение теоретически рассчитанных и экспериментальных значений глубины колеи показывает, что отклонения не превышают 10 %, в то время как отклонения самих экспериментальных значений от их средних 18 %. Формула Хайлиса дает результат с наименьшим допустимым отклонением к экспериментальным данным.

4. Максимальное отклонение теоретических и экспериментальных данных наблюдается при максимальной разнице давлений в основных и дополнительных шинах, что объясняется тем, что низкое давление в шинах дополнительных колес приводит к большой

деформации почвы, которая значительно отличается от теоретически рассчитываемой. Основные колеса будут глубже погружаться в почву, что вызывает значительное возрастание сопротивления качению и дополнительное тяговое усилие на основных колесах.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Шарипов, В.М. Конструирование и расчет тракторов / В.М. Шарипов. – М.: Машиностроение, 2004. – 591 с.
2. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. МКС 65.060.10. ОКП 47 2200: ГОСТ 24057-2001. – Введен 01.01.2003.
3. Тракторы. Теория: учебник для студентов вузов по специальности «Автомобили и тракторы» / В.В. Гуськов [и др.]; под общ. ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – С. 14.
4. Скотников, В.А. Основы расчета трактора и автомобиля / В.А. Скотников, А.А. Машенский, А.С. Солонский; под общ. ред. В.А. Скотникова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 383 с.
5. Вольская Н.С. Моделирование автомобильной пневматической шины, взаимодействующей с твердой неровной опорной поверхностью / Н.С. Вольская, Я.Ю. Левенков, О.А. Русанов // Наука и образование: электронный науч.-технич. журнал. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 05.2013. – С. 107-125.
6. Ксеневиц, И.П. Ходовая система – почва – урожай / И.П. Ксеневиц, В.А. Скотников, М.И. Ляско. – М.: Агропромиздат, 1985. – 304 с.
7. Ребров, А.Ю. Использование информационных технологий при идентификации показателей инновационных тракторных сельскохозяйственных шин категорий IF и VF / А.Ю. Ребров, Р.П. Мигущенко // Механіка та машинобудування. – 2015. – № 1. – С. 98-105.
8. Влияние внутреннего давления воздуха в шине на максимальное контактное давление на опорное основание / В.Г. Шевцов [и др.]; Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства [Электронный ресурс]. – 2015. Режим доступа: <https://docplayer.ru/67283996-Mehanizacii-selskogo-hozyaystva-vliyanie-vnutrennego-davleniya-vozduha-v-shine-na-maksimalnoe-kontaktnoe-davlenie-na-opornoe-osnovanie.html>. – Дата доступа: 13.05.2021.
9. Хайлис, Г.А. Определение глубины колеи и силы сопротивления перекатыванию по почве свободного пневматического колеса / Г.А. Хайлис // Достижения науки и техники в АПК. – 2006. – № 4. – С. 10-14.
10. Бидерман, В.Л. Автомобильные шины / В.Л. Бидерман, Р.Л. Гуслицер М.: Госхимиздат, 1963. – 384 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.09.2021

УДК 631.362.3

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОРТИРОВАНИЯ СЕМЯН ЛЬНА

**И.Н. Шило,**

*докт. техн. наук, профессор*

**В.М. Поздняков,**

*Заместитель Председателя Федерации профсоюзов Беларуси, канд. техн. наук, доцент*

**С.А. Зеленко,**

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

*В статье представлены результаты экспериментальных исследований процесса сортирования семян льна по удельному весу на разработанном сепараторе вибропневматического принципа действия. Впервые определены оптимальные параметры работы вибропневматического сепаратора, обеспечивающие максимальную технологическую эффективность процесса сортирования семян льна по удельному весу: амплитуда колебания деки – 2,30-2,76 мм; частота колебания деки – 19,5 Гц; скорость воздушного потока – 1,2 м/с; угол наклона деки – 3,0-3,35 град. Полученные результаты внедрены на линии подготовки семян ОАО «Дворецкий льнозавод».*

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

*The results of the experimental research of flax seeds specific weight assortment using the designed vibropneumatic separator are presented in the article. For the first time the optimal parameters of the vibropneumatic separator ensuring the best technical efficiency of flax seeds specific weight assortment (the amplitude of the vibrations deck 2,30-2,76 mm; soundboard vibration frequency of 19,5 Hz; air velocity 1,2 m/s; the angle of inclination of the deck 3,0-3,35 degrees) were determined. These optimal parameters were tested on the vibropneumatic separator under the production conditions of the seeds assortment line of JSC «Dvoretzky flax plant».*

*Key words: vibropneumatic separator, assort, flax seeds, fluidized bed, specific weight.*

### Введение

Наращивание в республике мощностей перерабатывающих предприятий обусловило необходимость увеличения объемов возделывания технических сельскохозяйственных растений. Согласно Государственной программе «Аграрный бизнес» в Республике Беларусь на 2021-2025 годы, производство льноволокна в 2025 году должно составить 55 тыс. тонн, при обеспечении повышения урожайности льноволокна до 11 центнеров с гектара. Выполнение прогнозных показателей возможно только при условии строгого соблюдения технологии возделывания сельскохозяйственных культур и обеспечения высокого качества используемых для посева семян. Как отмечают специалисты, при строгом выполнении всех технологических процессов и применении качественных семян, рентабельность производства льна-долгунца может достигать 70 % [1, 2].

В современных условиях эффективность технологии возделывания льна-долгунца зависит от соблюдения технологии и качества используемых для посева семян. Хорошо выполненные полноценные семена, обладающие повышенным удельным весом, имея необходимый запас всех питательных веществ для развития проростка и лучше сформированный

зародыш, обеспечивают образование более мощных проростков. Это ускоряет полевую всхожесть, дает возможность получить более мощные растения, сокращает выпадение их в период вегетации. В составе семян содержится от 60 до 70 % крахмала и протеина, наиболее тяжелых составляющих, которые обеспечивают наибольшую массу семени. Чем выше содержание протеина, тем выше энергия прорастания, а расщепленный крахмал обеспечивает питание зародыша в процессе прорастания семени.

Зарубежными и отечественными исследователями доказано, что сортирование по удельному весу является наиболее эффективным принципом предпосевной обработки, включающим в себя комплекс физико-механических свойств семени [3-6].

В ведущих льносеющих странах Европейского союза (Франция, Бельгия, Нидерланды) сортировка семян по удельному весу на пневмосортировальных столах осуществляется в обязательном порядке, и без данного этапа сертификат на семена не может быть получен.

В Республике Беларусь по нашим оценкам в настоящее время время только около 15 % семян сортируют по удельному весу. В результате на значительных площадях для сева используют семена, которые имеют низкие посевные свойства, что приводит к недобору

урожая на уровне 10-15 %, а также является причиной недостаточно высокого качества льноволокна.

Целью работы является анализ экспериментальных данных сортирования семян льна на прямооточном вибропневматическом сепараторе и апробация полученных данных в производственных условиях.

### Основная часть

Отечественные сорта льна-долгунца имеют высокий потенциал урожайности и при соблюдении основных агротехнологических параметров возделывания и уборки могут обеспечивать получение тресты до 60-65 центнеров с гектара. Однако проблемой является то, что в настоящее время в Республике Беларусь не существует серийно выпускающегося технологического оборудования, позволяющего производить сортирование семян льна с высокой точностью.

На этапе подготовки семян не проводится их сортирование по удельному весу, а лишь осуществляется обработка на ситовых сепараторах и триерах (машины типа «Петкус Гигант» К 531 А) и очистка от трудноотделимых сорняков (семяочистительная машина СОМ-300).

В этой связи основным направлением при получении качественного посевного материала семян льна является внедрение вибропневматического оборудования в линию очистки семян.

Для достижения поставленной цели на базе лаборатории послеуборочной обработки зерна и семян БГАТУ разработана и изготовлена лабораторная установка, позволяющая проводить исследования процессов сортирования семян льна и других сельскохозяйственных культур по удельному весу под действием вибрации и восходящих потоков воздуха. Ее схема представлена на рисунке 1.

В ходе предварительных экспериментов авторами определены интервалы варьирования входных факторов для проведения полнофакторного эксперимента: амплитуда колебания деки,  $A=1,5-3$  мм; частота колебания деки,  $f_0=17-22$  Гц; скорость воздушного потока,  $v_0=0,9-1,5$  м/с; угол наклона сетчатой деки,  $\alpha=2-5^\circ$ .

Проведенными исследованиями [7-8] установлено, что технологическая эффективность процесса сортирования семян по удельному весу на вибропневматическом оборудовании определяется такими показателями, как масса 1000 семян и производительность.

Исследования показали, что зависимость значения массы 1000 семян и производительности прямооточного вибропневматического сепаратора от режимно-конструктивных параметров работы носит сложную функциональную зависимость и требует более детального анали-

за. Для этого использовались современные пакеты программ обработки экспериментальных данных STATISTICA и STATGRAPHICS Centurion, которые позволили исследовать зависимость параметров оптимизации (производительность и масса 1000 семян) от режимно-конструктивных параметров работы сепаратора в диапазоне варьирования входных факторов.

В результате проведенных экспериментальных исследований получены уравнения регрессии для параметров оптимизации:

– масса 1000 семян:

$$m_{1000c.} = -3,265 + 0,476 \cdot \alpha + 0,788 \cdot A + 0,556 \cdot f_0 + 1,525 \cdot v_0 - 0,032 \cdot \alpha^2 - 0,0071 \cdot \alpha \cdot f_0 - 0,074 \cdot \alpha \cdot v_0 - 0,157 \cdot A^2 - 0,014 \cdot f_0^2 - 0,494 \cdot v_0^2 \quad (1)$$

– производительность:

$$Q = -2002,9 + 111,927 \cdot \alpha + 318,076 \cdot A + 146,931 \cdot f_0 + 459,744 \cdot v_0 - 6,937 \cdot \alpha^2 + 8,078 \cdot \alpha \cdot A - 3,77 \cdot \alpha \cdot f_0 - 25,139 \cdot \alpha \cdot v_0 - 48,682 \cdot A^2 - 5,593 \cdot A \cdot f_0 - 1,965 \cdot f_0^2 - 22,15 \cdot f_0 \cdot v_0 - 67,176 \cdot v_0^2 \quad (2)$$

Оценку адекватности полученных регрессионных моделей проводили по критерию Фишера ( $F$ ). Данная оценка показала, что уравнения (1) и (2) адек-

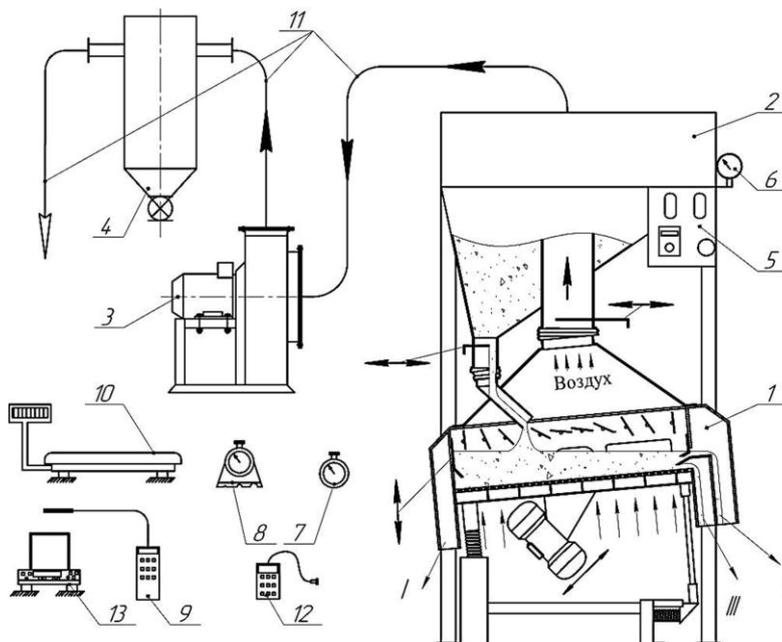


Рисунок 1. Схема лабораторной установки: I – легкая фракция (легковесные и низкокачественные семена); II – средняя фракция (основная партия семян); III – плотная фракция (семена с высоким потенциалом урожайности); 1 – лабораторный вибропневматический сепаратор; 2 – загрузочный бункер; 3 – вентилятор ВР 132-30; 4 – осадочная камера; 5 – панель управления лабораторной установкой; 6 – манометр КМВ-22Р; 7 – секундомер; 8 – угломер маятниковый ЗУРИ-М; 9 – анемометр ТКА-ПКМ-50; 10 – весы; 11 – воздухопровод; 12 – виброанализатор СД-21; 13 – влагомер МАХ 50

ватны экспериментальным данным, т.к.  
 $F_Q = 0,23 \langle F_{табл.} = 1,92 \text{ и } F_{1000с.} = 0,07 \langle F_{табл.} = 1,84.$

На рисунке 2 и 3 представлены поверхности отклика и линии равного уровня для параметров опти-

мизации масса 1000 семян и производительность.

Поскольку критерием эффективной работы сепаратора является обеспечение максимального значения массы 1000 семян при наибольшей производительности

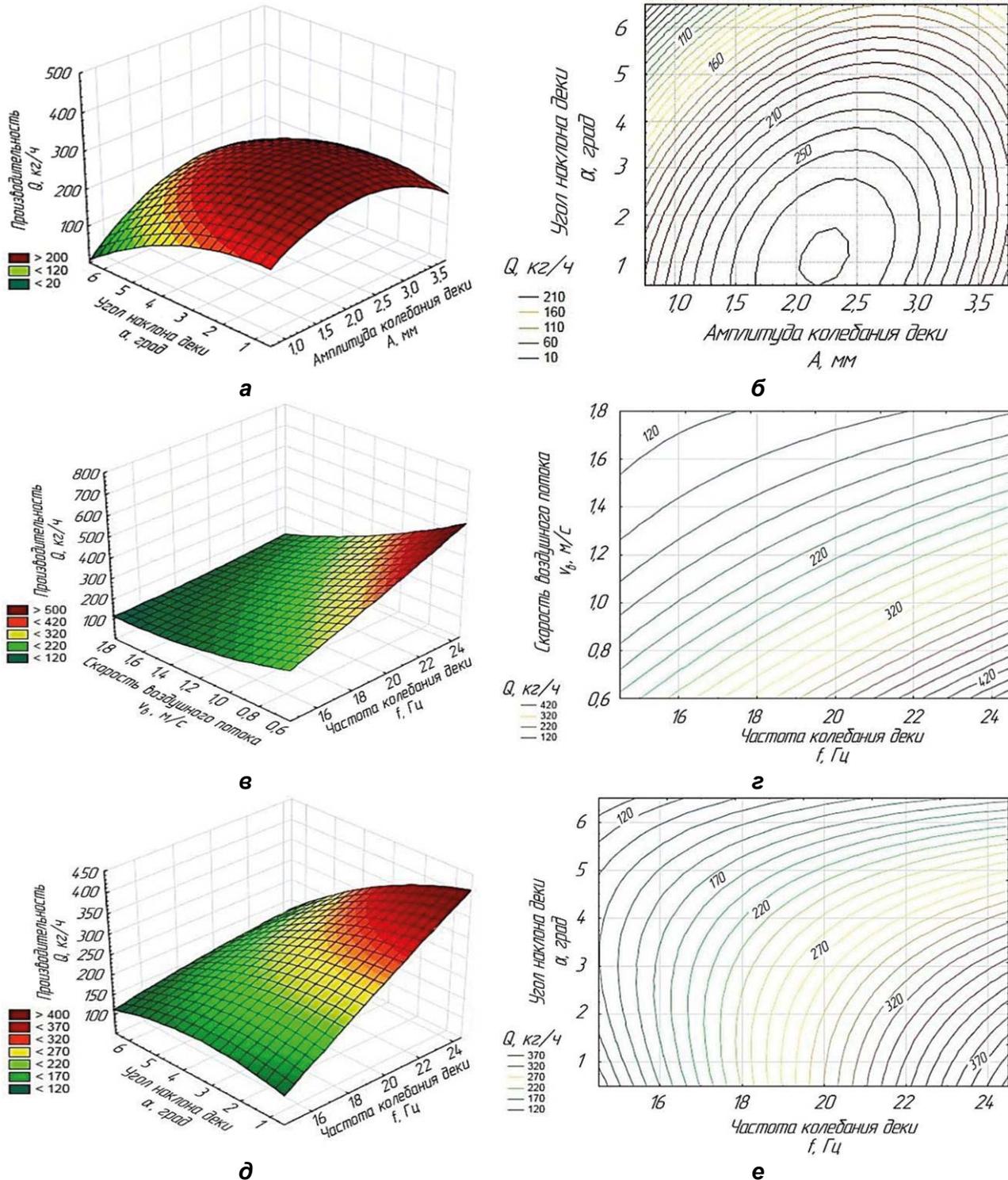


Рисунок 2. Поверхности отклика и линии равных уровней для параметра оптимизации «производительность»:

- а, б – зависимость производительности от угла наклона и амплитуды колебания деки;
- в, г – зависимость производительности от скорости воздушного потока и частоты колебания деки;
- д, е – зависимость производительности от угла наклона и частоты колебания деки

сти, то целью экспериментальных исследований являлось определение параметров работы разработанного вибропневмосепаратора, удовлетворяющих данному условию. Определение оптимальных параметров работы сепаратора, обеспечивающих максимальное значение массы 1000 семян с максимально воз-

можной производительностью, осуществлялось графическим методом путем наложения линий равного уровня параметров оптимизации.

В результате наложения линий равного уровня для параметров оптимизации производительность, представленной на рисунке 2б, и масса 1000 семян,

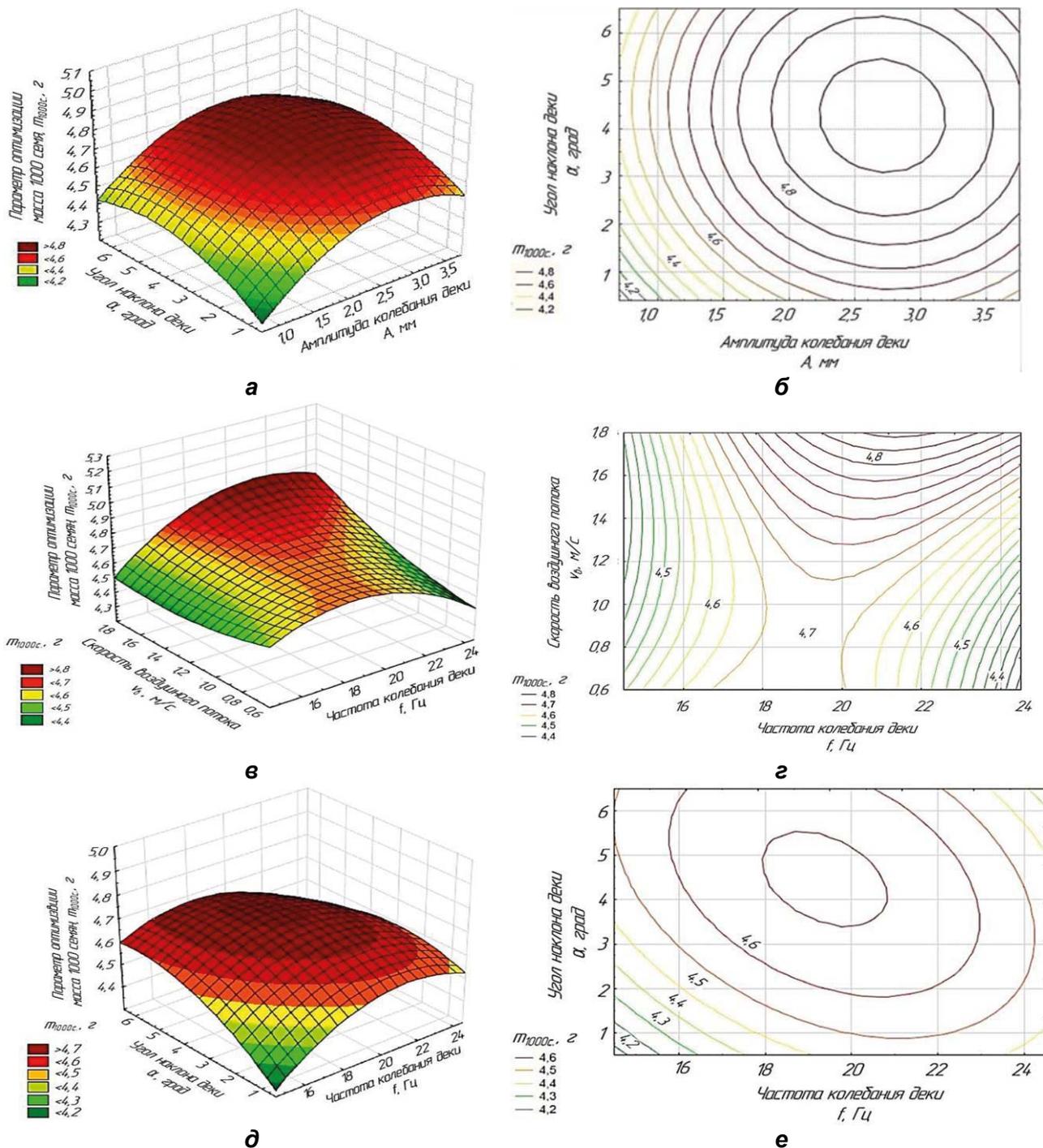


Рисунок 3. Поверхности отклика и линии равных уровней для параметра оптимизации масса 1000 семян: а, б – зависимость показателя массы 1000 семян от угла наклона и амплитуды колебания деки; в, г – зависимость показателя массы 1000 семян от скорости воздушного потока и частоты колебания деки; д, е – зависимость показателя массы 1000 семян от угла наклона и частоты колебания деки

приведенной на рисунке 3б, получена графическая зависимость, изображенная на рисунке 4.

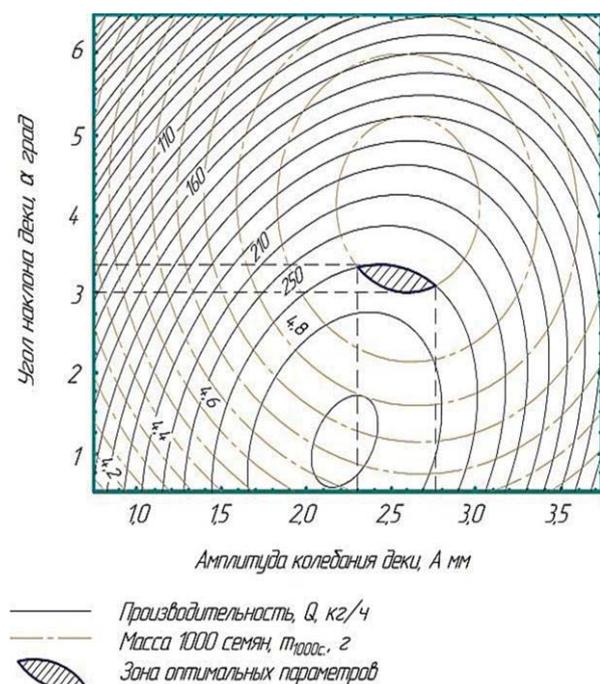


Рисунок 4. Схема графической оптимизации процесса сортирования семян льна по удельному весу

Оптимальные параметры работы вибропневматического сепаратора, на основании графического метода проведения оптимизации, обеспечивающие максимальный показатель массы 1000 семян и наибольшую производительность процесса сортирования семян льна по удельному весу, представлены в таблице 1.

На базе участка «Лида» ОАО «Кореличи-Лен» проведена производственная апробация способа предпосевной подготовки семян льна с использованием прямооточного вибропневматического сепаратора. По результатам полевых опытов (сорт «Левит-1») получены следующие результаты: увеличение урожайности льнотресты с 30 ц/га до 39 ц/га, повышение общего выхода льноволокна с 23,51 % до 25,58 %, увеличение выхода длинного льноволокна с 5,01 % до 9,33 % по сравнению с контрольным образцом семян без обработки на прямооточном вибропневматическом сепараторе.

Расчетный экономический эффект от внедрения разработки составил 696,1 руб. на 1 га посевной площади льна. Таким образом, окупаемость внедрения в линию подготовки семян разработанного вибропневматического сепаратора составляет около года.

Производственная апробация с применением разработанного вибропневматического сепаратора на этапе предпосевной подготовки семян льна (сорт «Сюзанна») проводилась также в условиях ОАО «Дворецкий льнозавод».

На рисунке 5 представлен общий вид промышлен-



Рисунок 5. Общий вид прямооточного вибропневматического сепаратора

ленного прямооточного вибропневматического сепаратора, установленного в линии для предпосевной подготовки семян в ОАО «Дворецкий льнозавод».

По состоянию на 01.04.2021 г. фактическая наработка прямооточного вибропневматического сепаратора ПВС-500 составила 303 т. (2020 г. – 40 т., 2021 г. – 263 т.).

В процессе сортирования на вибропневматическом сепараторе семена не травмируются, т.к. обработка производится в псевдооживленном слое, что позволяет при необходимости повторно направлять на сортирование среднюю фракцию семян льна.

Технологический эффект от применения разработанного вибропневматического сепаратора на ста-

Таблица 1. Оптимальные параметры сортирования семян льна по удельному весу

Параметры	Амплитуда колебания деки, мм	Частота колебания деки, Гц	Скорость воздушного потока, м/с	Угол наклона деки, град.
Значение входных факторов	2,30-2,76	19,5	1,2	3,0-3,35

дии окончательной очистки семян льна заключается в следующем:

- выделение семян с высокими посевными свойствами;
- выделение трудноотделимых примесей из семенных смесей, включая семена культурных растений;
- выделение из семенных материалов семян травмированных, пораженных насекомыми и инфицированных семян;
- уменьшение разнокачественности растений.

По сравнению с существующими машинами для сортирования зерна и семян по удельному весу (пневмосортировальными столами), разработанный прамоточный вибропневматический сепаратор обладает рядом преимуществ:

- простота конструкции и настройки за счет использования деки с продольным углом наклона;
- возможность настройки оптимальных режимно-конструктивных параметров работы под различные технические и зернобобовые культуры;
- низкая стоимость по сравнению с аналогами и простота обслуживания.

#### **Заключение**

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработан инновационный прамоточный вибропневматический сепаратор, который позволяет значительно повысить качество семян льна за счет их сортирования по удельному весу в псевдооживленном слое.

Для предложенного вибропневматического сепаратора при сортировании семян льна определены оптимальные параметры работы, обеспечивающие максимальную технологическую эффективность процесса сортирования семян по удельному весу:

- амплитуда колебания деки – 2,30-2,76 мм;
- частота колебания деки – 19,5 Гц;
- скорость воздушного потока – 1,2 м/с;
- угол наклона деки – 3,0-3,35 град.

Проведенные производственные испытания доказали высокую эффективность сортирования семян льна на разработанном вибропневматическом сепараторе, который может применяться как отдельное оборудование для окончательной доработки семян, так и в составе поточной семяочистительной линии. В про-

цессе обработки семена не травмируются, так как отсутствует механическое воздействие, что также положительно влияет на энергию прорастания и всхожесть.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Шаршунов, В.А. Состояние льноводческой отрасли Республики Беларусь и пути повышения ее эффективности / В.А. Шаршунов, А.С. Алексеенко, М.В. Цайц // Вестник БГСХА. – 2019. – № 2. – С. 267-271.
2. Левчук, В.А. Результаты экспериментальных исследований обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом в линии первичной переработки льна / В.А. Левчук, М.В. Цайц // Вестник БГСХА. – 2021. – №1. – С. 149-155.
3. Галкин, А.Д. Машины и оборудование послеуборочной обработки зерна и подготовки семян из влажного комбайнового вороха: рекомендации / А.Д. Галкин, В.Д. Галкин. – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2020. – 47 с.
4. Сычугов, Н.П. Машины, агрегаты и комплексы послеуборочной обработки зерна и семян трав: монография / Н.П. Сычугов, Ю.В. Сычугов, В.И. Исупов. – Киров: ВЕСИ, 2015. – 404 с.
5. Дринча, В.М. Исследование сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки / В.М. Дринча. – Воронеж, 2006. – 384 с.
6. Галкин, В.Д. Сепарация семян в вибропневмооживленном слое: технология, техника, использование / В.Д. Галкин, В.А. Хандриков, А.А. Хавыев. – Пермь, 2017 – 170 с.
7. Шило, И.Н. Применение вибропневматического оборудования для предпосевной подготовки семян рапса / И.Н. Шило, В.М. Поздняков, С.А. Зеленко, Я.Э. Пилюк // Агропанорама. – 2018. – № 1. – С. 5-8.
8. Поздняков, В.М. Повышение эффективности подготовки семенного материала на основе совершенствования конструкции сепаратора вибропневматического принципа действия / В.М. Поздняков, С.А. Зеленко, А.И. Ермаков // Вестник БГСХА. – 2014. – № 1. – С. 163-167.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 10.09.2021

УДК 621.314.262:621.313.333

## РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ЧАСТОТНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ В РАЗОМКНУТОЙ СИСТЕМЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ- АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

М.А. Прищепов,

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

Е.М. Прищепова,

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

*В статье приведены математические выражения механических и электромеханических характеристик асинхронных двигателей и алгоритм расчета предельных механических и электромеханических характеристик при частотном регулировании скорости в разомкнутой системе электропривода преобразователь частоты-асинхронный двигатель.*

*Ключевые слова: электропривод, преобразователь частоты, асинхронный двигатель, механическая характеристика, электромеханическая характеристика, частотное регулирование, скалярное управление.*

*The article presents mathematical expressions of mechanical and electromechanical characteristics of asynchronous motors and calculating algorithm for the limiting mechanical and electromechanical characteristics with frequency speed control in an open drive system of a frequency converter-asynchronous motor.*

*Key words: electric drive, frequency converter, asynchronous motor, mechanical characteristics, electromechanical characteristics, frequency control, scalar control.*

### Введение

Современный частотно-регулируемый асинхронный электропривод (ЭП) включает в себя преобразователь частоты (ПЧ), как правило, включающий звено постоянного напряжения и инвертор с широтно-импульсной модуляцией. В ПЧ встроена система управления ЭП с микропроцессорным управлением и внешним интерфейсом, обеспечивающим пользователю широкие возможности практического применения.

Набор таких аппаратных средств в сочетании со встроенным программным обеспечением позволяет реализовывать различные конфигурации ЭП – от простых разомкнутых систем до сложных замкнутых систем регулирования скорости.

Если к приводу не предъявляется жестких требований в отношении диапазона регулирования (т.е. диапазон регулирования скорости не превышает 10...20 о.е.) и точности регулирования скорости, используют простейшие скалярные системы регулирования без обратной связи по скорости, работающие по одному из наиболее распространенных статических законов частотного управления:

$$\frac{U}{f} = \text{const}; \frac{U}{\sqrt{f}} = \text{const} \text{ и } \frac{U}{f^2} = \text{const} [1-6].$$

Однако при построении таких систем ЭП необходимо учитывать, что при регулировании скорости их допустимая нагрузочная и перегрузочная способность неодинакова во всем диапазоне регулирования. Поэтому целью данной работы является определение расчетным путем предельных границ областей длительно и кратковременно допустимых нагрузок в разомкнутой системе ЭП преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ-АД).

### Основная часть

Для этого, используя Т-образную схему замещения АД (рис.1), получим математические выражения механической и электромеханической характеристик АД при изменении амплитуды и частоты питающего напряжения  $U_1$ .

Тогда полное эквивалентное сопротивление схемы замещения АД относительно входных зажимов равно:

$$\dot{Z} = \dot{Z}_1 + \frac{\dot{Z}'_2 \dot{Z}'_\mu}{\dot{Z}'_2 + \dot{Z}'_\mu}, \quad (1)$$

где  $\dot{Z}_1 = (r_1 + jx_1)$  – полное сопротивление статора, Ом;

$r_1, x_1$  – активное и индуктивное сопротивление обмотки статора, Ом;

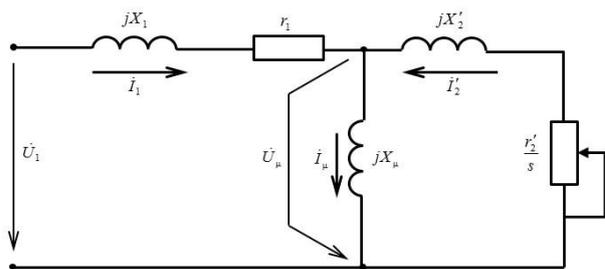


Рисунок 1. Т-образная схема замещения АД

$\dot{Z}'_2 = \frac{r'_2}{s} + jx'_2$  – полное приведенное сопротивление ротора, Ом;

$r'_2, x'_2$  – активное и индуктивное сопротивления обмотки ротора, приведенные к обмотке статора, Ом;  
 $s$  – скольжение АД, о.е.;

$\dot{Z}_\mu = jx_\mu$  – полное сопротивление контура намагничивания, Ом;

$x_\mu$  – индуктивное сопротивление контура намагничивания, Ом.

Тогда полное эквивалентное сопротивление в комплексном виде

$$\begin{aligned} \dot{Z} &= (r_1 + jx_1) + \frac{-x'_2 x_\mu + jx_\mu \frac{r'_2}{s}}{\left(\frac{r'_2}{s} + jx'_2\right) + jx_\mu} = \\ &= \left( \left( r_1 \frac{r'_2}{s} - x_1 x'_2 - x_\mu (x_1 + x'_2) \right) + \right. \\ &+ \left. j \left( r_1 (x'_2 + x_\mu) + \frac{r'_2}{s} (x_1 + x_\mu) \right) \right) \times \\ &\times \left( \frac{r'_2}{s} + j(x'_2 + x_\mu) \right)^{-1} = \\ &= \left( \left( r_1 \frac{r'_2}{s} - x_1 x'_2 - x_\mu (x_1 + x'_2) \right) + \right. \\ &+ \left. j \left( r_1 (x'_2 + x_\mu) + \frac{r'_2}{s} (x_1 + x_\mu) \right) \right) \times \\ &\times \left( \frac{r'_2}{s} + j(x'_2 + x_\mu) \right)^{-1}. \end{aligned} \quad (2)$$

Далее из Т-образной схемы замещения выразим приведенный ток ротора  $\dot{I}'_2$  в комплексном виде

$$\dot{I}'_2 = \dot{U}_\mu / \dot{Z}'_2, \quad (3)$$

где  $\dot{U}_\mu = \dot{U}_1 - \frac{\dot{U}_1}{\dot{Z}} \cdot \dot{Z}_1$  – напряжение контура намагничивания, В.

Тогда приведенный к статору ток ротора

$$\begin{aligned} \dot{I}'_2 &= \frac{\dot{U}_\mu}{\dot{Z}'_2} = \frac{\dot{U}_1 - \frac{\dot{U}_1}{\dot{Z}} \cdot \dot{Z}_1}{\dot{Z}'_2} = \dot{U}_1 \left( \frac{1}{\dot{Z}'_2} - \frac{\dot{Z}_1}{\dot{Z} \dot{Z}'_2} \right) = \\ &= \dot{U}_1 \left( \frac{\dot{Z} - \dot{Z}_1}{\dot{Z} \dot{Z}'_2} \right) = \dot{U}_1 \left( \frac{\dot{Z}_2 \dot{Z}_\mu}{(\dot{Z}_2 + \dot{Z}_\mu) \dot{Z} \dot{Z}'_2} \right) = \\ &= \dot{U}_1 \left( jx_\mu \left( \frac{r'_2}{s} + j(x'_2 + x_\mu) \right) \times \right. \\ &\times \left( \left( \left( \frac{r'_2}{s} + jx'_2 \right) + jx_\mu \right) \times \right. \\ &\times \left. \left( r_1 \frac{r'_2}{s} - x_1 x'_2 - x_\mu x_k \right) + \right. \\ &+ \left. j \left( r_1 (x'_2 + x_\mu) + \frac{r'_2}{s} (x_1 + x_\mu) \right) \right)^{-1} = \\ &= \dot{U}_1 jx_\mu \times \left( \left( r_1 \frac{r'_2}{s} - x_1 x'_2 - x_\mu x_k \right) + \right. \\ &+ \left. j \left( r_1 (x'_2 + x_\mu) + \frac{r'_2}{s} (x_1 + x_\mu) \right) \right)^{-1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Соответственно, действующее значение приведенного тока ротора

$$\begin{aligned} I'_2 &= U_1 x_\mu \times \left[ \left( r_1 \frac{r'_2}{s} - x_1 x'_2 - x_\mu x_k \right)^2 + \right. \\ &+ \left. \left( r_1 (x'_2 + x_\mu) + \frac{r'_2}{s} (x_1 + x_\mu) \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Подставив полученное значение  $I'_2$  в мощность электрических потерь в роторе

$$\Delta P_{эл.2} = 3 I'^2_2 r'_2 \quad (6)$$

предварительно, с некоторым допущением, пренебрегая потерями в стали ротора, выразим их, как разность между электромагнитной мощностью

$$P_{эм} = M \omega_0 \quad (7)$$

и механической мощностью

$$P_m = M \omega, \quad (8)$$

где  $M$  – момент АД, Н·м;  
 $\omega_0$  – синхронная угловая скорость вращающегося электромагнитного поля обмоток статора АД, с<sup>-1</sup>;  
 $\omega$  – угловая скорость ротора АД, с<sup>-1</sup>.

Тогда

$$\Delta P_{вт.2} = M(\omega_0 - \omega) = M\omega_0 s. \quad (9)$$

Далее с учетом полученных выше выражений и учитывая, что  $x_1 / x_\mu \ll 1$  и  $x'_2 / x_\mu \ll 1$ , выразим:

$$\begin{aligned} M &= 3U_1^2 x_\mu^2 r_2' \times \left( \omega_0 s \left( \left( r_1 \frac{r_2'}{s} - x_1 x_2' - x_\mu x_k \right)^2 + \right. \right. \\ &+ \left. \left. \left( r_1 (x_2' + x_\mu) + \frac{r_2'}{s} (x_1 + x_\mu) \right)^2 \right) \right)^{-1} = \\ &= (3U_1^2 x_\mu^2 r_2') \times \left( \omega_0 s \left( \left( \left( r_1 \frac{r_2'}{s} \right)^2 - 2r_1 \times \right. \right. \right. \\ &\times \frac{r_2'}{s} x_1 x_2' + (x_1 x_2')^2 - 2r_1 \frac{r_2'}{s} x_\mu x_k + \\ &+ 2x_1 x_2' x_\mu x_k + x_\mu^2 x_k^2) + (r_1^2 (x_2'^2 + \\ &+ 2x_2' x_\mu + x_\mu^2) + \left. \left. \left( \frac{r_2'}{s} \right)^2 (x_1^2 + 2x_1 x_\mu + \right. \right. \\ &+ x_\mu^2) + 2r_1 \frac{r_2'}{s} (x_2' x_1 + x_1 x_\mu + x_2' x_\mu + x_\mu^2) \right) \right)^{-1} = \\ &= 3U_1^2 r' \times \left( \omega_0 s \left( x_k^2 + \left( r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{r_1 r_2'}{s x_\mu} \right)^2 \right) \right)^{-1}. \quad (10) \end{aligned}$$

Аналогичное выражение механической характеристики получено в работе [7] и широко используется также в работах [6; 8; 9; 10] для расчета механических характеристик при частотном регулировании угловой скорости в разомкнутой системе ПЧ-АД, учитывая при этом закон изменения напряжения  $U_1$  и что индуктивные сопротивления  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_k$  и  $x_\mu$  схемы замещения АД, синхронная угловая скорость магнитного поля статора  $\omega_0$  изменяются пропорционально отно-

$$\text{сительной частоте } \alpha = \frac{f}{f_n},$$

где  $f$ ,  $f_n$  – соответственно, текущая и номинальная частота напряжения питания обмоток статора АД, Гц.

Тогда механические характеристики в разомкнутой системе ПЧ-АД для значений частоты напряжения питания обмоток статора в интервале частот  $f_{п.мин} \dots f_n$  рассчитываются по выражению:

$$M = \frac{3U_{1\phi}^2 r_2'}{(\omega_0 \alpha) s \left( (x_k \alpha)^2 + \left( r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{r_1 r_2'}{s x_\mu \alpha} \right)^2 \right)}, \quad (11)$$

где  $U_{1\phi} = U_n \cdot \alpha$  – фазное напряжение питания обмоток статора АД в первой зоне при законе регулирования  $U_n / f_n = \text{const}$  ( $U_{1\phi} = U_n \cdot \alpha^2$  – при

$$\frac{U}{f_n^2} = \text{const}; U_{1\phi} = U_n \cdot \sqrt{\alpha} \text{ – при } \frac{U}{\sqrt{f}} = \text{const}), \text{ В.}$$

В интервале частот  $f_n \dots f_{п.макс}$  напряжения питания обмоток статора в приведенном выражении (11), фазное напряжение питания обмоток статора АД во второй зоне будет равно номинальному, т.е.

$$U_{1\phi} = U_n.$$

Электромеханические характеристики  $\omega=f(I_1)$  разомкнутой системы ПЧ-АД рассчитываются также для первой и второй зоны в тех же диапазонах частот напряжения питания обмоток статора АД по общеизвестной формуле, вытекающей из векторной диаграммы АД:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2I_0 I_2' \sin \varphi_2}, \quad (12)$$

где  $I_1$  – действующее значение фазного тока обмоток статора АД, А;

$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left( r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_k \cdot \alpha)^2 + \left( \frac{r_1 r_2'}{s x_\mu \alpha} \right)^2}} \quad (13)$$

– приведенный к обмотке статора ток ротора, А;

$$I_0 = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{r_1^2 + (x_{1\sigma} + x_\mu)^2 \alpha^2}} \text{ – ток холостого}$$

хода АД, А;

$$\sin \varphi_2 = \frac{x_k \cdot \alpha}{\sqrt{\left( r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_k \cdot \alpha)^2}} \quad (15)$$

– синус угла между вектором фазного напряжения  $\bar{U}_{1\phi}$  и сопряженным вектором тока ротора  $-\bar{I}_2'$ .

Значения угловых скоростей  $\omega$  при построении механических  $\omega=f(M)$  и электромеханических  $\omega=f(I)$  характеристик для различных относительных частот  $\alpha$  и скольжений  $s$  рассчитываются по формуле:

$$\omega = \omega_0 \alpha (1 - s). \quad (16)$$

На основании проведенных расчетов по выведенным формулам на рисунке 2а построены механические характеристики (характеристики 1-7), а на рисунке 2б – соответствующие электромеханические характеристики (характеристики 1-7).

Далее, аналогично, как и в работе [6], проводится определение области работы ЭП:

1. На полученных механических характеристиках  $\omega=f(M)$  (рис. 2а, характеристики 1-7) наносятся

граничные характеристики нагрузки для длительного и кратковременного режимов работы привода:

- $M_{с.мин}(\omega) = \text{const}$  (т. 1-2-3);
- $M_{с.макс}(\omega) = \text{const}$  (т. 4-5-6-7);
- $M_{эп.макс}(\omega) = \text{const}$  (т. 13-14-15-16).

2. На полученное семейство электромеханических характеристик  $\omega=f(I_1)$  (рис. 2б, характеристики 1-7) наносится зависимость длительно допустимого тока двигателя от скорости  $I_{дв.длит.доп}(\omega)$  (т. 8-9-10-11-12):

$$I_{дв.длит.доп}(\omega) = I_{дв.н} \left( 0,5 + \frac{\omega}{\omega_{дв.н}} \right) \text{ при}$$

$$\omega \leq 0,5\omega_{дв.н}; \quad (17)$$

$$I_{дв.длит.доп}(\omega) = I_{дв.н} \text{ при } \omega > 0,5\omega_{дв.н},$$

где  $I_{дв.н}$ ,  $\omega_{дв.н}$  – номинальные ток (А) и угловая скорость ( $c^{-1}$ ) АД.

3. Далее рассчитывается и наносится на механические характеристики  $\omega=f(M)$  зависимость длительно допустимого момента АД от скорости  $M_{дв.длит.доп}(\omega)$ , соответствующая характеристике  $I_{дв.длит.доп}(\omega)$  (рис. 2а, т. 8-9-10-11-12):

- при  $\omega \leq 0,5\omega_{дв.н}$  необходимо для ряда значений относительной частоты

$$\alpha = \frac{f_{н.мин}}{f_n} \dots 0,5 \text{ найти значения}$$

скольжения  $s$ , соответствующие решению системы нелинейных уравнений (где  $f_{н.мин}$  соответствует минимальной угловой скорости ЭП  $\omega_{эп.мин}$ )

$$I_1 = I_{дв.н} \left( 0,5 + \alpha \frac{1-s}{1-s_n} \right); \quad (18)$$

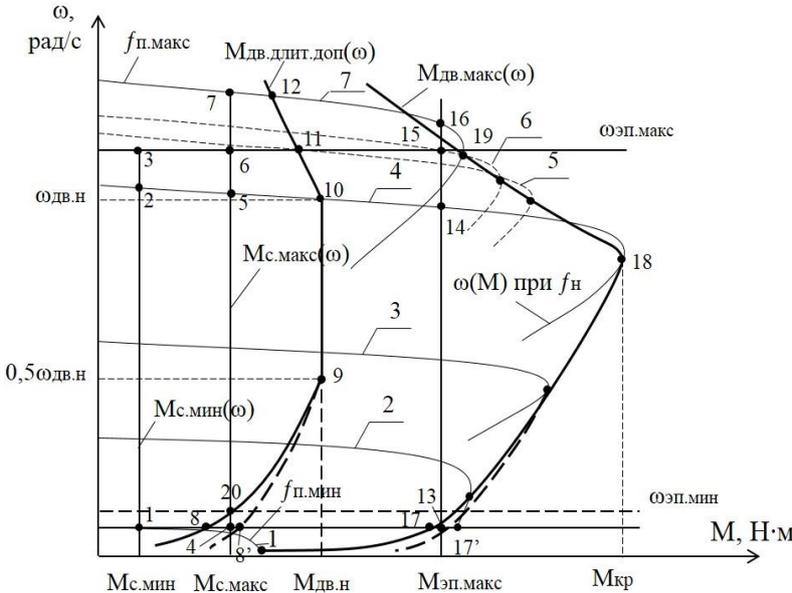
$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2I_0I_2' \sin \varphi_2},$$

Учитывая, что практически все параметры  $I_1$ ,  $I_0$ ,  $I_2'$ ,  $\cos \varphi_2$  являются функцией относительной частоты  $\alpha$  и скольжения  $s$  (кроме  $I_0$ ), то решить эту систему нелинейных уравнений аналитически затруднительно. Следовательно, будем решать ее численно. Для этого из первого уравнения системы выразим искомое скольжение  $s_1$ :

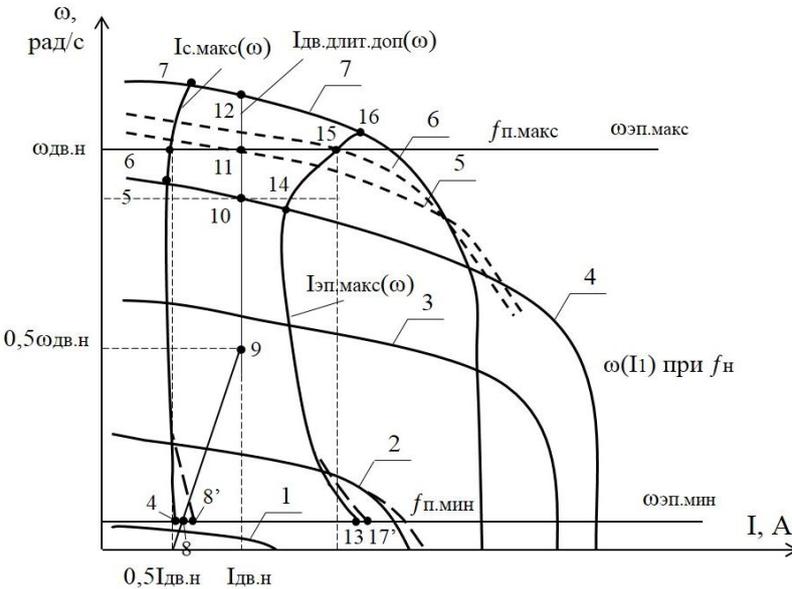
$$s_1 = 1 - \frac{(1-s_n) \left( \frac{I_1}{I_{дв.н}} - 0,5 \right)}{\alpha}. \quad (19)$$

Затем процесс вычислений организуют следующим образом. Для определенного значения относительной частоты, задавшись некоторым начальным значением  $s$ , вычисляют  $I_0$ ,  $\sin \varphi_2$ ,  $I_2'$ ,  $I_1$  и  $s_1$ . Затем сравнивают значения  $s_1$  и  $s$ , и если они не совпадают, то значение  $s$  изменяют с шагом  $\Delta s$  до тех пор, пока  $s_1$  и  $s$  не совпадут. Поиск значения  $s$  представлен в блок-схеме алгоритма расчета механических и электромеханических характеристик разомкнутой системы ПЧ-АД (рис. 3).

Для найденных значений скольжения  $s$  по выражению (11) рассчиты-



**а**



**б**

Рисунок 2. Характеристики разомкнутой системы электропривода

ПЧ-АД при скалярном управлении по закону  $\frac{U_1}{f_1} = \text{const}$ :

а – механические характеристики; б – электромеханические характеристики

ваются значения момента  $M$ :

$$M_{\text{ов.длит.дон}}(\omega) = M \quad (\text{рис. 2а, т. 8-9}); \quad (20)$$

– аналогично, при  $\omega > \omega_{\text{дв.н}}$  необходимо для ряда

значений относительной частоты  $\alpha = 1 \dots \frac{f_{\text{н.макс}}}{f_{\text{н}}}$  найти

значения скольжений  $s$ , при которых  $I_1 = I_{1.н}$  и по выражению (11) рассчитать значения момента  $M$  и

$$M_{\text{ов.длит.дон}}(\omega) = M \cdot \frac{\omega_{\text{ов.н}}}{\omega} \quad (\text{рис. 2а, т. 10-11-12}). \quad (21)$$

4. В последующем рассчитывается и на механические характеристики  $\omega = f(M)$  наносится зависимость максимального допустимого момента электродвигателя  $M_{\text{ов.макс}} = M_{\text{к}}(\omega)$  (рис. 2а, т. 17-18-19).

Выражения критических скольжений и момента получим согласно общему правилу нахождения экстремума функции, для чего необходимо выражение (11) про дифференцировать и полученное выражение приравнять к нулю.

Тогда после решения этого уравнения получим:

$$s_{\text{к}} = r_2' \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{r_1'}{x_{\mu} \alpha}\right)^2}{r_1^2 + (x_{\text{к}} \alpha)^2}}. \quad (22)$$

Подставив  $s_{\text{к}}$  в выражение (11), получим

$$M_{\text{к}} = \frac{3U_{1\phi}^2}{2\omega_0 \alpha \left( r_1 + \sqrt{\left( r_1^2 + (x_{\text{к}} \alpha)^2 \right) \cdot \left( 1 + \left( \frac{r_1'}{x_{\mu} \alpha} \right)^2 \right)} \right)}. \quad (23)$$

Угловая критическая скорость будет определяться, соответственно, по формуле:

$$\omega_{\text{к}} = \omega_0 \alpha (1 - s_{\text{к}}). \quad (24)$$

5. Далее рассчитывается и наносится на электро-механические характеристики  $\omega = f(I_1)$  зависимость  $I_{\text{с.макс}}(\omega)$ , соответствующая длительной максимальной нагрузке  $M_{\text{с.макс}}(\omega) = \text{const}$  (рис. 2б, т. 4-5-6-7). Для этого необходимо для ряда значений частоты от минимальной до максимальной  $\alpha = \frac{f_{\text{н.мин}}}{f_{\text{н}}} \dots \frac{f_{\text{н.макс}}}{f_{\text{н}}}$  опре-

делить соответствующие  $M_{\text{с.макс}}$  значения скольжения, решив относительно  $s$  уравнение (11), т.е.

$$M_{\text{с.макс}} = \frac{3U_{1\phi}^2 r_2'}{(\omega_0 \alpha) s \left( (x_{\text{к}} \alpha)^2 + \left( r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{r_1 r_2'}{s x_{\mu} \alpha} \right)^2 \right)}. \quad (25)$$

После преобразований получим квадратное уравнение относительно скольжения  $s$ :

$$\left( x_{\text{к}}^2 \alpha^2 + r_1^2 \right) s^2 + \left( -\frac{3U_{1\phi}^2 r_2'}{\omega_0 \alpha M_{\text{с.макс}}} + 2r_1 r_2' \right) s + \left( r_2'^2 + \frac{r_1^2 r_2'^2}{x_{\mu}^2 \alpha^2} \right) = 0, \quad (26)$$

где коэффициенты квадратного уравнения:

$$a = \left( x_{\text{к}}^2 \alpha^2 + r_1^2 \right) \quad (27)$$

$$b = \left( 2r_1 r_2' - \frac{3U_{1\phi}^2 r_2'}{\omega_0 \alpha M_{\text{с.макс}}} \right); \quad (28)$$

$$c = \left( r_2'^2 + \frac{r_1^2 r_2'^2}{x_{\mu}^2 \alpha^2} \right). \quad (29)$$

Тогда из физических соображений, т.к.  $s = 0 \dots 1$ , для двигательного режима:

$$s = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}. \quad (30)$$

Далее, после получения значений скольжения  $s$ , по выражению (12) рассчитываются значения тока  $I_{\text{с.макс}}$ , а также значения скорости  $\omega = \omega_0 \alpha (1 - s)$  (рис. 2б, т. 4-5-6-7).

6. Затем рассчитывается и наносится на электро-механические характеристики  $\omega = f(I_1)$  зависимость  $I_{\text{эп.макс}}(\omega)$ , соответствующая максимальному моменту  $M_{\text{эп.макс}}(\omega) = \text{const}$  (рис. 2б, т. 13-14-15-16). Расчет проводится аналогично, как и в предыдущем пункте, при  $M_{\text{с.макс}}$  по тем же выражениям, но вместо  $M_{\text{с.макс}}$  и  $I_{\text{с.макс}}$  у них используется, соответственно,  $M_{\text{эп.макс}}$  и  $I_{\text{эп.макс}}$ .

Для уточнения значения максимальной частоты инвертора  $f_{\text{н.макс}}$  следует дополнительно рассчитать механическую характеристику, проходящую через т.15, соответствующую скорости электропривода  $\omega_{\text{эп.макс}}$  при моменте  $M_{\text{эп.макс}}$ . Для этого необходимо найти соответствующее этим уравнениям значение относительной частоты  $\alpha_{\text{макс}}$ , вычислив при этом  $s_{\text{макс}}$  и  $\omega_{\text{эп.макс}}$ , а затем новое значение скольжения  $s$ , выразив его из формулы:

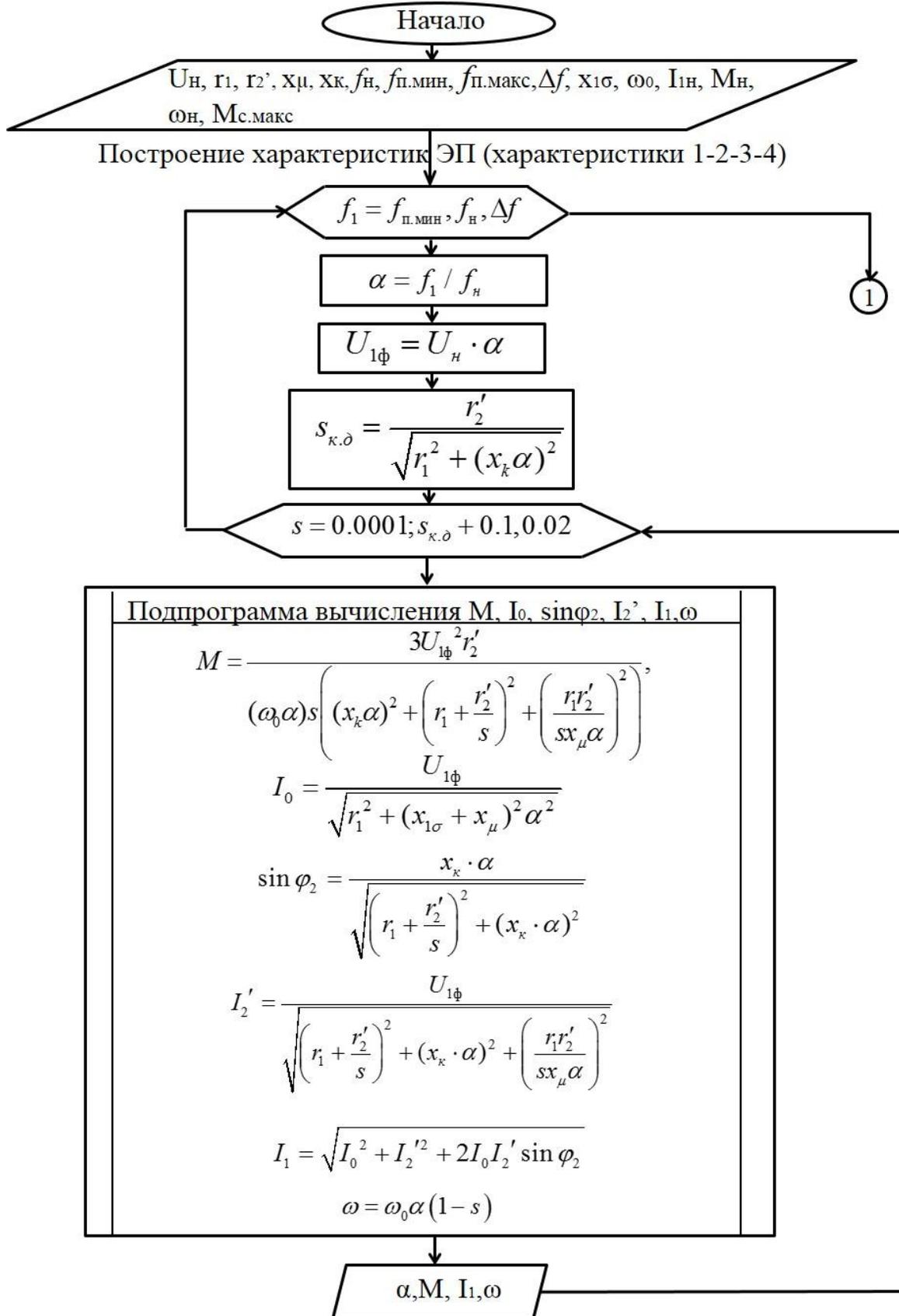
$$\omega_{\text{эп.макс}} = \omega_0 \alpha_{\text{макс}} (1 - s), \quad (31)$$

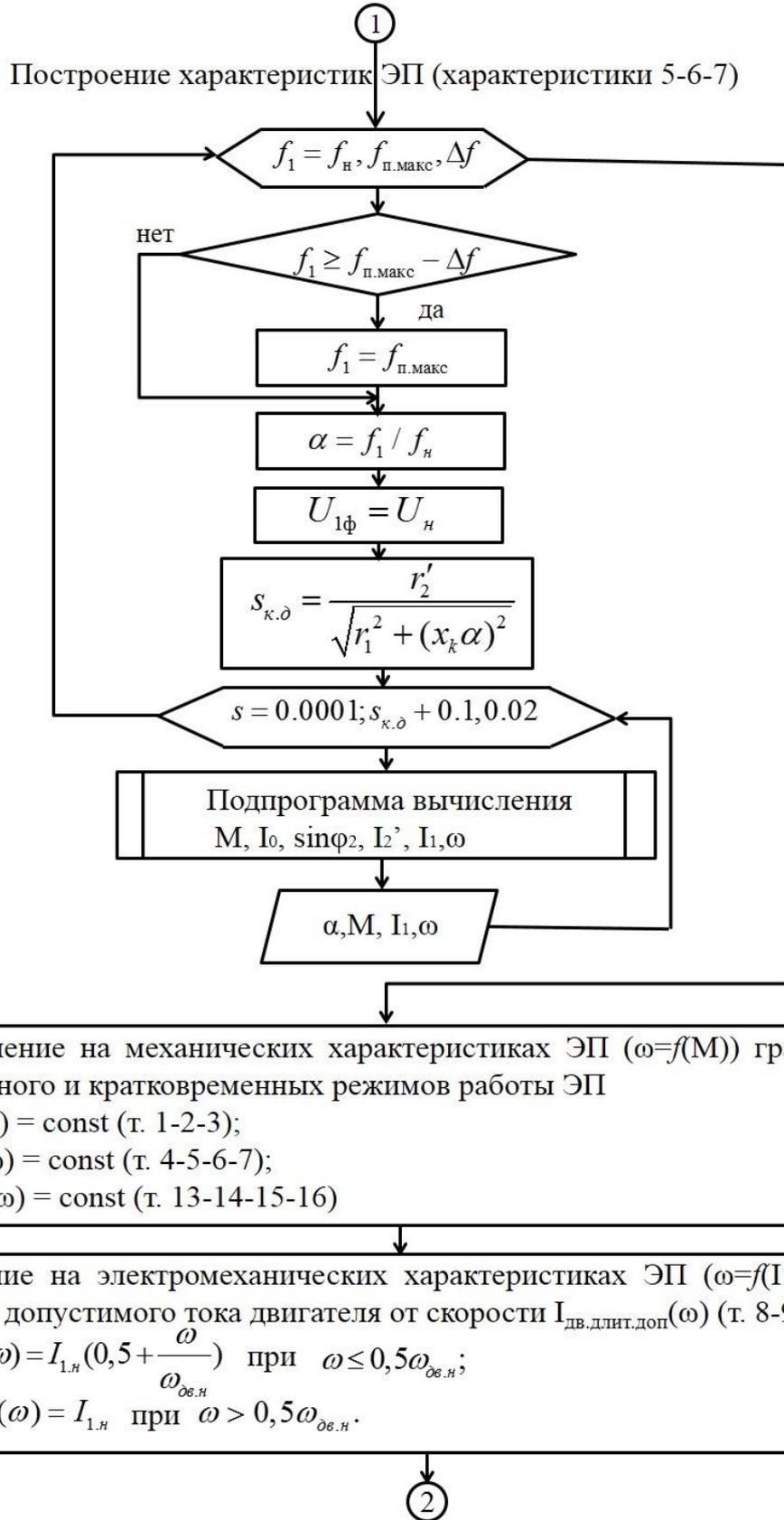
при известных  $\omega_{\text{эп.макс}}$  и  $\alpha_{\text{макс}}$ , то есть

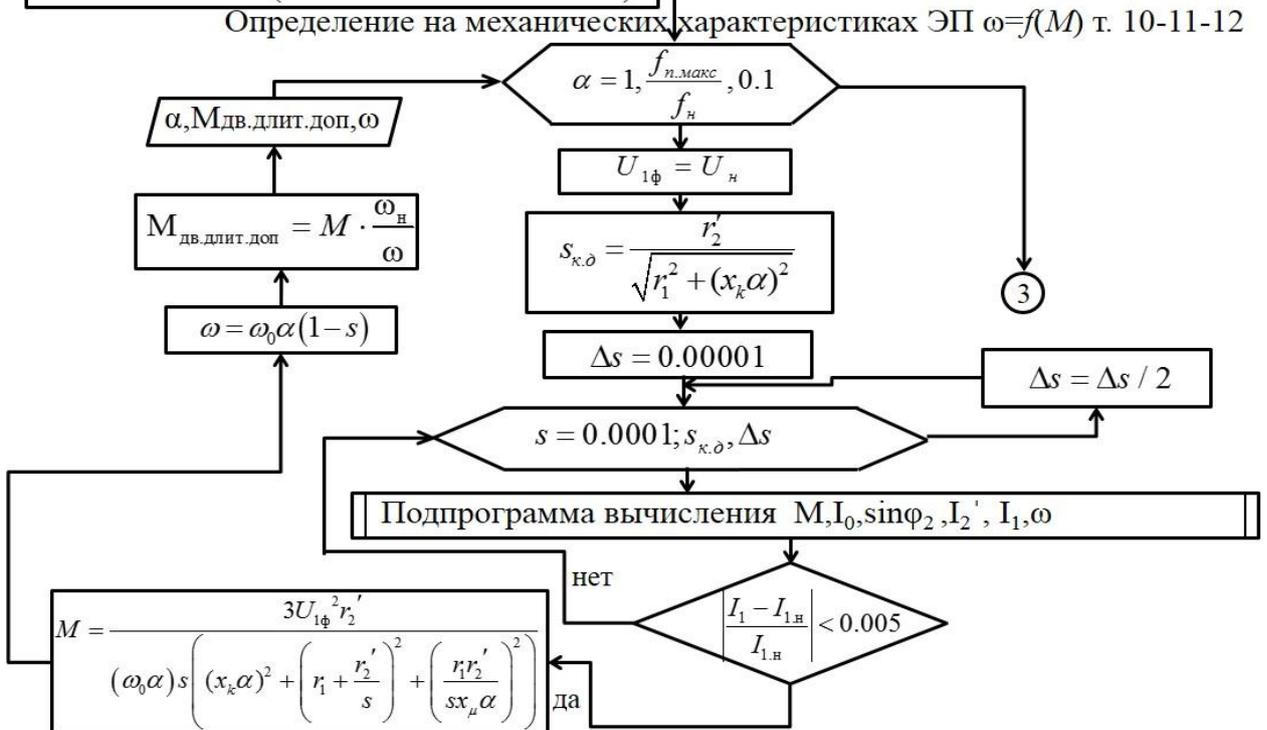
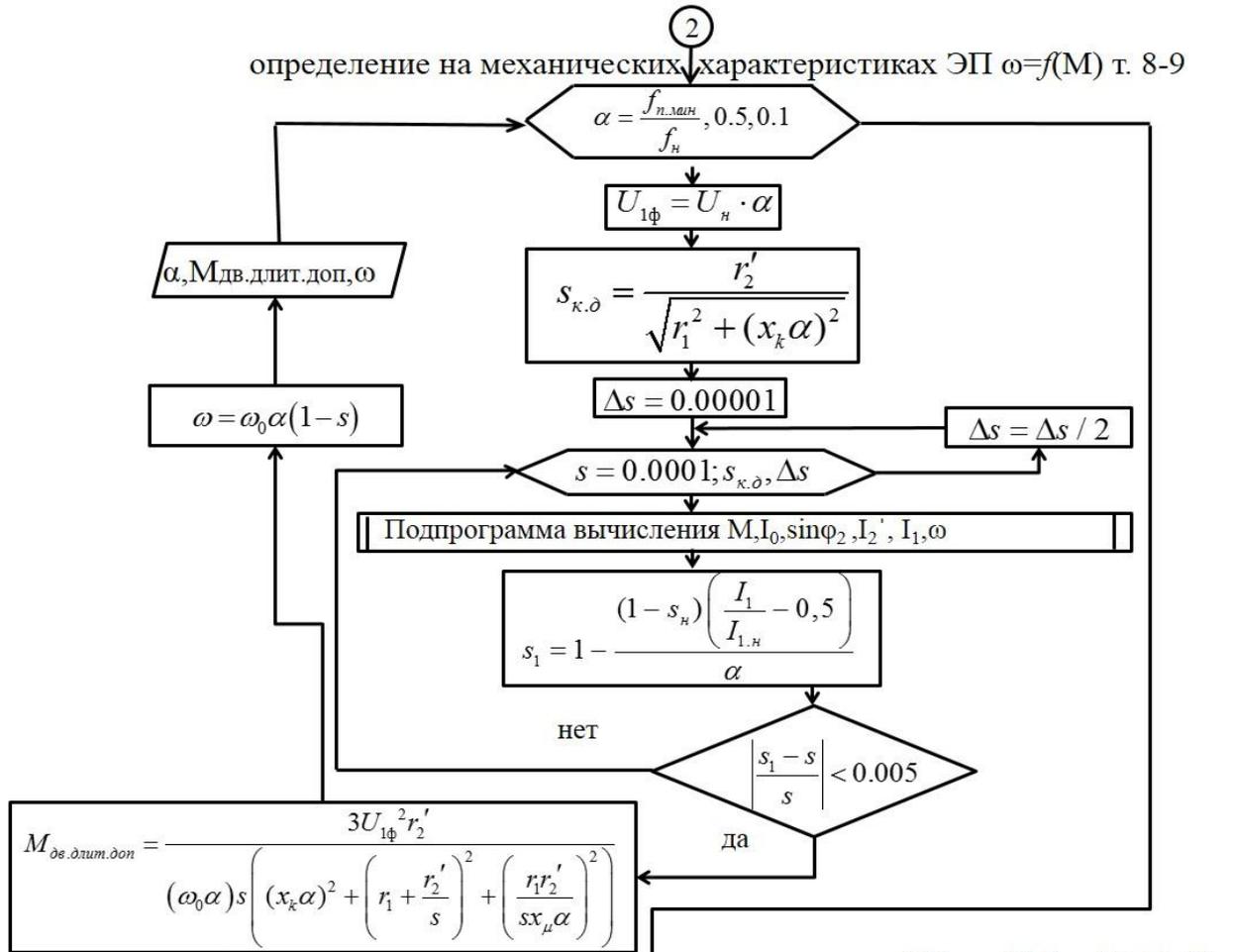
$$s = 1 - \frac{\omega_{\text{эп.макс}}}{\omega_0 \alpha_{\text{макс}}}. \quad (32)$$

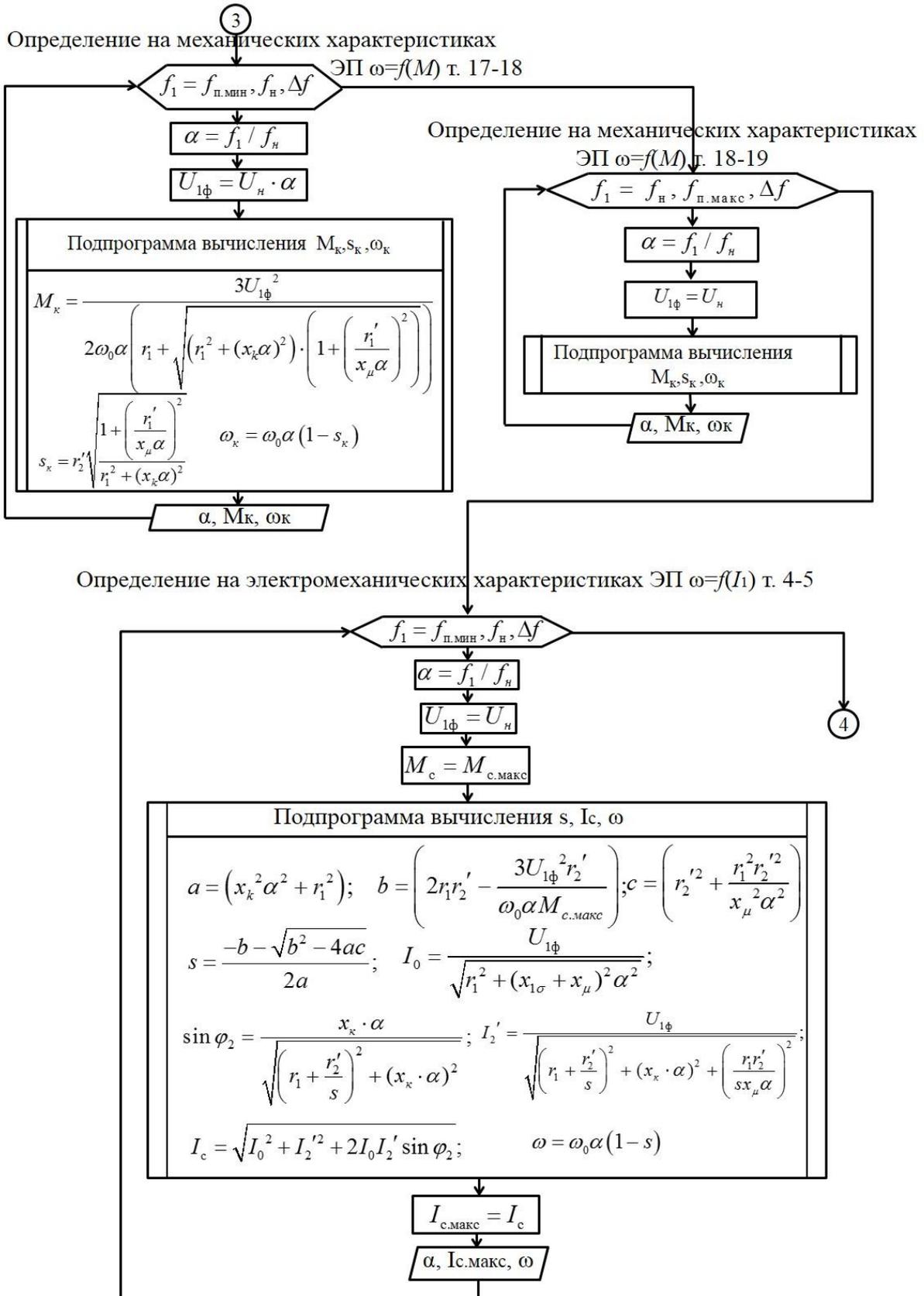
Этот процесс продолжается до тех пор, пока значения  $s_{\text{макс}}$  и  $s$  не совпадут. После этого продолжают вычисления  $f_{\text{н.макс}} = \alpha_{\text{макс}} f_{\text{н}}$ ,  $M_{\text{эп.макс}}$ ,  $I_{\text{эп.макс}}$  и  $\omega_{\text{эп.макс}}$  по вышеприведенным формулам в т.15 (рис. 2).

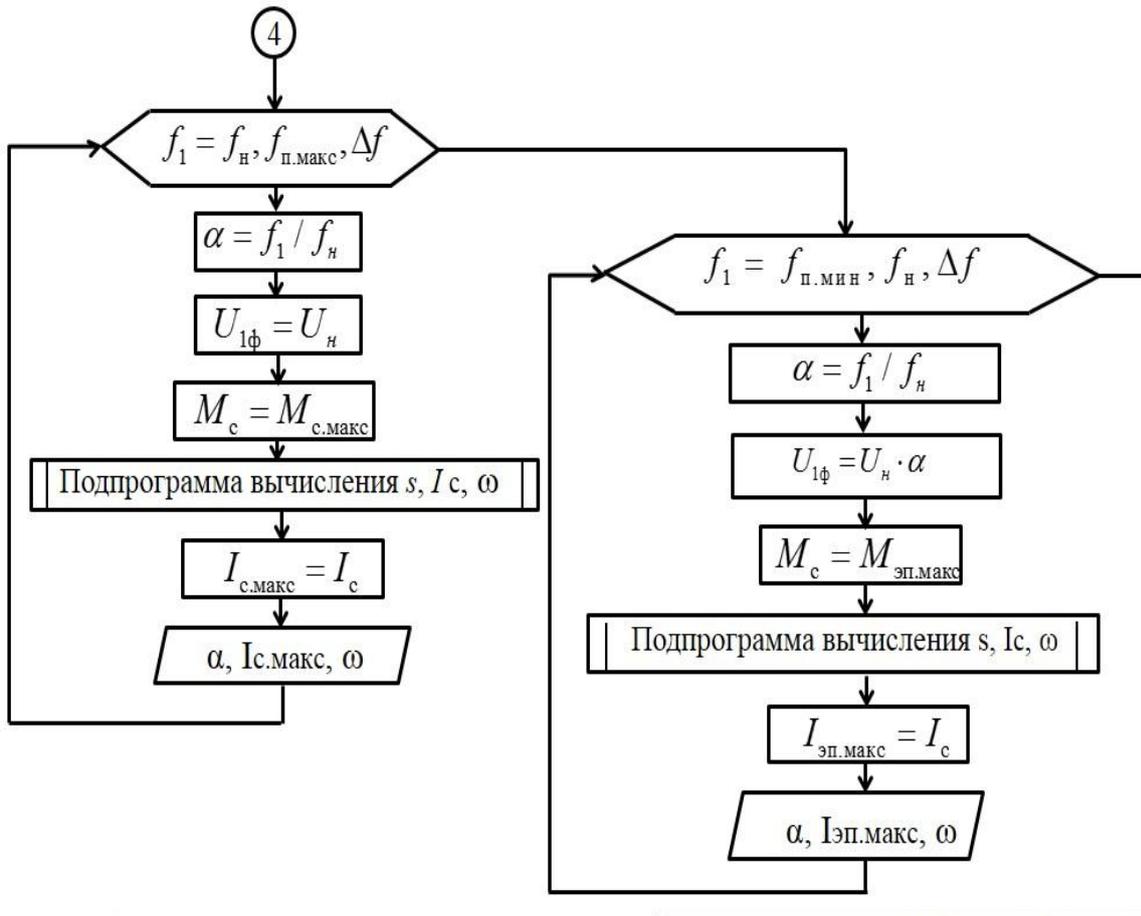
Детальный алгоритм расчета механических и электро-механических характеристик разомкнутой системы ЭП ПЧ-АД при скалярном управлении по закону  $U_1 / f_1 = \text{const}$  представлен на рисунке 3.



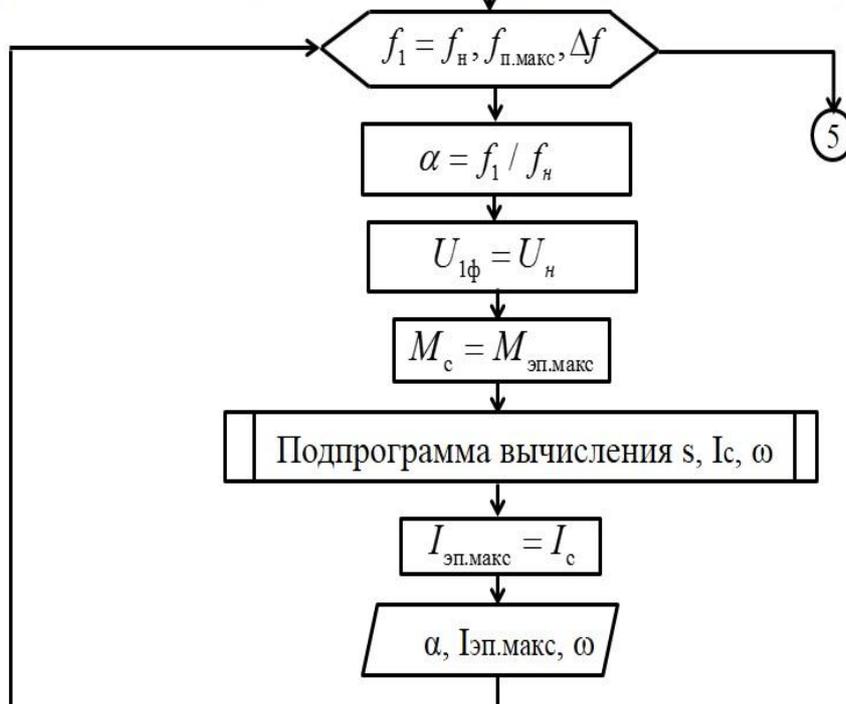








Определение на электро механических характеристиках ЭП  $\omega=f(I)$  т. 14-15-16



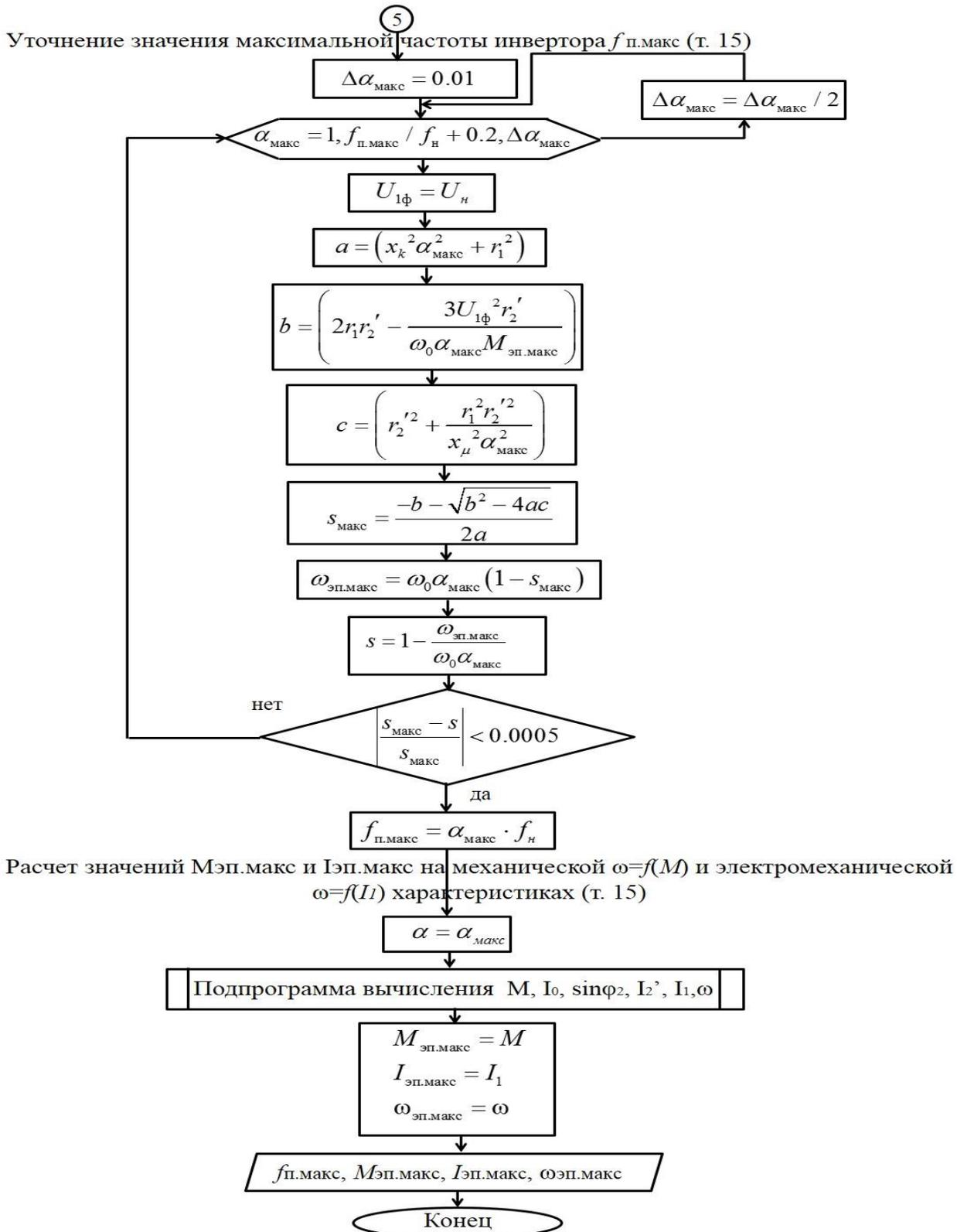


Рисунок 3. Блок-схема алгоритма расчета механических и электромеханических характеристик разомкнутой системы электропривода ПЧ-АД и определение области работы ЭП при

скалярном управлении по закону  $\frac{U_1}{f_1} = \text{const}$

По результатам построения механических характеристик ЭП  $\omega=f(M)$  и нагрузки (рис. 2а) проверяется правильность выбора АД по моменту:

$$\left. \begin{aligned} M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) &\geq M_{\text{с.макс}} \\ M_{\text{дв.макс}}(\omega) &\geq M_{\text{эл.макс}} \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

По результатам построения электромеханических характеристик ЭП  $\omega=f(I_1)$  (рис. 2б) проверяется правильность выбора АД по току:

$$I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) \geq I_{\text{с.макс}} \quad (34)$$

В случае невыполнения этих условий только на высоких или только на низких угловых скоростях диапазона регулирования, меняют передаточное число механической передачи рабочей машины для смещения диапазона регулирования в сторону, где условия выполняются. При невозможности обеспечения этих условий изменением передаточного числа, по возможности сужают диапазон регулирования скорости ЭП, например, от  $\omega_{\text{эл.мин}}$  до  $\omega_{\text{т.20}}$  (рис. 2а), либо используют другие более эффективные способы управления в системе ПЧ-АД с коррекцией вольт-частотной характеристики.

Из рисунка 2а очевидно, что условие проверки не выполняется по длительно допустимому моменту  $M_{\text{дв.длит.доп}}$  на низких угловых скоростях из-за необходимости снижения тока АД  $I_{\text{дв.длит.доп}}$  по причине ухудшения охлаждения при угловой скорости  $\omega \leq 0,5\omega_{\text{дв.н}}$ . Об этом также свидетельствует и резкое падение момента критического АД  $M_{\text{кр}}$  в этом диапазоне скоростей. Это обусловлено значительным снижением потока возбуждения статора АД на низких скоростях из-за падения напряжения на обмотках статора. Расширение диапазона регулирования может быть достигнуто настройкой вольт-частотной характеристики ПЧ, т.е. повышением напряжения питания обмоток статора АД при малых частотах или скоростях.

Для расчета повышения напряжения питания обмоток статора при малых скоростях воспользуемся методиками, приведенными в работах [5; 11], обеспечивающими расчет параметров и характеристик систем ЭП при частотном управлении и стабилизации потокосцепления статора  $\psi_1 = \text{const}$ , взаимной индукции  $\psi_m = \text{const}$  и ротора  $\psi_2 = \text{const}$ .

По указанным методикам были разработаны детальные алгоритмы расчета параметров схемы замещения, механических и электромеханических характеристик АД при указанных законах стабилизации потокосцепления [12, 13].

Приведенные расчеты показали, что корректировка стандартной вольт-частотной характеристики  $U_n/f_n = \text{const}$  необходима в большей степени на низких частотах и практически не нужна при частоте 25 Гц и выше, так как от вольт-частотной характеристики  $U_n/f_n = 220/50 = 4,4 = \text{const}$  при частоте 25 Гц вычисленное среднеарифметическое значение напряжения при стабилизации потокосцепления и номинальном токе нагрузки АД только на 3 % превышает стандартную характеристику, при 10 Гц на 14 % и

при 5 Гц на 33 %, соответственно. Таким образом, для частот напряжения питания статора от  $0,5f_n$  до  $f_n$  целесообразно использовать закон управления  $U_n/f_n = 220/50 = 4,4 = \text{const}$  и соответственно фазное напряжение при этих частотах вычислять по формуле  $U_{1\phi} = U_n \cdot \alpha$ . При частотах напряжения от 0 до  $0,5f_n$  целесообразно использовать закон управления  $U_1/f_1 = 4 = \text{const}$ , а фазное напряжение при этом вычислять по формуле:

$$U_{1\phi} = (U_n - 2U_0) \cdot \alpha + U_0, \quad (35)$$

где  $U_0$  – напряжение питания обмоток статора при его нулевой частоте (В), которое можно определить из уравнения прямой и вычисленных значений напряжения  $U_1$  для соответствующей частоты  $f_1$ :

$$U_1 = a \cdot f_1 + U_0, \quad (36)$$

где  $a = \frac{U_1}{f_1} = 4$ , тогда для точки пересечения

вольт-частотных характеристик с координатами  $(0,5f_n, 0,5U_n)$  запишем равенство:

$$110 = 4 \cdot 25 + U_0.$$

Откуда  $U_0 = 110 - 100 = 10$  В.

Далее, для скорректированной вольт-частотной характеристики ПЧ аналогично, т. 8-9 при  $\omega \leq 0,5\omega_{\text{дв.н}}$  для ряда значений относительной частоты

$a = \frac{f_{\text{н.мин}}}{f_n} \dots 0,5$ , находим значение скольжения  $s$ , со-

ответствующее решению системы нелинейных уравнений (18), где при вычислениях значений  $I_0, I_2'$  и соответственно  $I_1$  используется уже формула (35) для вычисления фазного напряжения.

Анализ выражений  $I_0, I_2'$  и  $I_1$  показывает, что при использовании скорректированной вольт-частотной характеристики ПЧ, ток  $I_1$  возрастет, что в свою очередь приведет к снижению скольжения  $s$ , повышению угловой скорости ротора АД  $\omega$  и свидетельствует о повышении нагрузочной способности АД по моменту  $M_{\text{дв.длит.доп}}$  и  $M_{\text{дв.макс}}$  на низких угловых скоростях и расширению диапазона регулирования его скорости (рис. 2а и 2б, т. 8'-9 и т. 17'-18).

### Заключение

1. Анализ полученных искусственных механических и электромеханических характеристик показывает (рис. 2), что зоны длительно допустимых нагрузок ( $M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega), I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega)$ ) и кратковременно допустимых нагрузок ( $M_{\text{дв.макс}}(\omega), I_{\text{эл.макс}}(\omega)$ ) имеют весьма сложную форму из-за снижения нагрузочной способности ЭП при угловых скоростях ниже  $0,5\omega_{\text{дв.н}}$  и выше  $\omega_{\text{дв.н}}$ .

2. Диапазон регулирования угловой скорости в разомкнутой системе ЭП ПЧ-АД может быть расширен при низких скоростях корректировкой вольт-частотной характеристики ПЧ.

3. Расчет и построение зон длительно и кратковременно допустимых нагрузок позволяет выбрать оптимальное передаточное число механической передачи

между АД и рабочей машиной, позволяющее максимально использовать приводной АД по мощности, что повышает энергоэффективность проектируемого ЭП.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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

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

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

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

5. Фираго, Б.И. Теория электропривода: учеб. пособие / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн.: Техноперспектива, 2004. – 527 с.

6. Мальцева, О.П. Системы управления электроприводов: учеб. пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удуд, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 82 с.

7. Чиликин, М.Г. Основы автоматизированного электропривода: учеб. пособие для вузов / М.Г. Чиликин, М.М. Соколов, В.М. Терехов, А.В. Шинянский. – М.: Энергия, 1974. – 568 с.

8. Чернышев, А.Ю. Электропривод переменного тока: учеб. пособие / А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213 с.

9. Удуд, Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: 4.8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учеб. пособие / Л. С. Удуд, Н.В. Кояин, О.П. Мальцева. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 354 с.

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

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

12. 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.И. Иванов, Е.М. Прищепова // Агропанорама. – 2016. – № 6 (118). – С. 20-30.

13. Прищепов, М.А. Расчет статических характеристик АД с короткозамкнутым ротором в двигательном и генераторном режимах при частотном управлении скоростью и стабилизации потока возбуждения / М.А. Прищепов, Е.М. Прищепова, Д.М. Иванов // Агропанорама. – 2017. – № 2 (120). – С. 26-36.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 27.09.2021

### Радиоволновой влагомер зерна

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

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



### Основные технические данные

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

УДК 621.316.99

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

**С.М. Барайшук,**

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

**И.А. Павлович,**

*ассистент каф. практической подготовки студентов БГАТУ*

**М.Х. Муродов,**

*доцент каф. энергетики Наманганского инженерно-строительного института, канд. техн. наук, доцент (Республика Узбекистан)*

**Х. Абдулхаев,**

*ст. науч. сотр. лаборатории Узбекского Научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства, канд. техн. наук*

**А.Н. Скрипко,**

*ведущ. техн. специалист ООО «ТерраЦинк», канд. техн. наук*

*Рассмотрены способы уменьшения сопротивления электролитического заземления изменением состава смеси заполнителя и смеси для околоэлектродного заполнения. Обоснована возможность применения для высокоомных, песчаных грунтов электролитических заземлителей. Проведен анализ влияния смесей для оптимизации заземления, содержащего гидрогели на сопротивление электролитического заземлителя.*

*Ключевые слова: заземляющее устройство, удельное электрическое сопротивление грунта, электролитическое заземление, смеси для оптимизации заземления, коэффициент сезонности, гидрогель.*

*The analysis of methods for reducing the resistance of electrolytic grounding by changing the composition of the mixture of the filler and the mixture for near-electrode filling has been carried out. The possibility of using electrolytic ground electrodes for high-resistance sandy soils has been substantiated. The effect of mixtures for optimization of grounding, containing hydrogels, on the resistance of an electrolytic grounding electrode has been investigated.*

*Key words: grounding device, electrical resistivity of the soil, electrolytic grounding, mixtures for optimizing grounding, seasonality coefficient, hydrogel.*

### Введение

В условиях засушливого климата и ограниченных водных ресурсов в песчаных грунтах с высоким удельным сопротивлением растеканию тока при проектировании и монтаже заземляющих устройств нормативные документы рекомендуют использовать ряд технических решений [1]. Одним из таких решений с целью снижения сопротивления грунта в околоэлектродном пространстве является обработка грунта веществами, неагрессивными к материалу заземлителя. Для этого используют различные виды околоэлектродных заполнителей.

Одним из вариантов является использование засыпки смеси, состоящей из глины и угольной или коксовой мелочи (дисперсного графита). При этом глина в таком варианте используется, прежде всего, как компонент, удерживающий влагу в околоэлектродном пространстве, а углеродсодержащие компоненты уве-

личивают проводимость. Идея технологии частичной замены глины на гидрогель возникла при изучении трудов Ташкентского института ирригации, специалисты которого участвовали в разработке некоторых видов гидрогеля [2-3]. Их исследования показали, что гидрогель дает возможность улучшения грунтов и стабилизации их влажности в зонах с серьезными климатическими ограничениями, что теоретически может позволить упростить строительство систем заземления в засушливых районах с песчаными почвами, являясь важной составляющей агропромышленных проектов, таких как хлопковые поля в Узбекистане.

Еще одним известным способом строительства заземления для сложных условий является применение электролитических заземлителей (рис. 1). Электролитический заземлитель – это электрод 3, который имеет форму трубки, диаметром 50-110 мм и длиной от 3 м, выполненный из нержавеющей стали с перфорацией на

Основная часть

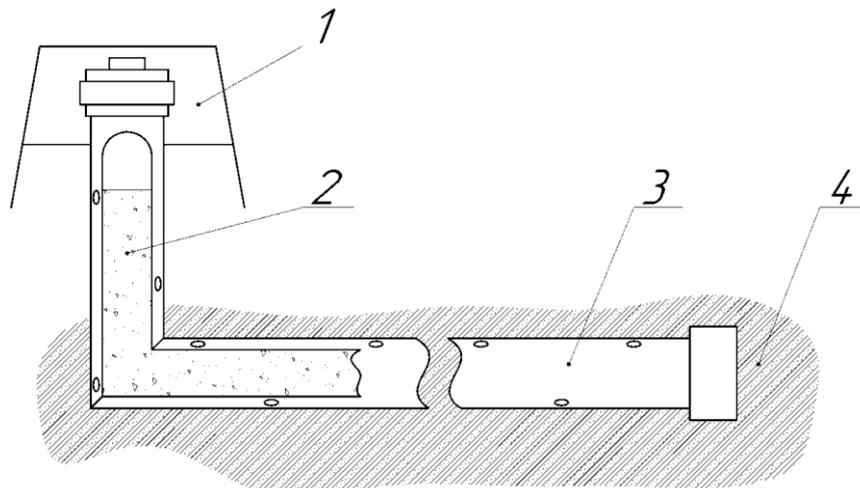


Рисунок 1. Электролитическое заземление:  
1 – колодец для обслуживания; 2 – минеральный наполнитель;  
3 – электрод; 4 – околоэлектродный наполнитель

В данной работе измерение сопротивления растеканию тока экспериментальных образцов осуществлялось при помощи измерителя сопротивления заземления ИС-10 следующим образом. Исследуемый пробный электрод при помощи измерительных кабелей соединяли с гнездами Т1 и П1. Потенциальный штырь П2 установили в грунт на расстоянии 4 м от измеряемого электрода (рис. 2).

Токовый штырь Т2 установили в грунт на расстоянии, не менее 40 м от пробного электрода и подключали соединительным кабелем к разъему Т2 прибора. Пробный электрод, токовый и

стенках. Electrodes filled with electrolyte 2 based on mineral salts [4-5]. Well-known mineral activators, produced on the territory of the SNP, are a mixture of ion-exchange salt, modified halogenid activator and PAB.

Перфорация предназначена для постепенного вымывания солей из электрода 3 в окружающий грунт 4, где они образуют электролит, который увеличивает электропроводность и снижает температуру промерзания грунта.

При использовании электролитов можно достигнуть значительного снижения удельного сопротивления грунта, однако такая система может работать только при достаточной влажности грунта и требует периодического обслуживания и пополнения внутреннего объема электрода.

Для решения этой задачи, при монтаже электролитического заземлителя грунт вокруг электрода 3 можно заменить специальным составом 4, который обеспечит повышенную влажность, а значит, лучшую диффузию солей 2 и более высокую эффективность, либо предусмотреть принудительное увлажнение грунта в местах заложения заземления.

Целью работы является разработка состава для электролитического заземления и изучение возможности улучшения эксплуатационных характеристик электролитического заземления применением ранее разработанных смесей, стабилизирующих влажность и увеличивающих проводимость в околоэлектродном пространстве [6-9].

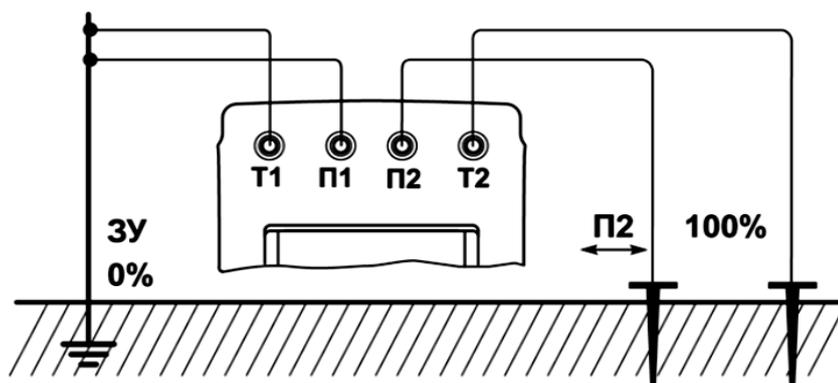


Рисунок 2. Схема измерения сопротивления заземления экспериментальных электродов при помощи ИС-10

потенциальный измерительные штыри выстраивали в одну линию. При установке измерительных штырей их заглубляли в грунт не менее чем на 0,5 м.

Производилась серия измерений сопротивления заземления при последовательной установке потенциального штыря в грунт на расстоянии 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 и 90 % от расстояния до второго токового штыря. После чего строился график зависимости сопротивления от расстояния между 3У и потенциальным штырем П2. Если сопротивление в средней части графика достаточно равномерно возрастает, то за истинное принимается значение между точками участка с минимальной разницей (не более 5 %) значений сопротивления. В противном случае все расстояние от пробного электрода до штырей П2 и Т2 увеличивалось в 1,5-2 раза или менялось направление установки штырей.

Влияние сопротивления измерительных кабелей на результат измерения было скорректировано путем использования четырехпроводного метода измерения, используя внутренние функции прибора.

Применяя 4-х зондовый способ, измерялось удельное сопротивление грунта в месте заложения экспериментальных электродов.

Также проводились лабораторные измерения удельного сопротивления грунта и смесей на установке, собранной согласно ГОСТ 9.602–2016, по схеме, представленной на рисунке 3. При этом были использованы:

- источник постоянного тока стабилизированный Union Test HY 3005d;
- миллиамперметр Victor класса точности 1.5 с диапазоном 100 и 500 мА;
- вольтметр Victor с входным сопротивлением не менее 1 Мом;
- ячейка прямоугольной формы с внутренними размерами:  $a = 100$  мм;  $b = 45$  мм;  $h = 45$  мм (рис. 3) из диэлектрического материала (стекло).

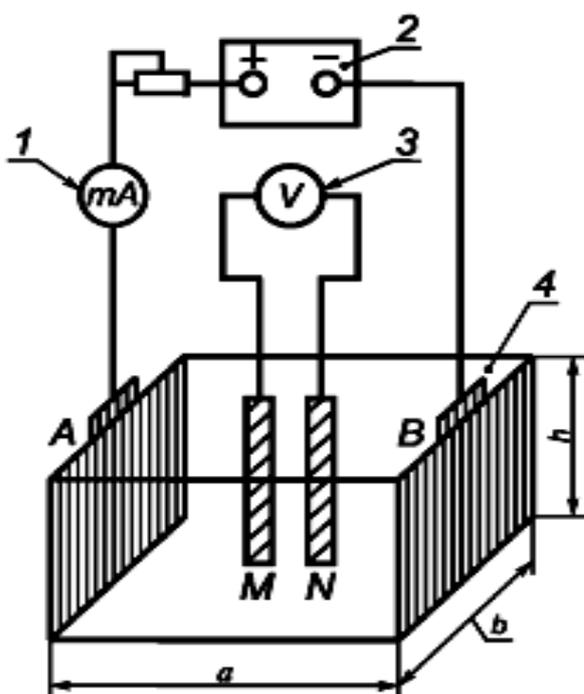


Рисунок 3. Схема установки для определения удельного электрического сопротивления грунта и смесей в лабораторных условиях:

- 1 – миллиамперметр; 2 – источник тока;
- 3 – вольтметр; 4 – измерительная ячейка размерами  $a$ ,  $b$ ,  $h$ ; A, B – внешние электроды; M, N – внутренние электроды

Электроды внешние (A, B) размером  $44 \times 40$  мм ( $40$  мм – высота электрода) в виде прямоугольных пластин из нержавеющей стали с ножкой, к которой крепят проводник-токопровод. При этом одну сторону каждой пластины, которая примыкает к торцовой поверхности ячейки, изолировали.

Электроды внутренние (M, N) из медной проволоки, диаметром  $2$  мм и длиной на  $60$  мм больше высоты ячейки.

Введение в пустотелый перфорированный электрод сухих электролитических составов при дальнейшей их реакции с водой, либо грунтовыми водами позволяет формировать обширную область грунта со значительно более низким, в сравнении с обычным, сопротивлением растеканию тока, что позволяет достигать снижения сопротивления растеканию тока контура заземления до  $10$  раз, в сравнении с контуром, занимающим аналогичную площадь. В данном случае корректно сравнивать с заземляющим контуром (электродом), занимающим именно ту же строительную площадь, который монтируется без использования активных (химических) компонентов.

На начальном этапе проводилось исследование гидростабилизирующих свойств смесей, в зависимости от содержания в них гидрогелей, результаты которого представлены на рисунке 4.

Как видно, при концентрации выше  $0,7\%$  сопротивление меняется незначительно, а при превышении концентрации  $1,2\%$  транспортная функция сшитых сополимеров достигает насыщения, и сопротивление смесей практически не изменяется, что позволяет говорить о том, что повышение концентрации более  $1,3\%$  не будет эффективным. При этом массовая доля электролитов в системе будет достигать  $18-20\%$ .

Как показано ранее в источнике [9] (рис. 5), оптимальным для растворения солевых оснований и уменьшения сопротивления грунта будет массовое содержание влаги от  $16\%$ .

Как видно из графиков, влажность смеси менее  $18\%$  приводит к росту сопротивления за счет уменьшения транспортной функции состава. При этом концентрация соли в смеси с грунтом (рис. 6) от  $75\%$  достаточна для поддержания сопротивления на стабильно низких значениях  $\sim 12-13$  Ом·м.

Однако при такой высокой концентрации соли значительно снижается транспортная характеристика сшитых сополимеров, и оптимальный уровень проводимости достигается уже при влажности, превышающей  $45\%$  (рис. 7).

При этом, как видно из рисунка 7, влажность менее  $25\%$  значительно увеличивает сопротивление смеси. Компенсировать это необходимое увеличение влажности можно введением формовочных добавок на основе бентонитовых глин. Кроме того, для оптимизации транспортных свойств сшитых сополимеров и компенсации эффекта засаливания свободной смоле с регенеративной способностью на применяемой соли в концентрации от  $1:1$  до  $1:2$  к сополимеру. Введение от  $5\%$  проводящих составов (дисперсный углерод, металлическая стружка, и т.п.) позволяет до  $30\%$  снизить проводимость внутри самого полого электролитического заземлителя.

Таким образом, оптимальные параметры состава для заполнения электрода можно представить в следующем виде (табл. 1):

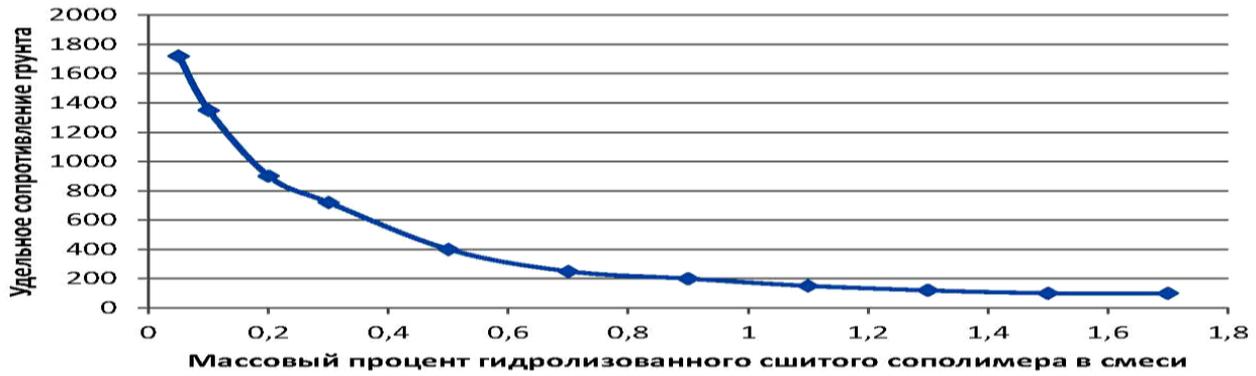


Рисунок 4. Зависимость удельного сопротивления грунта от содержания в нем активированного гидрогеля

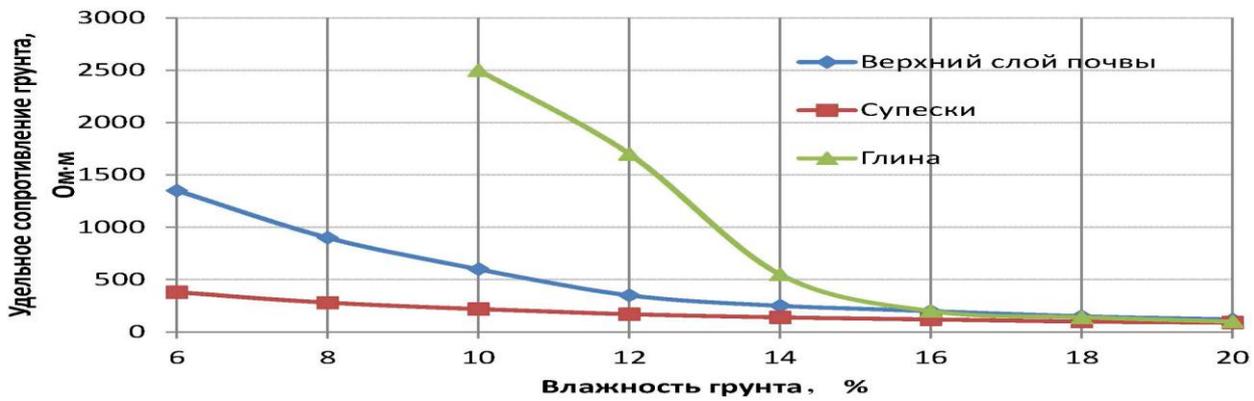


Рисунок 5. Зависимость удельного сопротивления смеси от влажности

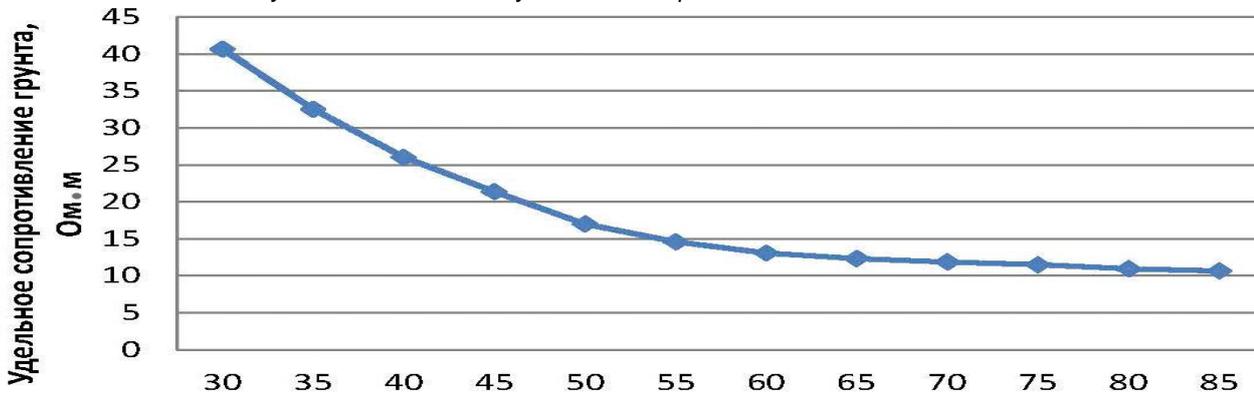


Рисунок 6. Зависимость удельного сопротивления смеси от массовой доли соли

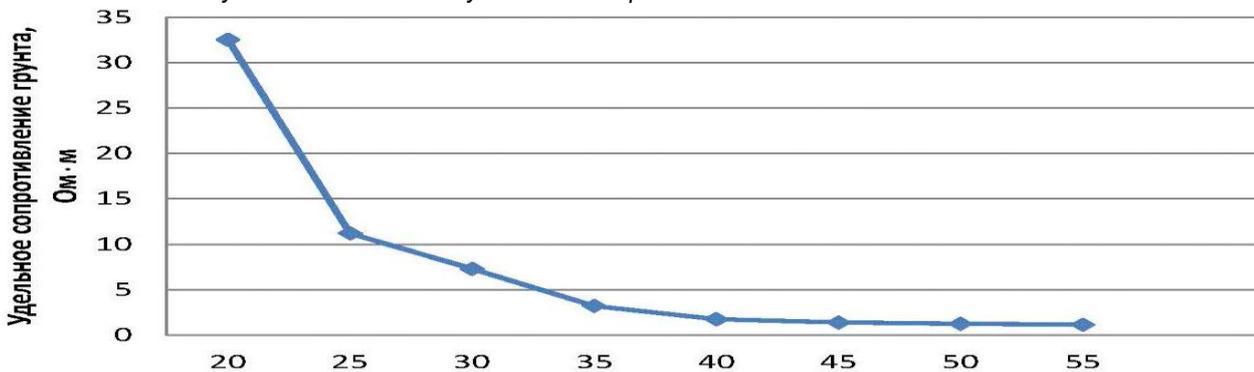


Рисунок 7. Зависимость удельного сопротивления смеси от влажности при массовой доле соли 80 %

**Таблица 1. Параметры смеси для заполнения электролитического электрода**

Наименование компонента для заполнения электролитического заземлителя	Диапазон оптимальных концентраций в массовых процентах
Соль ионообменная	75-80
Бентонитовые глины	11,4-16,4
Графит (металлическая стружка)	>5
Гидролизированный сополимер	>1,2
Смола ионообменная	>2,4

Натурные эксперименты выполнялись на земельном участке, свободном от каких либо подземных коммуникаций. Испытания проводились с использованием серийно выпускаемых электролитических электродов компании «Террацинк» для горизонтальной установки длиной 3 м с вертикальной частью, используемой для заполнения химическими реагентами. Технология монтажа электролитического электрода предполагает грунтозамещение вокруг электрода смесью, а также наполнение активным содержанием непосредственно самого электрода.

Для проведения исследований было смонтировано несколько электролитических заземлителей с различными видами активного содержимого электрода и различными грунтозамещающими смесями:

- электрод № 1 – по технологии производителя;
- электрод № 2 – с сухим электролитическим наполнителем производителя и с увлажненной приэлектродной засыпкой на основе гидрогелей;
- электрод № 3 – с увлажненным электролитическим наполнителем без приэлектродной засыпки;
- электрод № 4 – с увлажненным электролитическим наполнителем и с увлажненной приэлектродной засыпкой на основе гидрогелей;
- электрод № 5 – контрольный образец, состоящий из трех оцинкованных вертикальных составных заземлителей, длиной 1 метр, соединенных полосой 4x10 мм, длиной 3 метра, расположенных по контуру.

Для измерения сопротивления заземления, в случае растекания токов низкой частоты, использовалась четырехэлектродная схема с расположением вспомогательных электродов (рис. 2).

Первые измерения сопротивления были произведены непосредственно после монтажа электродов. В таблице 2 приведены результаты измерения сопротивлений заземления непосредственно после монтажа и по истечении 30 дней (устоявшийся грунт).

Обращают на себя внимание следующие особенности динамики изменения сопротивления заземления испытываемых образцов.

Сопротивление образца №1 после установки изменилось более чем на 40 %, что обусловлено постепенной диффузией солевого раствора из электрода и

солевого раствора, находящегося в приэлектродной засыпке в окружающий грунт.

Сопротивление заземления образцов № 2 и № 4 уже первоначально было на 10-15 % ниже, чем у электрода 1. Однако при усадке грунта уменьшилось на 15 % в первом случае и более чем на 50 % во втором, что обусловлено искусственным увлажнением приэлектродной засыпки перед монтажом с последующей диффузией увлажненного солевого раствора из электрода в грунт. Такое различие вызвано разной степенью увлажнения содержимого электрода, засыпки для этих образцов. Снижение сопротивления образца № 4 в течение первых 30 суток соответствует ранее известным исследованиям по применению смесей для оптимизации заземления [6], что совместно с электролитическим заземлением вызвало активную диффузию проводящих компонентов из тела электрода вглубь грунта, значительно снизив сопротивление. Подтверждением этому может служить значительное уменьшение объема засыпки внутри электрода в первые дни.

Объем состава во внутреннем объеме образцов № 1 и № 3 в течение первых 30 суток также уменьшилось, но незначительно, так как по технологии производителя после монтажа электродов требовалось проливать водой солевой состав в их внутреннем объеме. После пополнения солевой состав должен продолжить растворяться с помощью естественной влаги, содержащейся в грунте.

Сопротивление контрольного контура заземления изменилось в диапазоне 3 %, что может быть обусловлено колебаниями влажности грунта, и фактически подтверждает отсутствие внешнего влияния на результаты экспериментов, а также показывает, что электролитические заземлители позволяют до 10 раз снизить сопротивление контура заземления, имеющего ту же строительную площадь, что и традиционное заземление.

Последующие измерения проводились один раз в 1-2 недели для каждого исследуемого электрода. В измерениях всех образцов характер временной зависимости в целом повторяется, но в существенно сглаженной форме. Здесь надо отметить крайне не-

**Таблица 2. Результаты измерения сопротивлений заземления непосредственно после монтажа электродов и через 30 дней**

Измерения сопротивлений заземления	Электрод № 1	Электрод № 2	Электрод № 3	Электрод № 4	Контрольный образец
После монтажа	47,9	42,3	48	40	211
Через 30 дней	27,5	36,2	37,5	17,4	204

значительное изменение сопротивления заземления химически активных электродов.

### Заключение

Проведенные исследования показали, что сопротивление электролитических заземлителей слабо реагирует на изменения погодных условий, что является положительным качеством электролитических заземляющих устройств. Наличие предложенного состава смеси во внутреннем объеме электролитического заземляющего электрода оказывает влияние на снижение значения сопротивления заземления только после вступления в реакцию с почвой через некоторый промежуток времени, достаточный для наступления равновесного влагопоглощения гидрогелем, входящим в состав смеси. Ускорить этот процесс можно лишь значительным предварительным увлажнением грунта в месте монтажа такого заземлителя. Исследование электролитического электрода в сочетании с грунтозамещающей смесью подтверждает, что его эффективность выше, чем без применения смесей для оптимизации заземления и открывает возможность использования таких систем в регионах с сухой песчаной почвой, с высоким удельным сопротивлением. Это особенно актуально при проектировании и строительстве систем заземления для Узбекистана и южных регионов Республики Беларусь.

Предложенные составы смеси для заполнения электролитических заземлителей показали более высокую эффективность, чем предоставленный ООО «Террацинк» контрольный образец, и могут быть внедрены в производство данной компании.

Для выяснения долговременных эксплуатационных характеристик электролитических заземлителей, как с применением внешних смесей, так и без них, необходимо провести дополнительные измерения в различных температурных и влажностных режимах, в том числе в зимний период времени, а также провести совместные исследования гидрогелей для оптимизации их применения в системах заземления.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила и защитные меры электробезопасно-

сти. Учет электроэнергии. Нормы приемосдаточных испытаний: ТКП 339-2011(02230). – Введ. 23.08.2011. – Минск: Министерство энергетики Республики Беларусь, 2011. – 593 с.

2. Ширинов, Ш.Д. Исследование кинетики набухания синтезированных гидросорберов на основе гидролизованного полиакрилонитрила / Ш.Д. Ширинов, А.Т. Джалилов // *Universum: Химия и биология: электронный научный журнал*. – 2018. – № 3(45).

3. Исследование нового гидрогеля, синтезированного на основе крахмала, акриламида и бентонита / Б.А. Холназаров [и др.] // *Universum. Технические науки: электронный научный журнал*. – 2019. – № 4 (61).

4. Носкова, С.В. Сопротивление Электролитического заземлителя. Особенности расчета / С.В. Носкова // *Новости ЭлектроТехники*. – 2020. – № 1 (121). – № 2 (122). – С. 72-77.

5. Грибанов, А.Н. Бипрон – заземление электроустановок / А.Н. Грибанов // *Экспозиция Нефть. Газ*. – 2016. – № 4. – С. 72-75.

6. Барайшук, С.М. Снижение сопротивления заземляющих устройств применением обработки грунта неагрессивными к материалу заземлителя стабилизирующими влажностью добавками / С.М. Барайшук, И.А. Павлович // *Агропанорама*. – 2020. – № 1 (137). – С. 20-23.

7. Драко, М.А. О разработке смеси на основе гидролизованного полиакрилонитрила для уменьшения удельного электрического сопротивления грунта / М.А. Драко, С.М. Барайшук, И.А. Павлович // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. – № 23 (1). – С. 80-92.

8. Tendencies in the design of the grounding devices for the electrical installations of the belarusian energy system: papers from Rudenko International Conference «Methodological problems in reliability study of large energy systems» (RSES 2020), Kazan, Russia, September 21-26, 2020 / E3S Web of Conf ; ed.: N. Voropai, S. Senderov, A. Michalevich and H. Guliev. – Kazan, 2020. – 155 p.

9. Барайшук, С.М. Снижение сезонных колебаний сопротивления растеканию тока заземляющих устройств применением смесей для стабилизации влажности грунта / С.М. Барайшук, И.А. Павлович, М.И. Кахоцкий // *Эпоха науки: междунар. науч.-практич. журнал*. – 2020. – № 24. – С. 87-93.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 21.09.2021

УДК 631.3.072

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ФОРСУНОК ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ COMMON RAIL НА ПРИМЕРЕ ТРАКТОРА «БЕЛАРУС» С ДВИГАТЕЛЕМ Д-243.5S3В

Д.А. Жданко,

декан факультета «Технический сервис в АПК» БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

О.О. Мухля,

магистрант факультета «Технический сервис в АПК» БГАТУ

*В статье приведена методика оценки технического состояния форсунок топливной системы COMMON RAIL на примере трактора «БЕЛАРУС» с двигателем Д-243.5S3В по скорости падения системного давления.*

*Ключевые слова: мобильное энергетическое средство, топливная система, форсунка, двигатель внутреннего сгорания, давление, датчик давления, осциллограф.*

*The article describes the methodology for assessing the technical condition of the fuel burner COMMON RAIL on the example of the tractor "BELARUS" with a D-243.5S3B engine by the speed of the system pressure drop.*

*Key words: mobile power vehicle, fuel system, fuel burner, internal combustion engine, pressure, pressure sensor, oscilloscope.*

### Введение

При возникновении неисправности во время эксплуатации энергетического средства (загорании, мигании диагностической лампы системы COMMON RAIL) необходимо произвести диагностику данной системы с помощью диагностической лампы и диагностической клавиши, и устранить выявленные неисправности. Для расширенной диагностики, в соответствии со стандартом OBD-II, также необходимо использовать системные сканеры «BOSCH KTS», ДК-5, СКАНМАТИК и др., поддерживающие протоколы диагностики [1].

Не все возникающие неисправности могут быть записаны в память блока управления. Поэтому во время работы дизеля необходимо следить за показаниями приборов, цветом выхлопных газов, прислушиваться к работе дизеля. При появлении ненормальных шумов следует остановить дизель, выявить причину неисправности и устранить ее. Если неисправность устранить не удалось, следует провести диагностику топливной системы.

Существует способ диагностирования форсунок без их демонтажа с двигателя внутреннего сгорания, сравнительным анализом объема поступающего топлива в обратную линию. Для реализации этого метода диагностики достаточно применения простейшего оборудования и немного времени [1-5].

Недостатком данного метода является то, что он не позволяет с высокой точностью определять техническое состояние форсунки. Можно только проверить состояние электромагнитного клапана. При этом следует отметить, что речь идет о сравнительном испытании, то есть, если отклонения в работе присутству-

ют у всего комплекта форсунок, то определить неисправность будет невозможно.

Известен способ диагностирования форсунок с демонтажем их с двигателя внутреннего сгорания с использованием специализированных стендов. Основой метода диагностики является анализ соответствия длительности управляющих импульсов и количества впрыснутого топлива [2].

Недостатком известного способа является трудоемкость процесса, высокая стоимость оборудования (стендов).

Данная работа рассматривает вопросы изменения системного давления топлива в зависимости от состояния форсунки COMMON RAIL без демонтажа с тестируемой машины.

Вопросы проектирования, расчета и методы исследования процессов топливоподачи современных аккумуляторных систем рассматривались в трудах МГТУ им. Баумана, МАДИ, МАМИ, БНТУ, БГАТУ, БашГАУ, Южно-Уральского ГУ, Владимирского ГУ, ХНАДУ, концернами ЯЗДА, АЗПИ, Bosch, Denso, Delphi, Siemens, Caterpillar и многих других. Это нашло отражение в работах ученых: Р.М. Баширова, А.Н. Врублевского, И.И. Габитова, Л.В. Грехова, Л.Н. Голубкова, П.В. Душкина, М.В. Мазинга, А.В. Неговора, Ф.И. Пинского, Ю.Д. Погуляева, Г.Г. Тер-Мкртчяна, А.А. Прохоренко, П.В. Курманова, N. Cavina, P. Beirer, L. Guzzella, F. Payri, J. Wang, A. Takamura, S. Fukushima, Yong-Kwam Kim, Y. Hayakawa и многих других.

В результате обзора научных работ выявлено, что основная их часть посвящена вопросам оптимизации и конструирования. В то же время, не менее важной составляющей является эксплуатация акку-

муляторных топливоподающих систем. Вопросы обслуживания, диагностики и ремонта аккумуляторных топливных систем нашли отражение в работах исследователей А.Н. Врублевского, А.Г. Габбасова, И.И. Габитова, Л.В. Грехова, И.К. Данилова, А.С. Денисова, Е.Ю. Зенкина, В.А. Ильина, В.Н. Катаргина, А.А. Козеева, А.Ю. Конькова, В.А. Маркова, Ю.А. Пойда, С.Н. Кривцова, А.В. Неговора, Ш.Ф. Нигматуллина и других.

### Основная часть

Объектом данного исследования являлась топливная система COMMON RAIL дизельного двигателя Д-243.5S3В трактора «БЕЛАРУС».

Для получения экспериментальных данных использовались:

- системный сканер ДК-5 с использованием ПО EDCDiags 6.01.18;
- осциллограф MT PRO 4 с базовым ПО;
- специально изготовленный адаптер-переходник для снятия сигнала с датчика высокого давления топлива BOSCH 0281002937 без отключения от него штатного разъема;
- заведомо неисправная тестовая форсунка BOSCH 0445120245 с увеличенным возвратом топлива (VL test fuel leak 190 ml/min);
- токовые клещи Nantek cc-65 для подключения и синхронизации по первому цилиндру.

Суть способа состоит в том, что оценка технического состояния топливной форсунки CR осуществляется путем построения линии тренда по формуле линии тренда для оценки скорости падения уровня системного давления топлива на испытуемом участке осциллограммы. Для этого используется специальный переходник для снятия сигналов со штатного датчика давления топлива, устанавливаемый в разрыв между штатным датчиком давления топлива и штатной электропроводкой энергетического средства (рис. 1), и осциллограф для записи аналогового сигнала датчика, который будет обработан посредством компьютерных программ (например, Microsoft Excel).

Оценка технического состояния форсунок производится следующим образом. Осциллограф 4 (рис. 2) подключается с помощью специального переход-

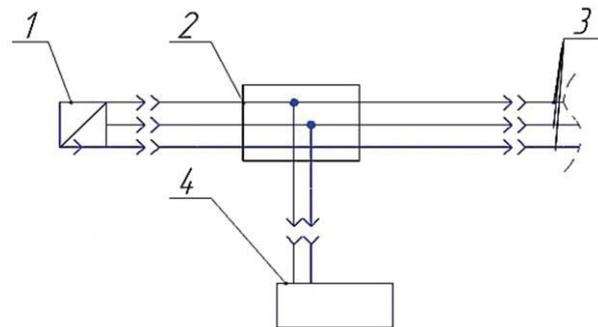


Рисунок 2. Электрическая схема подключения к штатной электропроводке энергетического средства

ника 2 к штатному датчику давления топлива 1 «в разрыв» электрической схемы 3. Настраивается осциллограф 4 в соответствии с тестируемым сигналом от 0 до 5 В. Запускается двигатель внутреннего сгорания испытуемого транспортного средства (трактора) прогреванием до рабочей температуры от 80 до 90 °С. Осциллограмма давления топлива снимается за определенный период (рис. 3), например 1 с. После этого делается выборка около  $t=0,003$  с на участке, после того как форсунка впрыснула порцию топлива в цилиндр двигателя внутреннего сгорания. Сохраняется выборка в файл \*.XLS.

Открываем сохраненный файл в Microsoft Excel, строим по точкам график и на график накладываем линию тренда, с обязательным отображением формулы линии тренда. После этого подставляем в уравнение первое и последнее значения. Далее от максимального значения давления топлива  $P_{\text{макс}}$  отнимаем минимальное значение давления  $P_{\text{мин}}$  и делим на длительность выборки, в нашем случае это  $t=0,003$  с.

Определяем скорость падения давления топлива в единицу времени:

$$V = ((P_{\text{макс}}) - (P_{\text{мин}})) / t ; \text{ МПа}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{макс}}$  – максимальное давление топлива, МПа;  
 $P_{\text{мин}}$  – минимальное давление топлива, МПа;  
 $t$  – длительность выборки, с.

Полученную линию тренда сравниваем с эталонной.

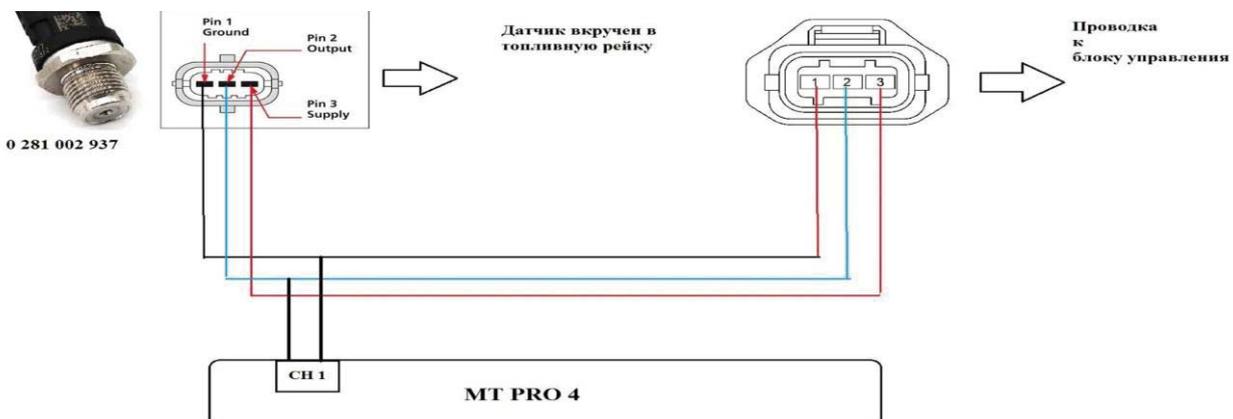


Рисунок 1. Подключение адаптера-переходника к датчику давления топлива и осциллографу

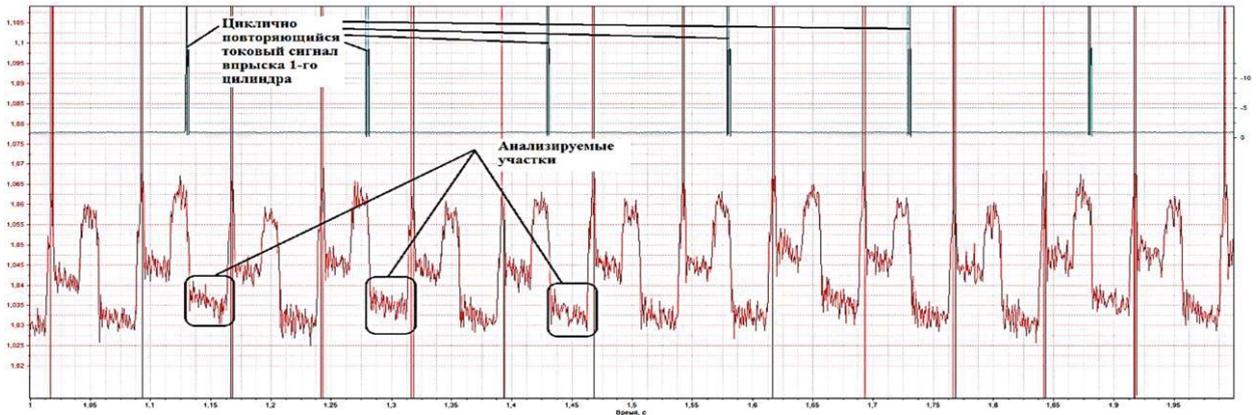


Рисунок 3. Осциллограмма работы датчика давления топлива с синхронизацией по впрыскам первого цилиндра

По разработанной методике были проведены экспериментальные исследования на примере трактора «БЕЛАРУС» с двигателем Д-243.5S3В.

Вначале исследования проводились с исправной форсункой. Анализируем выбранные участки с помощью программы MICROSOFT EXCEL (рис. 4-6):

t, сек	<b>0,003</b>
R <sub>ср</sub> , МПа	<b>23,63</b>
R <sub>мин</sub> , МПа	<b>22,42</b>
R <sub>макс</sub> , МПа	<b>24,79</b>
R <sub>ср</sub> -R <sub>мин</sub> , МПа	<b>1,21</b>
R <sub>макс</sub> -R <sub>ср</sub> , МПа	<b>1,16</b>
R <sub>макс</sub> -R <sub>мин</sub> , МПа	<b>2,37</b>
Ур. линии тренда	$y = -3E-06x + 23,67$
1	23,669997
30073	23,579781
R <sub>макс</sub> -R <sub>мин</sub> , МПа	<b>0,09</b>



Рисунок 4. Первый анализируемый участок изменения давления топлива

t, сек	<b>0,003</b>
R <sub>ср</sub> , МПа	<b>23,87</b>
R <sub>мин</sub> , МПа	<b>22,72</b>
R <sub>макс</sub> , МПа	<b>24,91</b>
R <sub>ср</sub> -R <sub>мин</sub> , МПа	<b>1,15</b>
R <sub>макс</sub> -R <sub>ср</sub> , МПа	<b>1,05</b>
R <sub>макс</sub> -R <sub>мин</sub> , МПа	<b>2,19</b>
Ур. линии тренда	$y = -6E-06x + 23,951$
1	23,950994
30073	23,770256
R <sub>макс</sub> -R <sub>мин</sub> , МПа	<b>0,18</b>



Рисунок 5. Второй анализируемый участок изменения давления топлива

t, сек	<b>0,003</b>
P <sub>ср</sub> , МПа	<b>23,94</b>
P <sub>мин</sub> , МПа	<b>22,78</b>
P <sub>макс</sub> , МПа	<b>25,09</b>
P <sub>ср-P<sub>мин</sub></sub> , МПа	<b>1,16</b>
P <sub>макс-P<sub>ср</sub></sub> , МПа	<b>1,15</b>
P <sub>макс-P<sub>мин</sub></sub> , МПа	<b>2,31</b>
Ур. линии тренда	y = -5E-06x + 24,011
1	24,010995
30073	23,860635
P <sub>макс-P<sub>мин</sub></sub> , МПа	<b>0,15</b>



Рисунок 6. Третий анализируемый участок изменения давления топлива

Полученные данные:

- длительность выборки анализируемого участка  $t = 0,003$ , с;
- среднее давление топлива  $P_{ср} = 23,63$ , МПа;
- минимальное давление топлива

$$P_{мин} = 22,42, \text{ МПа}$$

Строим линию тренда по нашей выборке. Уравнение линии тренда имеет вид

$$y = -3E-06x + 23,61 \quad (2)$$

Подставляем в уравнение первое и последнее значение величины давления топлива исследуемого участка

$$x_1 = 1, x_2 = 30073$$

Получаем значения

$$y_1 = 23,669997, y_2 = 23,579781$$

Вычисляем значение перепада величины давления топлива на исследуемом участке

$$\Delta P = P_{макс} - P_{мин} = 0,09 \text{ МПа}$$

Аналогично исследуем второй и третий участки. Вычисляем значение перепада величины давления топлива на исследуемом участке

$$\Delta P = P_{макс} - P_{мин} = 0,18 \text{ МПа}$$

Вычисляем значение перепада величины давления топлива на исследуемом участке

$$\Delta P = P_{макс} - P_{мин} = 0,15 \text{ МПа}$$

Среднее арифметическое значение перепада давлений трех участков:

$$P_{ср.арифм} = (0,09 + 0,18 + 0,15) / 3 = 0,14 \text{ МПа}$$

После этого заменили исправную форсунку первого цилиндра на заведомо неисправную.

Повторили снятие осциллограммы с датчика давления топлива (рис. 7).

Анализируем выбранные участки с помощью программы MICROSOFT EXCEL (рис. 8-10)

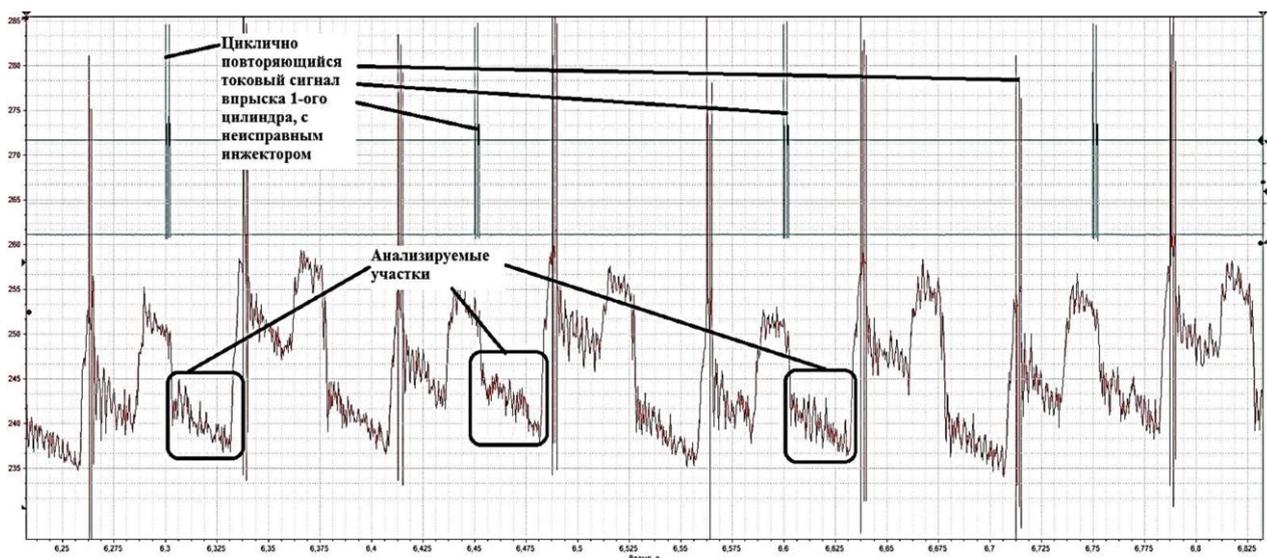


Рисунок 7. Осциллограмма работы датчика давления топлива с синхронизацией по впрыскам 1-го цилиндра (установлена неисправная форсунка)

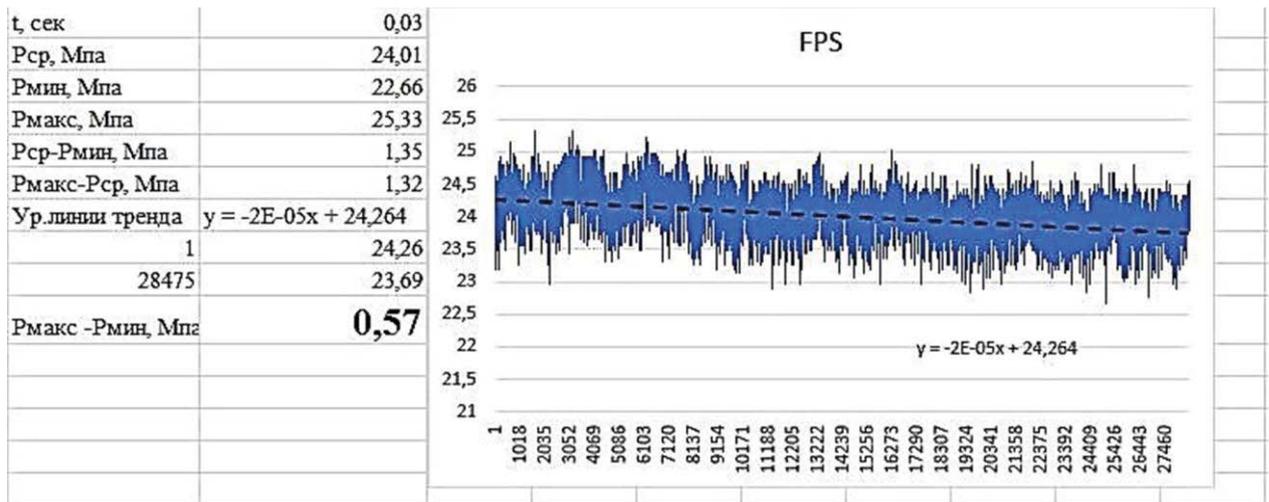


Рисунок 8. Первый анализируемый участок изменения давления топлива с установленной неисправной форсункой

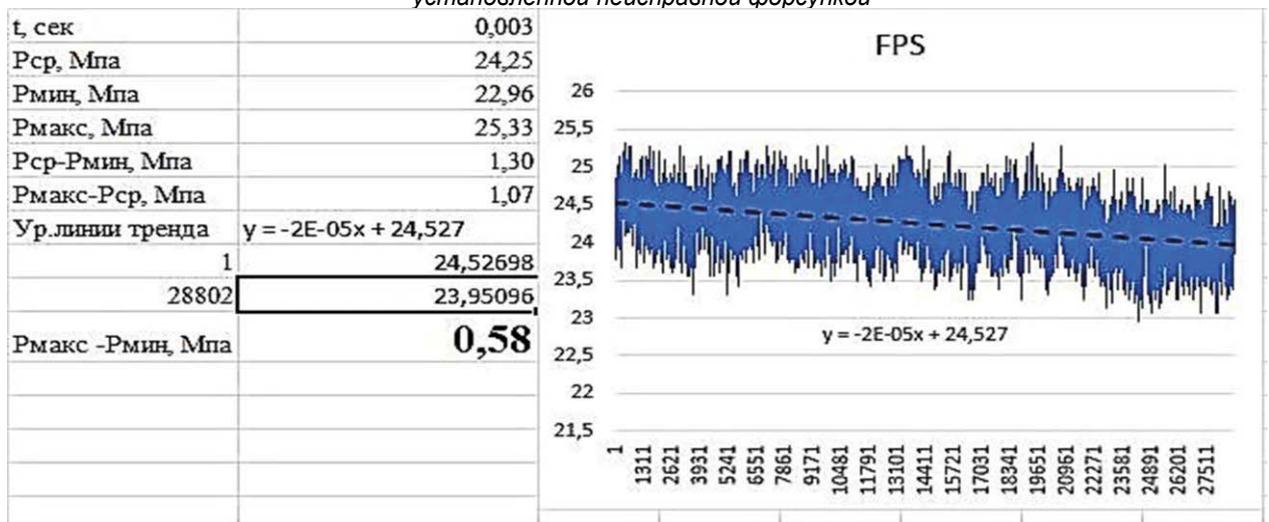


Рисунок 9. Второй анализируемый участок изменения давления топлива с установленной неисправной форсункой

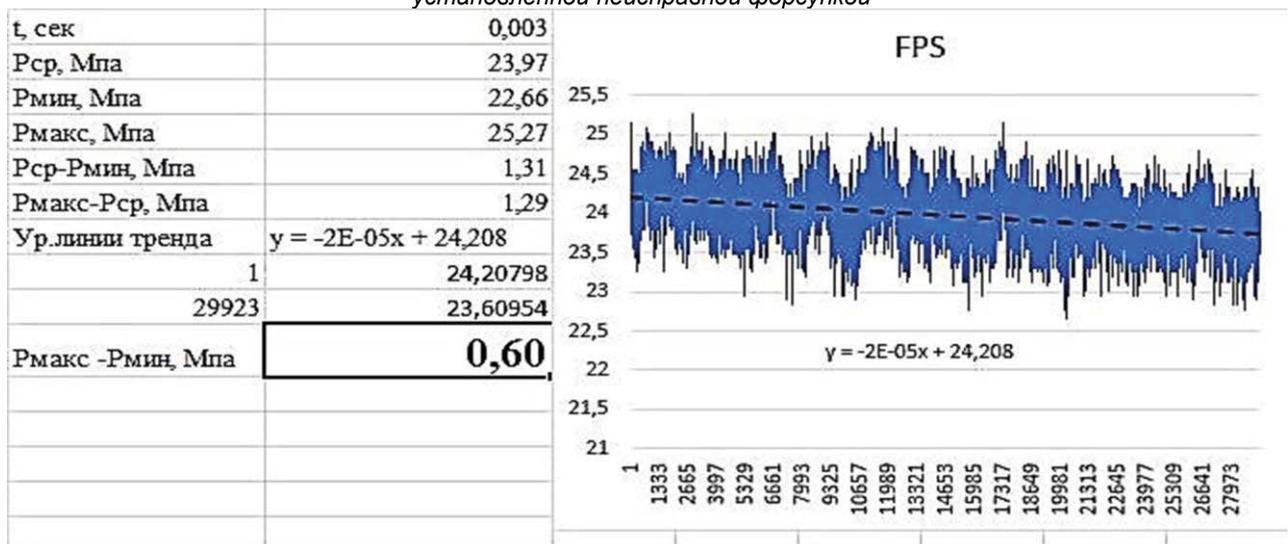


Рисунок 10. Третий анализируемый участок изменения давления топлива с установленной неисправной форсункой

Среднее арифметическое значение перепада давлений трех участков:

$$P_{\text{ср.арифм}} = (0,57+0,58+0,60)/3=0,583 \text{ МПа}$$

Сравнивая среднее давление диагностируемой форсунки со средним давлением эталонной, делаем заключение о ее техническом состоянии.

#### Заключение

1. Исследованы три участка изменения давления топлива с исправной форсункой и три участка с неисправной. После установки неисправной форсунки, на исследуемых участках осциллограмм явно видны изменения в линиях тренда. Таким образом, с помощью анализа скорости падения давления топлива за определенный период времени, возможна оценка технического состояния и прогнозирование остаточного ресурса форсунки топливной системы COMMON RAIL.

2. Проведенные исследования в будущем помогут правильно интерпретировать результаты диагностируемых дизельных двигателей и будут способствовать разработке системных комплексов, которые смогут в автоматическом режиме диагностировать неисправности топливных систем.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Управление надежностью сельскохозяйственной техники методами диагностики и триботехники: монография / В.П. Миклуш [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2019. – 392 с.
2. Тышкевич, Л.Н. Анализ методов и средств для диагностирования форсунок системы питания «COMMON RAIL» / Л.Н. Тышкевич, Б.В. Журавский // NovaInfo.Ru. – 2017. – № 65. – С. 22-26.
3. Электронное управление дизельными двигателями: учеб. пособие; перевод с английского / ЗАО «Легион-Автодата». – М., 2010. – 96 с.
4. Габнтов, И.И. Анализ неисправностей электрогидравлических форсунок типа COMMON RAIL / И.И. Габнтов, А.Р. Валиев, Р.А. Вахитов // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – Вып. № 11. – С. 41-43.
5. Методы диагностики дизельной топливной аппаратуры / П.В. Сенин [и др.] // Сельский механизатор. – 2015. – № 10. – С. 32-36.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 18.08.2021

УДК 331.101

## ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РИСКОВ РАЗВИТИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА В ПРОЕКЦИИ ГОРОДСКОГО И СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ БЕЛАРУСИ

Т.А. Тетеринец,

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

*Дана интегральная оценка рисков развития человеческого капитала с учетом территориальной дифференциации населения Беларуси на основе метода многомерных сравнений. Обоснованы преимущества использования данного методического подхода. Систематизирован перечень статистических показателей оценки рейтинговых рисков в разрезе городского и сельского населения. Выявлены основные факторы и угрозы, сдерживающие развитие человеческого капитала на местах.*

*Ключевые слова: интегральная оценка, риски, городское и сельское население.*

*The article provides an integral assessment of human capital development risks, taking into account the territorial differentiation of the population of Belarus on the basis of the multidimensional comparisons method. The advantages of using this methodological approach are grounded. The list of statistical indicators for the assessment of rating risks in the context of urban and rural population is systematized. The main factors and threats that hinder the development of human capital at the local level are revealed.*

*Key words: integrated assessment, risks, urban and rural population.*

#### Введение

Вектор постиндустриального развития ориентирует страны не только на своевременную модернизацию агропромышленного комплекса, но и акцентирует внимание на необходимости инновационного приращения основного социально-экономического ресурса – человеческого капитала. Различные условия и предпосылки его формирования, обусловленные тер-

риториальной дифференциацией, определяют возможности накопления и эффективности использования человеческого потенциала. В этой связи интегральная оценка рисков развития человеческого капитала является актуальной задачей, решение которой позволяет разработать практикоориентированные предложения, обеспечивающие снижение угроз и повышающие эффективность использования человеческих ресурсов.

**Основная часть**

Одним из способов сравнительной оценки рисков развития человеческого капитала выступает метод многомерных сравнений, использование которого обусловлено многогранностью и разновекторностью экономических процессов. В контексте социально-экономических условий развития человеческого капитала в разрезе городских и сельских территорий, формирующих ресурсную базу образования и накопления последнего, применение метода многомерных сравнений достаточно оправдано. Такой подход позволяет получить обобщенный интегральный показатель ( $I$ ), сравнительный анализ которого с индикаторами исследуемых групп (городского и сельского населения) способствует выявлению риска того или иного явления:

$$I = I_{i1} \times I_{i2} \times \dots \times I_{in}, \quad (1)$$

где  $I_i$  – рейтинговый показатель оценки рисков развития человеческого капитала [1].

Практическая реализация такого методического подхода включает алгоритмированную последовательность расчетных действий: по составлению исходной матрицы исследуемых показателей в разрезе классификационных групп; определению величины эталонных показателей (стимуляторов, дестимуляторов); формированию матрицы стандартизированных индикаторов посредством соотношения эталонных показателей и их исходных значений. В последствие определяется рейтинговый показатель согласно следующей формуле:

$$I_i = \sqrt{k_1 i_1^2 + k_2 i_2^2 + \dots + k_n i_n^2}, \quad (2)$$

где  $k_i$  – весовой коэффициент;  
 $i_1 \dots i_n$  – стандартизированные индикаторы развития человеческого капитала [2].

Преимущество данного методического подхода состоит не только в возможности комплексного многомерного анализа исходных данных, но и позволяет использовать в качестве индикаторов развития, как стимуляторы, так и дестимуляторы. Сущность первых состоит в стимулирующем влиянии на увеличение рейтингового показателя, в связи с чем эталонное

значение определяется максимальной величиной. Индикаторы, оказывающие противоположное воздействие, называются дестимуляторами [3]. Интерпретация полученных оценок различных видов риска основана на ранжировании результатов от наибольшего к наименьшему, характеризуя, тем самым, возможности нарастания угроз.

Многообразие исходных факторов, определяющих вектор и величину возможных рисков развития человеческого капитала с учетом территориальной дифференциации, обуславливает необходимость их систематизации. Анализ исходных статистических показателей позволил сформировать следующие классификационные группы, определяющие влияние различных факторов:

1) *демографический потенциал*, раскрывающий воздействия сложившего состава и структуры городского и сельского населения с учетом общей численности населения, среднего возраста и продолжительности жизни, количества женщин, приходящихся на 1000 мужчин, а также количества населения моложе трудоспособного возраста [4]. Полученные результаты оценки демографического риска развития человеческого капитала в разрезе городского и сельского населения представлены в таблице 1.

Проведенные расчеты свидетельствуют о существенных демографических рисках развития человеческого капитала сельского населения Беларуси, превышающего городское на 0,2033 п. Анализ исследуемых показателей отражает ярко выраженные диспропорции состава и структуры местных жителей по сравнению с горожанами, что актуализирует проблему поиска решений и выработки направлений по стабилизации демографического потенциала на селе;

2) *трудовой потенциал*, отражающий производственные возможности населения в разрезе исследуемых групп с учетом численности населения в трудоспособном возрасте, уровня занятости населения в возрасте 15-74 лет и безработицы, а также соотношения трудоспособного и молодого населения [6]. Полученные результаты оценки трудового риска развития человеческого капитала в разрезе городского и сельского населения представлены в таблице 2.

**Таблица 1. Матрица индикаторов оценки демографического риска ( $I_D$ )**

Индикаторы демографического потенциала ( $i_D$ )	Тип населения		Величина эталонного показателя	Весовые коэффициенты
	городское	сельское		
Численность населения, чел.	7299989	2113457	7299989	0,2
Продолжительность жизни, лет	75,6	71	75,6	0,2
Средний возраст, лет	39,6	44,6	39,6	0,2
Количество женщин, приходящихся на 1000 мужчин, чел.	1181	1104	1181	0,2
Численность населения моложе трудоспособного возраста, чел.	1339998	343959	1339998	0,2
$I_D$	1,0000	0,7967	–	–

*Примечание. Рассчитано автором на основе [5].*

**Таблица 2. Матрица индикаторов оценки трудового риска ( $I_T$ )**

Индикаторы трудового потенциала ( $i_T$ )	Тип населения		Величина эталонного показателя	Весовые коэффициенты
	городское	сельское		
Численность населения в трудоспособном возрасте, чел.	4293978	1126293	4293978	0,25
Уровень занятости населения в возрасте 15-74 лет, %	67,9	67,1	67,9	0,25
Уровень безработицы, %	4,3	3,6	3,6	0,25
На 1000 человек трудоспособного возраста приходится лиц моложе трудоспособного, чел.	303	388	303	0,25
$I_T$	1,2141	1,1078	–	–

*Примечание. Рассчитано автором на основе [5].*

Несмотря на то, что при оценке трудового риска в числе эталонных индикаторов определены показатели, характеризующие производительный потенциал сельского населения, в конечном итоге отмечается наличие риска в группе местных жителей. Влияние демографических факторов в данном контексте оказывает негативное воздействие, уменьшая величину рейтингового значения, увеличивая тем самым разрыв полученных данных. В результате разность между расчетными показателями в разрезе сельского и городского населения составляет 0,0163 п. Это значительно меньше рейтинговой разницы демографического риска и обусловлено положительным воздействием уровня безработицы, которая значительно ниже в сельской местности;

3) *ресурсный потенциал*, отражающий социально-экономические возможности и условия развития человеческого капитала с учетом территориальной дифференциации (табл. 3). Следует отметить, что ряд индикаторов представлен в разрезе домашних хозяйств, что обусловлено их мультипликативным воздействием на ресурсный потенциал человеческого капитала [6].

В целом следует отметить, что риски формирования ресурсного потенциала характерны как для городского, так и для сельского населения. Наименьшее значение рейтингового индикатора свидетельствует о большем количестве угроз, характерных для сельских территорий. Вместе с тем, выявленная тенденция снижения рейтингового индикатора, отражающего ресурсный потенциал городского населения, в сравнении с демографическим и трудовым, свидетельствует о наличии потенциальных рисков в исследуемой группе.

Анализ статистических индикаторов оценки риска формирования ресурсного потенциала позволяет выделить некоторые подгруппы факторов, оказывающих разноплановое воздействие на исследуемый показатель. В частности, финансовые критерии свидетельствуют о преимущественных возможностях городского населения, что нашло отражение в формировании доходной и расходной частей совокупного бюджета домашних хозяйств этой группы. Подтверждением тому является усредненное значение количества предметов длительного пользования, которое почти на 7 % ниже у сельских жителей. Вместе с тем,

**Таблица 3. Матрица индикаторов оценки риска формирования ресурсного потенциала ( $I_P$ )**

Индикаторы ресурсного потенциала ( $i_P$ )	Тип населения		Величина эталонного показателя	Весовые коэффициенты
	городское	сельское		
Располагаемые ресурсы домашних хозяйств, руб. в месяц	1302,1	995,8	1302,1	0,125
Денежные расходы домашних хозяйств в расчете на одно хозяйство, руб. в месяц	1246,5	896,5	1246,5	0,125
Среднее количество предметов длительного пользования на 100 домашних хозяйств, шт.	117	103	117	0,125
Калорийность продуктов питания в среднем на одного члена домашних хозяйств в сутки, ккал	2500	2787	2787	0,125
Количество общей жилой площади на одного человека, м <sup>2</sup>	16,8	19,2	19,2	0,125
Удельный вес численности населения с послевузовским и высшим образованием, %	24,7	12,9	24,7	0,125
Удельный вес населения, имеющего хорошее здоровье, %	29,7	21,5	29,7	0,125
Удельный вес населения, занимающегося физкультурой и спортом, %	30,1	16,7	30,1	0,125
$I_P$	0,9598	0,7838	–	–

*Примечание. Рассчитано автором на основе [5].*

обеспеченность жилой площадью и калорийность продуктов питания выступают факторами риска обеспеченности ресурсного потенциала в городах. Ярко выраженные социальные индикаторы имеют более высокие характеристики у городского населения: образовательный потенциал и потенциал здоровья местных жителей почти вдвое ниже. Учитывая идентичную весомость ресурсных индикаторов, рейтинговый показатель свидетельствует о большем количестве угроз, характерных на местах;

4) *инфраструктурный потенциал* отражает влияние состояния исходной социальной базы на формирование человеческого капитала, определяя тем самым, возможные риски вследствие сложившегося уровня благоустройства (табл. 4).

К сожалению, следует констатировать, что инфраструктурный потенциал развития сельских территорий существенно уступает городским, что способствует возникновению большого количества рисков. Одним из обобщающих показателей развития социальной инфраструктуры села выступает ее средняя доступность, которая на местах чуть ли не вдвое ниже, чем в городах. Это говорит о том, что менее 40 % сельских жителей имеют возможности 15-минутной шаговой доступности посещения различных социальных объектов: магазинов, школ, детских садов, почты и т.д. Немаловажным критерием выступает обеспеченность благоустройством домашних хозяйств, которая в сельской местности не достигает 70 %. Проблемным моментом является наполняемость сельских школ учителями, которая более чем в два раза ниже городских. В соотношении с обязательностью выполнения учебной программы и изучения законодательно установленного перечня предметов, это говорит о значительной степени замещения учителей, зачастую непрофильных дисциплин. В результате рейтинговый индекс инфраструктурных рисков свидетельствует о достаточно высоком уровне угроз, характерных для местного населения.

Анализируя данный показатель в разрезе городских жителей, следует отметить относительно невы-

сокую возможность возникновения инфраструктурных рисков. Это обусловлено следующими факторами: чуть больше 16 % горожан к настоящему времени не обеспечены в полной мере объектами благоустройства. Средняя доступность ближайших объектов социальной инфраструктуры не достигает 70 %, что является достаточно низким показателем для городов. Удельный вес городского населения, имеющего доступ к сети Интернет, хоть и отмечает положительную тенденцию роста, тем не менее, к настоящему времени обладает значительным резервом.

Таким образом, на основании проведенного расчета рейтинговых индикаторов оценки риска развития человеческого капитала можно определить интегральный индекс, отражающий совокупное влияние исследуемых факторов:

$$I = I_D \times I_T \times I_P \times I_{II}, \quad (3)$$

где  $I$  – интегральный индекс оценки риска развития человеческого капитала;

$I_D$  – индекс оценки демографического риска;

$I_T$  – индекс оценки трудового риска;

$I_P$  – индекс оценки риска формирования ресурсного потенциала;

$I_{II}$  – индекс оценки инфраструктурного риска.

Расчетное значение интегральных индексов оценки рисков развития человеческого капитала составило 1,1432 п. и 0,5253, соответственно, для городского и сельского населения. Интерпретация полученного результата свидетельствует о наличии достаточного количества рисков, угрожающих развитию человеческого капитала в сельской местности. Детализация рейтинговых значений исследуемых показателей позволяет определить практикоориентированные направления развития человеческого потенциала на местах, среди которых можно выделить следующие:

– совершенствование социальной инфраструктуры села с целью приращения отраслевой миграции населения в аграрный сектор;

– повышение уровня благосостояния местного населения посредством создания новых производительных рабочих мест и прогрессивных видов деятельности;

**Таблица 4. Матрица индикаторов оценки инфраструктурного риска ( $I_{II}$ )**

Индикаторы инфраструктурного потенциала ( $i_{II}$ )	Тип населения		Величина эталонного показателя	Весовые коэффициенты
	городское	сельское		
Средняя доступность ближайших объектов социальной инфраструктуры, %	68,2	39,3	68,2	0,2
Удельный вес домашних хозяйств, обеспеченных благоустройством, %	83,9	68,0	83,9	0,2
Удельный вес населения, имеющего доступ к сети Интернет, %	83,1	67,9	83,1	0,2
Удельный вес учителей, использующих ИКТ в образовательном процессе, %	92,0	87,8	92,0	0,15
Количество учителей, приходящихся на одно учреждение общего среднего образования, чел.	55	22	55	0,15
Удельный вес пользователей библиотек, %	32,3	40,7	40,7	0,15
$I_{II}$	0,9810	0,7592	–	–

*Примечание. Рассчитано автором на основе [5].*

– модернизация агропромышленного производства с целью закрепления профессиональных кадров на селе и другие.

#### Заключение

Мониторинг статистических показателей, отражающих различные аспекты формирования человеческого капитала в разрезе городского и сельского населения, оценка промежуточных индексов оценки рисков, позволяют сделать вывод о необходимости принятия первоочередных мер, способствующих накоплению и приращению человеческого потенциала на местах. Комплекс направлений должен способствовать снижению урбанизации и переливу человеческих ресурсов в сельские регионы, что во многом достигается показателями социально-экономической обеспеченности населения, в числе которых можно выделить увеличение уровня доходов местного населения и развитие объектов социальной инфраструктуры села.

Статья подготовлена в рамках выполнения НИР «Оценка рисков устойчивого развития регионов: выявление причин и источников их появления и разработка предложений по предотвращению» (договор с БРФФИ № Г20-116 от 04.05.2020 г.).

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Mierzwa, Z. Implementation of Multivariate Statistical Analysis for Warning Forecasting / Z. Mierzwa // Review of Business and Economics Studies. – 2017. – № 5(4). – P. 22-36.

2. Решетняк, О.И. Методы многомерного сравнительного анализа при оценке конкурентоспособности предприятия / О.И. Решетняк, Р.О. Лободин // БИЗНЕС ИНФОРМ. – Харьков. – 2016. – № 9. – С. 100-105.

3. Коварда, В.В. О необходимости выделения показателей-стимуляторов и показателей-дестимуляторов при определении уровня социально-экономического развития / В.В. Коварда // Вестник Евразийской науки. – 2019. – № 3. – С. 8-24.

4. Демографический и трудовой потенциал сельской местности Республики Беларусь / А.Г. Боброва [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т экономики.– Минск: Беларуская навука, 2021. – 217 с.

5. Социально-экономическое положение и уровень жизни населения Республики Беларусь // Национальный статистический комитет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public\\_compilation/index14043](http://https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index14043). – Дата доступа: 25.06.2021.

6. Гануш, Г.И. Повышение уровня продуктивной занятости сельского населения в контексте развития человеческого капитала / Г.И. Гануш, Т.А. Тетеринец // Новая экономика. – № 2 (76). – 2020. – С. 5-14.

7. Баланс трудовых ресурсов в прогнозировании развития сельской местности: региональный аспект / В.Ф. Стукач [и др.]; Омский гос. аграрный университет им. П.А. Столыпина. – Омск, 2014. – 252 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 30.08.2021

УДК 631.15:339.187:635.21(476)

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА И РЕАЛИЗАЦИИ КАРТОФЕЛЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

К.В. Борель,

магистр экон. наук, аспирант БГСХА

*Картофель – это культура разностороннего использования, которую по праву называют вторым хлебом и сырьем для производства спиртовой, крахмалопаточной, глюкозной, каучуковой и других отраслей промышленности. В статье обоснованы тенденции производства и реализации картофеля по основным категориям производителей в Республике Беларусь. Выявлены факторы, влияющие на развитие производственной и сбытовой системы в картофелеводстве.*

**Ключевые слова:** картофель, производство, реализация, товаропроизводители, эффективность.

*Potato is a versatile crop, which is called second bread and a raw material for the production of alcohol, starch, glucose, rubber and other industries. The trends in the production and sale of potatoes by the main categories of producers in the Republic of Belarus are grounded in the article. The factors influencing on the production and marketing system development in potato growing are revealed.*

**Key words:** potatoes, production, sales, commodity producers, efficiency.

#### Введение

Картофелепродуктовый подкомплекс Республики Беларусь является одной из составляющих агро-

промышленного комплекса (АПК), цель которого предусматривает достижение максимальной эффективности производства за счет полного удовлетворения потребителей качественным картофелем и про-

дуктами его переработки по доступным ценам, а также повышения экспортного потенциала на внешнем рынке. Современное его функционирование осуществляется в рамках Государственной программы «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы (подпрограмма 1 «Развитие растениеводства, переработка и реализация продукции растениеводства») и Доктрины национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года [1, 2].

Республика остается одним из ведущих регионов по производству картофеля на душу населения (700–1000 кг). Картофель – ценный продукт питания. Его клубни в зависимости от сорта содержат 15–35 % сухого вещества, из которого 17–29 % приходится на долю крахмала, 1–2 % – белка, около 1 % – минеральных солей. Из клубней готовят около 1 000 разнообразных ценных высококачественных блюд и продуктов питания. Картофель входит в число групп товаров, по которым оценивается продовольственная безопасность государства.

Цель статьи – проанализировать современное состояние производства и реализации картофеля по основным категориям производителей, а также обосновать тенденции и факторы развития производственной и сбытовой системы в картофелеводстве.

Научное исследование базировалось на данных Национального статистического комитета Республики Беларусь, Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь (Минсельхозпрод), изучении и обобщении национальной нормативной и правовой базы в сфере развития аграрного бизнеса. Использованы методы системного и сравнительного анализа.

### Основная часть

В ходе исследования автором выявлены современные тенденции и комплекс факторов, влияющих на производство и реализацию картофеля в Респуб-

лике Беларусь.

*Картофель является стратегически значимой сельскохозяйственной продукцией, на долю которого приходится 6,6 % от общего объема производства сельскохозяйственной продукции в Республике Беларусь.* В то же время анализ показал, что с 2015 г. по 2019 г. удельный вес производства картофеля в структуре валовой продукции сельского хозяйства упал на 3,4 п. п. Производство картофеля на душу населения за данный период времени также сократилось с 665 кг в 2014 г. до 558 кг в 2019 г. или на 107 кг. По сравнению с 2000 г. объем производства картофеля на душу населения снизился на 316 кг и составил 558 кг (2019 г.).

В 2019 г. производителями всех категорий было выращено 6 105,3 тыс. т картофеля (рис. 1). Темп прироста по отношению к 2018 г. составил 4,11 %, а по отношению к 2015 г. – 1,83 %. В целом отечественное картофелеводство на протяжении нескольких десятилетий носит интенсивный характер и в последние годы имеет тенденцию к снижению объемов.

Основными производителями картофеля в Республике Беларусь являются хозяйства населения, на долю которых в 2019 г. пришлось 82,0 % валового производства, в то время как на сельскохозяйственные организации – 10,7 % и крестьянские (фермерские) хозяйства (К(Ф)Х) – 7,3 %. При этом соотношение объемов валового сбора картофеля в основных категориях хозяйств за последние пятнадцать лет значительно изменилось. Удельный вес населения в общем производстве сократился с 91,6 % до 82,0 %, или на 9,6 п. п., при одновременном росте доли сельскохозяйственных организаций с 7,4 % до 10,7 % (на 3,3 п. п.) и К(Ф)Х – с 1,0 % до 7,3 % (на 6,3 п. п.) [4, 5].

В стране наблюдается сокращение посевных площадей картофеля и рост урожайности данной культуры. Посевная площадь под картофель в 2019 г. составила 267,9 тыс. га, что на 5,9 тыс. га меньше, чем в 2018 г. По сравнению с 2015 г. произошло со-



Рисунок 1. Производство картофеля в Республике Беларусь, 2005–2019 гг.  
Примечание. Собственная разработка автора на основе [3–5].

кращение посевных площадей на 45,8 тыс. га, или 14,6 %, а по отношению к 2005 г. и вовсе на 199,3 тыс. га, или 42,6 %. Это обусловлено, в первую очередь, изменением образа жизни населения страны и сокращением объемов картофеля, выращиваемого на приусадебных участках. Предложенные для анализа данные позволяют с уверенностью говорить о сокращении роли населения в производстве картофеля при одновременном снижении величины посевных площадей с 415,0 тыс. га до 228,9 тыс. га (рис. 2).

Таким образом, на 93,3 % сокращение посевных площадей картофеля в стране обусловлено исключением из них личных подсобных хозяйств населения. Одновременно также произошло их уменьшение в сельскохозяйственных организациях (с 46 тыс. га в 2005 г. до 27,5 тыс. га в 2015 г., 23,8 тыс. га в 2019 г.) и рост размеров посевных площадей картофеля, находящихся в ведении К(Ф)Х (с 6,2 тыс. га в 2005 г. до 14,2 тыс. га в 2017 г., 15,2 тыс. га в 2019 г.). Данный факт в совокупности отражает повышение роли частного бизнеса в области сельского хозяйства в обеспечении населения картофелем.

В период с 2005 г. по 2019 г. произошел рост урожайности картофеля в стране на 52 ц/га или 29,38 %. При этом наибольший уровень урожайности в границах исследуемого периода наблюдался в 2017 г. – 232 ц/га. Урожайность картофеля в К(Ф)Х на протяжении длительного периода времени превышает не только показатели выращивания в хозяйствах населения, но и показатели сельскохозяйственных организаций. Так, в 2019 г. при урожайности картофеля в сельскохозяйственных организациях в 282 ц/га, в К(Ф)Х составила 308 ц/га. Аналогичная картина наблюдается и в другие годы. Исключение составляет 2019 г., когда сельскохозяйственными организациями страны был получен значительный урожай и обеспечено производство 291 ц/га.

В разрезе регионов страны наблюдаются определенные различия по категориям производителей. Если для сельскохозяйственных организаций и К(Ф)Х возможно выделение явно преобладающих областей размещения посевных площадей, то для хозяйств населе-

ния характерно равномерное географическое распределение. Так, производством картофеля занимаются в большей степени сельскохозяйственные организации Минской области (30,67 %) при наименьшей заинтересованности организаций Витебского региона (7,98 %). Среди К(Ф)Х наибольшими посевными площадями картофеля отличаются Минский (30,92 %) и Брестский регионы (21,71 %), наименьшими – Витебский (5,92 %), что во многом обусловлено природно-климатическими условиями и распределением перерабатывающих (пищевых) производств.

Таким образом, за последние пятнадцать лет произошло значительное сокращение посевных площадей и объемов производства картофеля при одновременном росте средней урожайности. При этом данный период характеризуется стабилизацией отмеченных характеристик и ежегодным производством около 6 000 тыс. т картофеля. Положительная динамика урожайности обусловлена влиянием ряда факторов, среди которых:

- сокращение посевных площадей картофеля в хозяйствах населения, в рамках которых невозможно обеспечение максимальных урожаев;
- рост производства картофеля в К(Ф)Х, использующих наиболее прогрессивные методы выращивания и хранения картофеля;
- развитие крупнотоварного производства (укрупнение сельскохозяйственных организаций, в том числе за счет присоединения к ним убыточных субъектов);
- изменение технологий производства – с экстенсивных на интенсивные.

Основу реализуемого населению республики и перерабатываемого картофеля составляет картофель, выращенный сельскохозяйственными организациями. Выполненный анализ на примере сельскохозяйственных организаций системы Минсельхозпрода показал, что на 01 января 2020 г. производством картофеля занималось 883 ед., количество которых ежегодно уменьшается. Это связано с развитием крупнотоварного производства и его кон-



Рисунок 2. Распределение посевных площадей картофеля по всем категориям производителей Республики Беларусь, 2005–2019 гг., тыс. га

Примечание. Собственная разработка автора на основе [3-5].

центрацией на основе организации кооперативно-интеграционных структур. За 2015–2019 гг. произошло сокращение объемов производства на 36,01 %. При этом в качестве основной причины выступает низкий уровень рентабельности выращивания картофеля, обусловленный значительным превышением предложения над спросом и низкими реализационными ценами, а также высокая себестоимость продукции.

Одновременно с сокращением валового сбора, как и отмечалось выше, наблюдается рост урожайности картофеля, производимого сельскохозяйственными организациями. Наибольший уровень урожайности картофеля установлен в РПУП «Минская овощная фабрика» (644 ц/га). Высокая урожайность в 2019 г. наблюдалась в Гродненской (284 ц/га) и Минской областях (255 ц/га), а низкая – в Гомельской (180 ц/га).

В ходе анализа автором определено, что при выращивании картофеля сельскохозяйственные производители затрачивают значительные ресурсы, основу которых составляют оплата труда работников (20,54 % в 2019 г.) и оплата стоимости семян и удобрений (22,99 % и 19,15 % в 2019 г. соответственно, таблица). Более 11,0 % финансовых средств направляется также на содержание основных средств. При этом структура расходов ежегодно имеет практически идентичный характер, отличаемый в настоящее время лишь ростом удельного веса оплаты труда (20,54 % в 2019 г. против 18,59 % в 2015 г.) при одновременном сокращении доли расходов на семена и удобрения (22,99 % и 19,15 % в 2019 г. против 26,75 % и 21,16 % в 2015 г. соответственно). Исследования показывают определенные отличия в разрезе областей. Так, наиболее затратными по трудовым ресурсам являются Витебская и Гродненская области; по расходу по-

севного материала – Минский и Гомельский регионы. Интересную структуру имеют затраты на производство в РПУП «Минская овощная фабрика», где преобладают работы и услуги, что обусловлено сотрудничеством с иными сельскохозяйственными организациями по вопросам обработки земли.

В результате анализа установлено, что реализацию выращенной продукции осуществляют около 95 % сельскохозяйственных организаций, занимающихся выращиванием картофеля; иные субъекты (около 5 %) используют выращенный картофель лишь для собственных нужд (например, на корм скоту). В 2019 г. количество таких организаций составило 11 субъектов и включило: КУПСП «Городец» (Шарковщинский район), СПК «Николаевский» (Миорский район), СПК «Матвеевцы» (Волковысский район), СПК «Золотая дуброва» (Калинковичский район), ОАО «Шени-агропродукт» (Пружанский район), СПК «Чернавчицы» (Брестский район), СПК «Восходящая заря» (Кобринский район), Чериковский СПК «Прогресс» (Чериковский район), СПК «Следюки» (Быховский район), СПК «Заостровечье» (Клецкий район), СПК «Нарочанские зори» (Вилейский район).

Объем реализации картофеля при этом составил 215 141 т, что позволило обеспечить уровень товарности 58,31 %. Невысокое значение данного показателя обусловлено тремя основными причинами:

- использованием картофеля в рамках покрытия собственных нужд в кормах для сельскохозяйственных животных;
- недостаточным спросом населением республики на продукцию (на протяжении десяти лет объем потребления находится на уровне 170 кг);
- наличием высокого уровня потерь при хранении.

**Таблица. Структура затрат на производство картофеля по областям и в целом по Республике Беларусь, 2019 г., %**

Элемент затрат	Брестская область	Витебская область	Гомельская область	Гродненская область	г. Минск	Минская область	Могилевская область	В целом по стране
Оплата труда с начислениями	18,58	24,39	17,12	26,45	14,72	18,61	16,94	20,54
Семена	19,79	25,02	26,42	19,00	2,59	26,61	24,61	22,99
Удобрения и средства защиты растений	21,26	13,98	20,78	20,52	12,78	15,74	19,50	19,15
Затраты по содержанию основных средств	17,41	11,54	6,43	8,60	0,16	12,81	12,02	11,18
Работы и услуги	5,83	4,79	7,33	6,42	39,97	7,90	4,53	6,59
Стоимость ГСМ на технологические цели	8,37	9,65	10,79	7,16	9,55	7,46	11,58	8,79
Стоимость энергоресурсов на технологические цели	2,58	2,42	1,97	2,32	1,62	1,98	2,00	2,21
Прочие прямые затраты	1,94	3,42	5,13	4,24	0,16	3,54	3,27	3,67
Затраты по организации производства	4,22	4,80	4,04	5,30	18,45	5,37	5,55	4,89

*Примечание. Таблица составлена по данным Минсельхозпрода.*

За 2015–2019 гг. произошло повышение себестоимости 1 т продукции с 208,57 руб. до 235,84 руб. (на 13,1 %) при росте средней цены реализации с 184,31 руб. до 225,55 руб. (на 22,4 %). Важно подчеркнуть, что данный факт во многом связан с недостаточным количеством картофелехранилищ, в результате чего многие сельхозпроизводители большую часть урожая вынуждены продавать в период массовой уборки, когда цена на картофель низкая, что ведет к снижению экономических показателей субъектов и отрасли в целом.

Численность организаций, осуществляющих убыточное производство картофеля, в 2019 г. составила 111 ед. или 44,94 %, а прибыльное выращивание – 109 ед. или 44,13 %. Иные субъекты реализовали произведенную продукцию по ее себестоимости. Положительным моментом в данном аспекте является сокращение доли убыточных организаций: с 59,59 % в 2015 г. до 46,81 % в 2017 г. и 44,94 % в 2019 г. В рамках географического распределения наибольшее количество прибыльно функционирующих производств картофеля сосредоточено в Гомельской (29 ед. из 109 ед. в 2019 г. – 26,61 %) и Гродненской областях (21 ед. из 109 ед. в 2019 г. – 19,27 %), а убыточных – в Брестском регионе (21 ед. из 109 ед. в 2019 г. – 18,96 %). При этом стоит отметить, что большинство субъектов, получивших убыток при выращивании картофеля, по результатам работы в целом имеют положительное значение прибыли от реализации. Данный факт позволяет утверждать, что на практике, обладая необходимыми ресурсами, многими сельскохозяйственными организациями не найдены оптимальные варианты построения процесса производства и выстраивания отношений с конечными покупателями и переработчиками.

*Установлено, что доля производства картофеля*

*в величине валовой продукции растениеводства составляет 6,0–6,5 %, что является весьма высоким значением. Одновременно на данный вид продукции приходится 1,5–2,0 % от совокупной выручки сельскохозяйственных организаций. Это обстоятельство обусловлено низкими реализационными ценами на картофель и ранее упомянутой реализацией большей части полученного урожая в сезон в рамках проводимых ярмарок по низким ценам. В результате такой политики организаций наблюдается снижение показателей – рентабельности производства картофеля и рентабельности продаж (рис. 3).*

В целом за 2015–2019 гг. рентабельность производства всех категорий хозяйств сократилась с 36,34 % до 21,43 %, или на 14,92 п. п., а рентабельность продаж – с 20,50 % до 15,26 %, или на 5,24 п. п. При этом результативными являются производства, размещенные на территории Брестской и Минской областей (рентабельность производства составила, соответственно, 27,77 % и 26,52 %, рентабельность продаж – 16,65 % и 18,51 %). Наименее рентабельным является производство продукции в г. Минске (11,40 % и 10,23 % рентабельности производства и рентабельности продаж соответственно).

### Заключение

Установлено, что в Республике Беларусь наблюдаются негативные тенденции, проявляющиеся в стабильном сокращении объемов производства и реализации картофеля, а также уменьшении уровня рентабельности продукции. Положительным аспектом развития картофелеводства выступают снижение доли убыточных производств и рост урожайности. В то же время при уменьшении объемов производства обеспечивается полное удовлетворение потребностей населения страны в картофеле. Анализ результатов работы сельскохозяйственных организаций респуб-

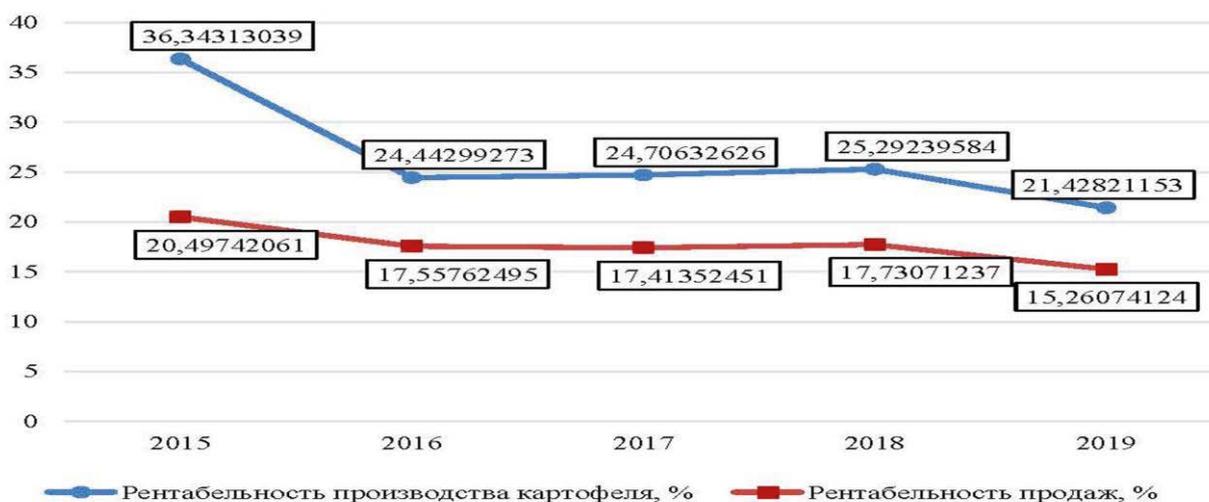


Рисунок 3. Рентабельность производства картофеля в эффективно функционирующих сельскохозяйственных организациях Минсельхозпрода, 2015–2019 гг.

Примечание. Рисунок выполнен по данным Минсельхозпрода.

лики позволил выявить следующие тенденции:

1. Развитие крупнотоварного производства характеризуется изменением производственных технологий – с экстенсивных на интенсивные. Это проявляется в сокращении посевных площадей картофеля при одновременном росте урожайности и поддержании на достаточном уровне объемов производства.

2. Результативность производства картофеля в значительной степени отличается в географическом разрезе. Так, высокая урожайность наблюдается в Гродненской и Минской областях, а низкая – в Гомельской. Наиболее рентабельными являются производства, размещенные на территории Брестского и Минского регионов, наименее рентабельным – в г. Минске.

3. Многие сельскохозяйственные организации имеют все необходимые ресурсы, позволяющие им функционировать эффективно, однако в рамках их систем управления не найдены оптимальные варианты построения процесса производства и выстраивания экономических отношений с конечными покупателями и переработчиками картофеля.

Таким образом, в стране происходит перестройка экономических взаимоотношений и перераспределение роли между отдельными категориями производителей картофеля: снижение удельного веса населения и сельскохозяйственных производителей при повышении доли посевов в К(Ф)Х.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. О Доктрине национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года: пост. Совета Министров Респ. Беларусь, 15 дек. 2017 г., № 962 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – Минск, 2021.

2. О Государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы: пост. Совета Министров Респ. Беларусь, 1 февр. 2021 г., № 59 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – Минск, 2021.

3. Статистика по сельскому хозяйству [Электронный ресурс] // Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoe-hozyaistvo/selskoe-khozyaistvo/>. – Дата доступа: 05.08.2021.

4. Сельское хозяйство Республики Беларусь (2012): стат. сбор. // Нац. стат. комитет Респ. Беларусь; редкол. И.А. Костевич [и др.]. – Минск, 2012. – 354 с.

5. Сельское хозяйство Республики Беларусь (2020): стат. сбор. // Нац. стат. комитет Респ. Беларусь; редкол. И.В. Медведьева [и др.]. – Минск, 2020. – 179 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 12.08. 2021

### **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

# Правила для авторов

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

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

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

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

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

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

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

4) при наборе формул необходимо следовать общепринятым правилам:

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

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

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

г) цифры набираются шрифтом прямого начертания;

д) аббревиатуры функций набираются прямо;

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

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

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

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

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

графиков не следует применять выделение цветом, заливку фона.

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

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

индекс УДК;

название статьи;

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

аннотацию на русском и английском языках;

ключевые слова на русском и английском языках;

введение;

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

заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;

список цитированных источников;

дату поступления статьи в редакцию.

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

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

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

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

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

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

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

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

9. Плата за опубликование научных статей не взимается.

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

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

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

# Устройство для разделки и поверхностной обработки почвенного пласта к плугу для гладкой вспашки

Предназначено для качественной обработки верхнего пласта почв различного механического состава и ее подготовки под посев почвообрабатывающими посевными агрегатами.

Устройство УП-2,0 использовалось в конструкции плуга для гладкой вспашки ПО-4+1-40К, выпускаемого ОАО «Калинковичский ремонтно-механический завод».



## Основные технические данные

### Выполняемые технологические процессы

Марка машины

Применяется с плугом

Рабочая ширина захвата, м

Рабочая скорость движения, км/ч

Дорожный просвет, мм

Основные показатели качества выполнения технологического процесса:

- глубина обработки, см, не более

- гребнистость поверхности поля, см

- плотность почвы (на глубине 5-8 см), г/см<sup>3</sup>

- крошение почвы (содержание фракции до 50 мм), %, не менее

Производительность за 1 час времени, га:

- сменного

- эксплуатационного

Удельный расход топлива, кг/га

Диаметр дисков, м

Масса, кг

Габаритные размеры, мм, не более 3200x3100x1400

крошение, рыхление,  
выравнивание, уплотнение  
верхнего слоя почвы

УП-2,0

ПО-4+1-40К

2,0

6-9

300

15

3

1,0...1,3

90

1,26

1,25

14

0,46

250

