



ISSN 2078-7138

# Научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса

# АгроПанорама

№ 5  
октябрь  
2013

*В номере:*

*Общая и тяговая динамика подрессоренного гусеничного трактора с задненавешенным орудием. Динамика*

*Допустимый уровень воздействия ходовых систем сельскохозяйственной техники на почву*

*Совершенствование технических средств для измельчения фуражного зерна*

*К вопросу экономии топлива в конвективных зерносушилках с рециркуляцией сушильного агента*



**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И  
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ФОНД  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Уважаемые коллеги!**

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

**«Энергосбережение – важнейшее условие  
инновационного развития АПК»,**

*которая состоится в Белорусском государственном аграрном  
техническом университете*

**21 - 22 ноября 2013 г.**

**Основные направления работы конференции:**

- Энергообеспечение АПК
- Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии в АПК
- Электротехнологии и электрооборудование АПК
- Автоматизация технологических процессов АПК

*г. Минск, пр. Независимости, 99, корпус 1  
Контактные телефоны: (8017) 267-33-83, 267-41-16  
E-mail: prot.aef@batu.edu.by  
www.batu.edu.by*

# АГРОПАНОРАМА 5 (99) октябрь 2013

Издается с апреля 1997 г.

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

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

**Главный редактор**  
Иван Николаевич Шило

Заместитель главного редактора  
Михаил Александрович Прищепов

Редакционная коллегия:

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

В.Г. Леван – ответственный секретарь  
Н.И. Цындриня – редактор

*Компьютерная верстка*  
В.Г. Леван

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

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

БГАТУ, 2013, Издание университетское.  
Формат издания 60 x 84 1/8.  
Подписано в печать с готового оригинала-  
макета 23.10.2013 г. Зак. № 838 от 23.10.2013 г.  
Дата выхода в свет 31.10.2013 г.  
Печать офсетная. Тираж 100 экз.  
Статьи рецензируются.  
Отпечатано в ИПЦ БГАТУ по адресу: г. Минск,  
пр-т. Независимости, 99, к.2  
ЛП № 02330/0552743 от 2.02.2010 г.  
Выходит один раз в два месяца.  
Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884.  
Цена подписки журнала на 2-ое полугодие 2013 г.:  
для индивидуальных подписчиков - 72900 руб.;  
ведомственная - 131280 руб.;  
Цена журнала в киоске БГАТУ - 31000 руб.

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

## ЧИТАЙТЕ В НОМЕРЕ

### Сельскохозяйственное машиностроение. Металлообработка

**Г.С. Горин**  
Общая и тяговая динамика подпрессоренного гусеничного  
трактора с задненавешенным орудием. Динамика.....2

**А.Н. Орда, В.А. Шкляревич, А.С. Воробей**  
Приспособляемость ходовых систем почвообрабатывающих  
агрегатов к почвенным условиям эксплуатации.....7

**Г.И. Гедроит, Ю.И. Томкунас, А.Д. Чечеткин**  
Допустимый уровень воздействия ходовых систем  
сельскохозяйственной техники на почву.....10

### Технологии производства продукции растениеводства и животноводства. Зоотехния

**Д.Ф. Кольга, В.С. Сыманович, Г.Г. Тычина,  
Д.В. Чернокал**  
Интенсификация процесса подготовки навоза к использованию  
на полях.....16

**Т.А. Непарко, А.В. Новиков, М.В. Прищепчик,  
Л.Г. Шейко**  
Повышение эффективности работы погрузочно-транспортных  
средств на уборке зерновых культур.....19

### Технологии переработки продукции АПК

**В.Н. Дацков, Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд**  
Совершенствование технических средств для измельчения  
фуражного зерна.....23

### Ресурсосбережение. Экология

**А. В. Горный, М. М. Жишкевич**  
Естественное зарастание почвопород после добычи нерудных  
ископаемых и изменение их биологических свойств.....29

**А.Г. Цубанов, А.Л. Синяков, И.А. Цубанов**  
К вопросу экономии топлива в конвективных зерносушилках  
с рециркуляцией сушильного агента.....32

### Технический сервис в АПК. Экономика

**В.П. Иванов, А.П. Кастрюк**  
Обоснование доли деталей ремонтного фонда, годных для  
 дальнейшего применения без восстановительных воздействий.....38

### Аграрное образование

**Н.С. Яковчик, М.К. Жудро, Ю.Н. Жук**  
Концептуальные основы формирования единой системы  
переподготовки и повышения квалификации кадров АПК  
союзного государства «Россия – Беларусь».....45

# Сельскохозяйственное машиностроение

## Металлообработка

УДК 631.3.072+631.3.072.3

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 1.09.2012

## ОБЩАЯ И ТЯГОВАЯ ДИНАМИКА ПОДРЕССОРЕННОГО ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА С ЗАДНЕНАВЕШЕННЫМ ОРУДИЕМ. ДИНАМИКА

Г.С. Горин, докт. техн. наук, профессор (БНТУ)

### Аннотация

*Малые взаимные перемещения трактора и навесного орудия вызывают «защемление» верхней тяги навесного устройства. Используя метод Лагранжа для системы с избыточными связями, из уравнения кинематических связей выражены в частных производных силы и моменты, возникающие на малых перемещениях трактора и навесного орудия. Получена и решена система пяти уравнений (включая уравнение связи). Проанализированы результаты расчетов.*

*Small mutual movements of a tractor and the hinged tool cause "jamming" of the top draft of the hinged device. Using Lagrange's method for the system with excess communications from the equation of kinematic communications forces and moments arising on small movements of a tractor and the hinged tool have been expressed in private derivatives. The system of five equations (including the communication equation) has been received and solved. The results of calculations have been analyzed.*

### Введение

Аналитические и экспериментальные исследования показали, что малые взаимные перемещения колесного, а особенно подрессоренного гусеничного трактора и навесного сельхозорудия, оказывают существенное влияние на тяговую и общую динамику МТА [1, 2].

Кинематика названных взаимных перемещений рассмотрена в работе [3].

### Основная часть

**Общая динамика навесного орудия.** Используя метод Лагранжа для системы с избыточными связями, определим в частных производных силы и моменты, возникающие на малых перемещениях трактора  $z_{ЦУП}, \varphi$  и сельхозорудия  $q_{ПЛ}, \psi$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial[f(\varphi, \psi, z_{ЦУП}, q_{ПЛ})]}{\partial \varphi} &= -\frac{K_2}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} = \frac{R_A}{\lambda}, \\ \frac{\partial[f(\varphi, \psi, z_{ЦУП}, q_{ПЛ})]}{\partial q_{ПЛ}} &= \frac{K_2}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} = \frac{R_B}{\lambda}, \\ \frac{\partial[f(\varphi, \psi, z_{ЦУП}, q_{ПЛ})]}{\partial \psi} &= \\ &= 1 + K_2 \frac{l_{nз}}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} = \frac{M_{IT}}{\lambda}, \\ \frac{\partial[f(\varphi, \psi, z_{ЦУП}, q_{ПЛ})]}{\partial \psi} &= \\ &= -K_1 + K_2 \frac{l_{nз}}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} = \frac{M_{ПЛ}}{\lambda}. \end{aligned}$$

Здесь  $f(\varphi, \psi, z_{ЦУП}, q_{ПЛ})$  – уравнение связи, полученное в первой части работы [3]. Из полученных выражений вытекает:

– главный момент внешних сил, действующих при повороте корпуса трактора:

$$M_{IT} = \lambda \left( 1 + \frac{K_2 l_{A ЦУП}}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} \right);$$

– главный момент внешних сил, действующих при повороте корпуса сельхозорудия:

$$M_{ПЛ} = \lambda \left( -K_1 + \frac{K_2 l_{nз}}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} \right);$$

– главный вектор внешних сил, действующих на корпус при перемещении  $z$  ЦУП, приложенный в точке А (передний шарнир нижней тяги):

$$P_{A IT} = -\lambda \frac{K_2}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}};$$

– главный вектор внешних сил, действующих на корпус орудия при перемещении  $q_{nз}$  опорного колеса, приложенный в точке B (задний шарнир нижней тяги):

$$R_B = P_{B CXM} = \lambda \frac{K_2}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}}.$$

Нормальная реакция, приложенная к опорному колесу:

$$Y_n = c_{nз} (q_{nз} + \Delta q_{nз}), \quad (1)$$

где  $c_{nз}$  – суммарная жесткость почвы и тяг НУ, приведенная к опорному колесу орудия, кН/м.

Жесткость почвы определяется характеристикой последней при вдавливании опорного колеса и рабочих органов. Жесткость тяг навесного устройства НУ

определяется жесткостью встроенной в верхнюю тягу навески пружины.

Плечо  $m$  определим из следующих предпосылок.

ГОСТ 10677-2001 «Устройство навесное заднее сельскохозяйственных тракторов классов 0,6-8. Типы и основные размеры» рекомендует выбирать:

расстояние от ЦВТН до оси задних опорных катков:  $x_0 = (0,5 \dots 0,8) L_{TUC}$ ;

условный угол тяги, не более:  $\Delta_B = 7 \dots 10^0$ ,  
условную высоту оси подвеса:  $m_3 = 0,4\text{м}$ .

Установим координаты ЦВТН:

продольное расстояние от ЦВТН до точки приложения равнодействующей сил тягового сопротивления (рис. 1):

$$(\rho_{AO} + r_{AB}) \cos \alpha_{AB} + a_{\text{пл}} = a_{\text{ЦВТН}},$$

высоту ЦВТН:

$$z_{\text{ЦВТН}} = m_3 + (\rho_{AO} + r_{AB}) \sin \alpha_{AB} + h_{\text{пл}} / 2,$$

где  $h_{\text{пл}}$  – глубина почвообработки, м.

На рис. 1 проведем дополнительные построения. Проведем через центр вращения тяг навесного устройства (ЦВТНУ) перпендикуляр к направлению действия реакции  $R_{\text{рез}}$  и выразим продольное расстояние:

$$\Delta x = \frac{z_{\text{ЦВТН}}}{\tan(\theta \pm \psi)}.$$

Оптимальное значение заглубляющего момента на метр ширины захвата:  $M_{\text{зар}} = 6 \dots 8 \text{ кН}\cdot\text{м}/\text{м}$ , если почва плотная (удельный коэффициент сопротивления  $k = 80 \text{ кН}/\text{м}^2$ ), а лемеха затуплены;  $M_{\text{зар}} = 4 \dots 5 \text{ кН}\cdot\text{м}/\text{м}$ , если плотность почвы средняя ( $k = 30 \dots 60 \text{ кН}/\text{м}^2$ ). Плечо действия заглубляющего момента:

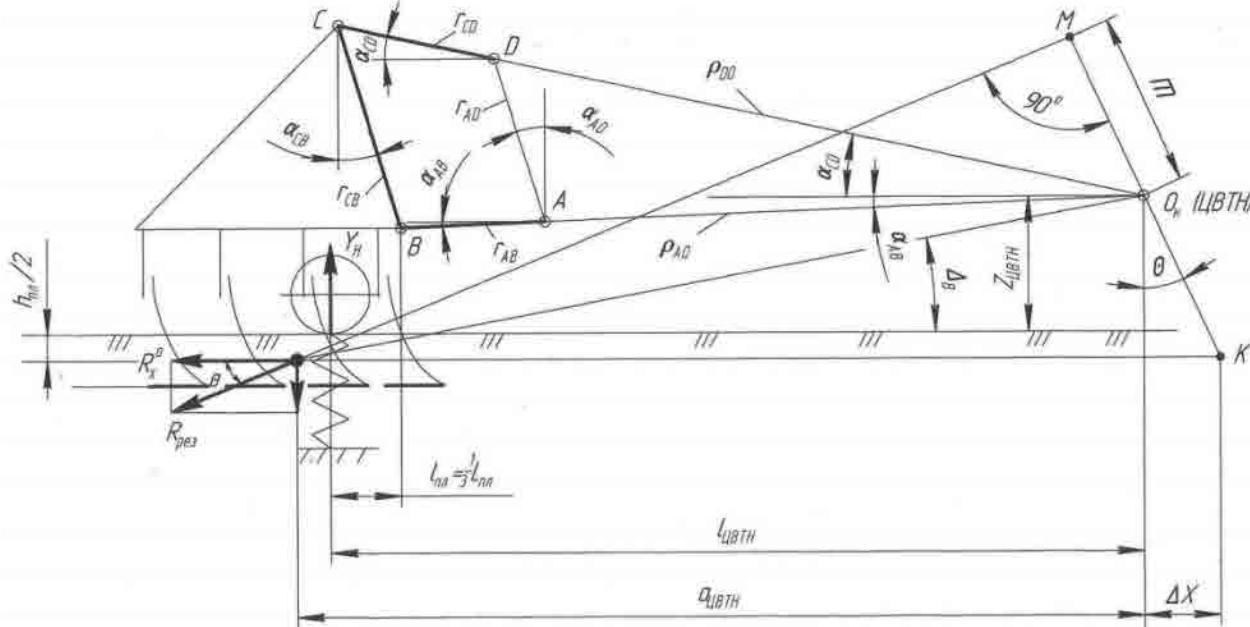


Рисунок 1. Схема ЗНУ

$$m = (a_{\text{ЦВТН}} + \Delta x) \sin \theta - \frac{z_{\text{ЦВТН}}}{\sin(90 - \theta \pm \psi)}.$$

Тогда уравнение моментов сил, действующих на орудие относительно ЦВТН:

$$\frac{R_x^0}{\cos(\theta \pm \psi)} \left[ (a_{\text{ЦВТН}} + \Delta x) \sin \theta - \frac{z_{\text{ЦВТН}}}{\sin(90 - \theta \pm \psi)} \right] - c_{\text{пл}} (q_{\text{пл}} + \Delta q_{\text{пл}}) \cdot l_{\text{ЦВТН}} + \lambda \left( -K_1 + \frac{K_2 \cdot l_{\text{пл}}}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} \right) = 0. \quad (2)$$

Уравнение проекций на ось Z:

$$R_x^0 \tan(\theta \pm \psi) - c_{\text{пл}} \left( q_{\text{пл}}^0 + \Delta q_{\text{пл}} \right) + \lambda \frac{K_2}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} = 0. \quad (3)$$

#### Силы, действующие на гусеничный обвод:

статического натяжения гусеницы, приложенная на наклонном участке под углом  $\gamma_p$ , а на провисающем – под углом  $\delta$  к горизонтали:

$$\text{инерции гусеницы: } T_{\text{ц}} = \frac{qv^2}{g},$$

где  $v$  – скорость перематывания гусеницы, м/с;  
натяжения провисающей части:

$$T_{\text{cb}}^n = \frac{qa^2}{8h},$$

где  $q$  – вес единицы длины гусеницы, кН/м;  
 $a$  – расстояние между поддерживающими роликами, м;

$h$  – стрела прогиба, м;

натяжения ведущей (рабочей) ветви, приложенная под углом  $\gamma_3$  к горизонтали:

$$T_p = P_{\text{вк}} + T_{\text{св}}^3,$$

где натяжение свободной ветви гусеницы сзади:

$$T_{\text{св}}^3 = T_{\text{св}}^n - \frac{P_{\text{вк}}}{l} + T_{\text{ц}},$$

$$1 + \frac{l_{\text{св}}}{l_p}$$

где  $l_{\text{св}}$  и  $l_p$  – длины свободной и рабочей ветвей гусеницы соответственно, м;

$M_{\text{вк}}$  – ведущий момент,  $M_{\text{вк}} = P_{\text{вк}} r_{\text{вк}}$ , кН·м,

$r_{\text{вк}}$  – радиус ведущего колеса, м;

$P_{\text{вк}}$  – усилие на ведущем колесе, кН,

$$P_{\text{вк}} = \frac{M_e i_{\text{тп}} \eta_{\text{тп}} \eta_{\text{вк}}}{r_{\text{вк}}},$$

где  $\eta_{\text{вк}}$  – механический КПД, учитывающий потери на дуговой ветви ведущего колеса;

$\eta_{\text{тп}}$  – КПД трансмиссии,

$i_{\text{тп}}$  – передаточное число трансмиссии;

$F_{\text{оп}}$ ,  $M_{\text{оп}}$  – вектор и момент внешних сил, возникающих в статике и при взаимных перемещениях трактора и навесного орудия;

$F_{\text{тп}}$ ,  $M_{\text{тп}}$  – вектор и момент внешних сил, действующих на трактор;

нормальные реакции  $N_j$  – реакции, приложенные к  $j$ -м рессорам:  $N_j = c_j [z^0 + z + (\varphi - \varphi^0) l_{\text{цуп}}]$ ,

где  $z^0$  и  $z$  – прогиб рессор под ЦУП соответственно, статический и динамический, м;

$\varphi^0$  и  $\varphi$  – дифферент корпуса трактора в статике и в движении, соответственно, град.;

$c_j$  – жесткость рессоры подвески  $j$ -го катка, Н/м;

$l_{\text{цуп}}$  – расстояние от  $j$ -го катка до центра упругости подвески (ЦУП), м.

При отсутствии натяжения гусеницы нормальная нагрузка на  $j$  – рессору равна:

$$N_j = c_j (z^0 + z - \varphi l_j).$$

Рессоры крайних катков от натяжения гусеницы получают дополнительную деформацию. Поэтому суммарная нагрузка на рессоры трактора, находящегося на наклонной поверхности, равна:

$$\sum_{j=1}^{2n} c_j (f_{\text{ct}} + z - \varphi \cdot l_j) =$$

$$= \frac{(G_T - G_T^H)}{2} \cos \alpha + T_p \sin \gamma_3 +$$

$$+ T_{\text{св}}^n \sin \gamma_n - \lambda \frac{K_2}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} = 0 \quad , \quad (4)$$

где перемещение ЦУП в статике:

$$f_{\text{ct}} = \frac{G_T - G_T^H + \lambda \frac{K_2}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}}}{\sum_{j=1}^{2n} c_j},$$

где  $n$  – число рессор и катков на один борт, шт;

$G_T^H$  – вес неподрессоренных катков, балансируемых и неподрессоренной части гусеницы, кН.

Уравнение моментов, действующих на трактор сил относительно ЦУП:

$$(G_T - G_T^H) [\cos \alpha \cdot a_y - \sin \alpha \cdot z_{\text{цт}}] +$$

$$+ \varphi \sum_{j=1}^{2n} c_j f_j l_j + (T_{\text{св}}^3 \cos \delta + T_p \cos \gamma_3) r_{\text{вк}} +$$

$$+ (T_p \sin \gamma_3 - T_{\text{св}}^3 \sin \delta) a_{\text{вк}} + P_{\text{вк}} r_{\text{вк}} +$$

$$+ T_{\text{св}}^{\text{II}} [(\sin \gamma_{\text{II}} + \sin \delta) a_{\text{нк}} - (\cos \gamma_{\text{II}} + \cos \delta) r_{\text{нк}}] - \frac{R_x m}{\cos(\theta \pm \psi)} + \lambda \times$$

$$\times (1 + \frac{K_2 l_{\text{цуп}}}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}}) = 0, \quad (5)$$

где  $\delta$  – угол наклона к горизонтали свободной ветви гусеницы в результате провисания, град.;

$\gamma_3$  и  $\gamma_{\text{II}}$  – углы наклона к горизонтали соответственно, задней и передней наклонных ветвей гусеницы;

$T_p$  и  $T_{\text{св}}^{\text{II}}$  – усилия натяжения названных наклонных ветвей гусеницы, кН.

$$P_{\text{вк}} = \frac{M_e i_{\text{тп}} \eta_{\text{тп}}}{r_{\text{вк}}},$$

где  $Z_{\text{цт}}, Z_{\text{вк}}, Z_{\text{нк}}$  – высоты, соответственно центра тяжести, осей ведущего и направляющего колес над осями опорных катков, м,  $r_{\text{вк}}$  – радиус ведущего колеса, м.

В центре давления (ЦД) трактора приложена равнодействующая всех нормальных реакций почвы:

$$R = G \cos \alpha + \lambda \frac{K_2}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}}.$$

Обозначим продольную координату ЦД от середины опорной поверхности гусеницы  $x_{\text{д}}$ , а аналогичную координату ЦУП обозначим  $a_{\text{цуп}}$ . Для определения  $x_{\text{д}}$  запишем уравнение моментов относительно названной середины опорной поверхности

$$\sum_{j=1}^{2n} N_j (l_{\text{цуп}} - a_{\text{цуп}}) + G_T a_0 \cos \alpha - G_T z_{\text{цт}} \sin \alpha -$$

$$- \frac{R_x}{\cos(\alpha \pm \psi)} + \lambda (1 + \frac{K_2 l_{\text{цуп}}}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}}) =$$

$$= x_{\text{д}} (G_T \cos \alpha + \lambda \frac{K_2 l_{\text{цуп}}}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}}).$$

Нормальные реакции почвы под катками с учетом неподрессоренных масс:

$$N_1^1 = c_1 \left[ (f_{cm} + z) + \varphi l_{1\text{ЦУП}} \right] + \frac{G_T^H}{2n} - T_{ce}^{\Pi} \sin \gamma_n,$$

$$N_2^1 = c_2 \left[ (f_{cm} + z) + \varphi l_{2\text{ЦУП}} \right] + \frac{G_T^H}{2n},$$

$$N_3^1 = c_3 \left[ (f_{cm} + z) + \varphi l_{3\text{ЦУП}} \right] + \frac{G_T^H}{2n},$$

$$N_4^1 = c_4 \left[ (f_{cm} + z) + \varphi l_{4\text{ЦУП}} \right] + \frac{G_T^H}{2n},$$

$$N_5^1 = c_5 \left[ (f_{cm} + z) + \varphi l_{5\text{ЦУП}} \right] + \frac{G_T^H}{2n} - T_p \sin \gamma_3,$$

где  $a_0$  – продольное расстояние от середины гусеницы до центра тяжести (ЦТ), м;

$a_y$  – продольное расстояние от ЦТ до ЦУП, м;

$l_j$  – продольные расстояния от осей  $j$ – катков до ЦУП, м.

**В статике корпус трактора и сельхозорудия приобретают некоторые начальные положения:**

– вертикальное перемещение ЦУП определяется из выражения:

$$z = z_0 = f_{CT};$$

– дифферент  $\varphi = \varphi_0$ ,

– угол  $\psi = \psi_0 = 0$  – из условия равномерности глубины хода корпусов плуга;

$\Delta q_{nl}$  – дополнительная деформация почвы под воздействием сил веса и тяговой нагрузки при переходе неровности, м.

**Для трактора с  $f_{CT}$  статическим прогибом  $j$  – рессор под ЦУП в статике запишем уравнения прокладки и моментов:**

$$\begin{aligned} \sum Y &= 0, \\ \sum_{i=1}^{2n} c_i \left[ (f_{CTj} + z) + (\varphi_0 - \varphi) l_{juy} \right] &= \\ &= (G_T - G_T^H) \cos \alpha + T_p \sin \gamma_3 + \\ &= T_{ce} \sin \gamma_n + \lambda \cdot \frac{K_2}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} = 0, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\sum M_{ЦУП} = 0,$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{2n} \left[ c_j (f_{CT} + z) + (\varphi_0 - \varphi) l_{juy} \right] l_{juy} + \\ +(G_T - G_T^H) [\cos \alpha (-a_j + a_0) - \sin \alpha z_{uy}] + \\ +(T_{ce}^3 \cos \delta + T_p \cos \gamma_3) r_{ek} - (T_p \sin \gamma_3 - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -T_{ce}^3 \sin \delta) a_{ek} + T_{ce}^{\Pi} [(\sin \gamma_n + \sin \delta) a_{hk} - \\ -(\cos \gamma_n + \cos \delta) \cdot r_{hk}] - \frac{R_x^0 m}{\cos(\theta \pm \psi)} + \\ + P_{ek} r_{ek} - \lambda (1 + \frac{K_2 l_A \text{ЦУП}}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}}) = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Дополнительное перемещение ЦУП при движении с тяговой нагрузкой:

$$\begin{aligned} \Delta z &= (\lambda \frac{K_2}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} + T_p \sin \gamma_3 - T_{ce}^{\Pi} \sin \gamma_3) / \sum_{i=1}^{2n} c_i, \\ P_{ek} &= T_p - T_{ce}^3, \\ Z_0 &= f_{cm} = \frac{G_T - G_T^H}{\sum_{j=1}^{2n} c_j} \cos \alpha. \end{aligned}$$

Для сельхозорудия справедливы уравнения (2) и (3).

**Тяговые показатели трактора в составе навесного МТА.**

Приведенная система четырех уравнений (2), (3) и (6), (7) плюс уравнение связи [4] решены для трактора «Беларус-2102» относительно  $z$ ,  $\varphi$ ,  $\Delta q_{nl}$  и  $\lambda$  при различных значениях тягового сопротивления

$$R_{PE3} = \frac{R_x^0}{\cos \theta}.$$

Для решения перечисленных нелинейных уравнений разработано программное обеспечение, реализующее итерационную процедуру расчетов [5]. Для двух значений положительного и отрицательного внешних отклоняющих моментов рассчитаны показатели:

– силового взаимодействия гусеницы с опорной поверхностью в зоне активно-опорных участков под опорными катками;

– продольно-угловых перемещений корпуса трактора и сельхозорудия;

– силового взаимодействия корпуса трактора и сельхозорудия при условии «зашемления» тяги навески.

На связаной почве с коэффициентами трения почки  $f_n=2,0$  и скольжения  $f_{ck}=0,8$  подрессоренный трактор массой 9,5 т в агрегате с навесным орудием при буксировании  $\delta=0,05$ .

Если результирующая сила тягового сопротивления орудия отклонена вниз под углом  $\theta=10^\circ$ , а плечо действия силы тяги относительно ЦВТНУ  $m=+0,29$  м; преодолеваемое технологическое сопротивление рабочих органов орудия  $R_x=28,5$  кН плюс силу трения орудия  $P_f=12,2$  кН. При этом под катками на активно-опорных участках формируется суммарная касательная сила тяги  $P_{ek}=43,4$  кН, а сила натяжения рабочей ветви гусеницы  $T_p=60,8$  кН.

Показатели продольно-угловых перемещений:

- дифференты корпуса трактора  $\phi_0=1,4^\circ$ ,  $\Delta\phi=1,63^\circ$  вперед;
- перемещения ЦУП  $Z_0=0,058$  м,  $\Delta z=0,03$  м;
- дифференты орудия  $\psi_0=0$ ,  $\Delta\psi=0,38^\circ$ ;
- перемещения колеса орудия  $q_{0\text{пл}}=0,025$  м,  $\Delta q_{\text{пл}}=0,006$  м.

Показатели силового взаимодействия корпуса трактора и орудия:

- нормальная нагрузка на опорное колесо орудия  $Y_H=31,21$  кН;

- момент «зашемления» тяг навески  $\lambda=1,12$  кН·м.

Если результирующая сила тягового сопротивления орудия отклонена вверх под углом  $\theta=10^\circ$  (режим, свойственный работе кротодренажной машины) плечо действия силы тяги относительно ЦВТН  $m=-1,28$  м, то преодолеваемое технологическое сопротивление рабочих органов сельхозорудия составляет лишь  $R_x=16,8$  кН плюс сила трения орудия  $P_f=10,3$  кН. При этом под катками на активно-опорных участках формируется суммарная касательная сила тяги  $P_{\text{вк}}=25,6$  кН, а сила натяжения рабочей ветви гусеницы  $T_p=45,8$  кН.

Показатели продольно-угловых перемещений:

- дифференты корпуса трактора  $\phi_0=1,4^\circ$ ,  $\Delta\phi=3,44^\circ$  вперед;
- перемещение ЦУП  $Z_0=0,058$  м,  $\Delta Z=0,004$  м;
- дифференты орудия  $\psi_0=0$ ,  $\Delta\psi=0,11^\circ$ ;
- перемещения колеса орудия  $q_{0\text{пл}}=0,025$  м,  $\Delta q_{\text{пл}}=-0,007$  м.

Показатели силового взаимодействия корпуса трактора и орудия:

- нормальная нагрузка на опорное колесо орудия  $Y_H=18,99$  кН;

- момент «зашемления» тяг НУ  $\lambda=-2,88$  кН·м.

Таким образом, характер приложения тяговой нагрузки существенно влияет на тяговые показатели трактора.

Установлены аналогичные показатели взаимодействия трактора на почве с коэффициентами трения покоя  $f_n=1,0$  и скольжения  $f_{ck}=0,8$  [5]. В агрегате с навесным орудием.

При буксовании  $\delta=0,05$  трактор преодолевает технологическое сопротивление рабочих органов орудия лишь  $R_x=10,7$  кН плюс силу трения орудия  $P_f=10,7$  кН. При этом под катками на активно-опорных участках формируется суммарная касательная сила тяги лишь  $P_{\text{вк}}=22,3$  кН, а сила натяжения рабочей ветви гусеницы  $T_p=43,0$  кН.

Таким образом, характеристики почвогрунта существенно влияют на тяговые показатели трактора.

Из приведенных данных следует, что датчик тягового усилия гидромеханической системы регулирования, встроенный в палец крепления верхней тяги НУ тракторов «Беларус», дает ложный сигнал. У тракторов «Беларус» высокой и особо высокой мощности приме-

нена электрогидравлическая система «Bosch». Датчик тягового усилия встроен в нижнюю тягу НУ.

Экспериментальные данные о существенном влиянии продольно-угловых перемещений колесного трактора и сельхозорудия приведены в работе [6]. Показано, что эффект «зашемления» верхней тяги НУ проявляется при малых углах наклона верхней тяги к горизонту. Усилия сжатия верхней тяги НУ возникают при движении по неровностям рельефа и деформациях рессор подвески.

## Выходы

1. С учетом возникающих при этом «избыточных» связей, возникающие при копировании неровностей рельефа и деформаций рессор подвески дополнительные силы и моменты выражены через множитель Лагранжа. Получена и решена система пяти уравнений (включая уравнение связи). Проанализированы результаты расчетов.

2. Показано, что датчик тягового усилия, встроенный в верхнюю тягу НУ, при «зашемлении» последней дает ложный сигнал.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горин, Г.С. Исследования и обоснование типа подвески гусеничного скоростного трактора класса 3: дис. ...канд. техн. наук: 05.05.03 /Г.С. Горин. – Минск, 1970. – 185 л.

2. Горин, Г. С. Уравновешивание эшелонированного пахотного агрегата на базе гусеничного трактора в продольно-вертикальной плоскости / Г. С. Горин, А. В. Ващула // Вес. Нац. акад. навук Беларуси. Сер. аграр. навук, 2008. – № 1. – С. 89-95.

3. Горин, Г.С. Общая и тяговая динамика подпрессоренного гусеничного трактора с задненавешенным орудием. Кинематика //Агропанорама, 2013. – № 4. – С. 3-7.

4. Разработать методику, программное обеспечение и исследовать влияние агрегатируемого рабочего оборудования на тягово-сцепные качества трактора «Беларус – 2102» и его модификаций, исследовать нагруженность тракторов при работе с рабочим оборудованием: отчет о НИР ГТНП «Белавтотракторостроение» / Белорус. гос. аграрн. техн. уч-т; рук. темы Г.С. Горин. – Минск, 2004. – 38 с. – № ГР 200332.

5. Гуськов, В. В. Тракторы. Конструирование и расчет / В.В. Гуськов, И.П. Ксеневич, Ю.А. Атаманов, А.С. Солонский. – Мн.: Вышш. школа, 1981. – 383 с.

6. Горин, Г.С. Влияние малых взаимных перемещений трактора и полунавесного прицепного сельхозорудия на тяговую и общую динамику их взаимодействия / Г. С. Горин, А. В. Захаров, А.В. Ващула // Вес. Нац. акад. навук Беларуси. Сер аграрн. навук. – № 2. – С. 105-112.

## ПРИСПОСОБЛЕМОСТЬ ХОДОВЫХ СИСТЕМ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ К ПОЧВЕННЫМ УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А.Н. Орда, докт. техн. наук, профессор, В.А. Шкляревич, ст. преподаватель (БГАТУ);  
А.С. Воробей, канд. техн. наук (РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»)

### Аннотация

*В статье рассмотрены элементы агрогосистемы «человек – ходовая система почвообрабатывающего агрегата – почва» и связь между ними. Предложены зависимости по расчету меры упорядоченности подсистемы «ходовая система – почва», которая может служить в качестве показателя по оценке приспособляемости ходовых систем почвообрабатывающих агрегатов к почвенным условиям.*

*Agro ecosystem elements "a persons is a running system of the soil-cultivating unit is the soil" and communication between them are considered in the article. Dependences by calculation of a measure of orderliness of a subsystem "a running system is the soil" which can serve as an indicator according to adaptability of running systems of soil-cultivating units to soil conditions are offered.*

### Введение

Как правило, существующие в настоящее время конструкции ходовых систем тракторов и других самоходных сельскохозяйственных машин обеспечивают их высокую проходимость без учета уровня воздействия на почву, в ущерб последней. Так, например, тракторы тяговых классов 3 и 5, получившие повсеместное использование в операциях, связанных с обработкой почвы, обладая высокой мощностью и шинами с развитыми почвозацепами, обеспечивают проходимость почвообрабатывающих агрегатов на их основе в переувлажненных почвенных условиях, оставляя глубокий след с переуплотненной в нем почвой. Поэтому параметры и компоновка ходовых систем почвообрабатывающих агрегатов, особенно тех, в состав которых входят тяжелые и энергонасыщенные тракторы, должны быть управляемыми.

### Основная часть

Одним из основных критериев оценки совершенства конструкций ходовых систем является их влияние на агрогосистему, которая отличается от естественной экосистемы наличием технологических воздействий. Вследствие воздействия ходовых систем почвообрабатывающих агрегатов на структурную почву состояние агрогосистем менее устойчиво, чем естественной экосистемы. Устойчивость в данном случае характеризуется тем, как агрогосистема самопроизвольно возвращается в первоначальное состояние, будучи из него выведенным такими внешними воздействиями как уплотнение почвы ходовыми системами почвообрабатывающих агрегатов.

Почвообрабатывающий агрегат представляет собой агротехническую систему, применительно к кото-

рой рассматриваются следующие системные взаимодействия: ходовая система – почва; оператор – почвообрабатывающий агрегат; человек – почва (рис. 1).

Для анализа этих взаимодействий можно применить информационный подход. Функционирование почвообрабатывающего агрегата обеспечивается за счет поступающей извне энергии и информации. При этом происходит процесс обмена информацией между элементами этой агротехнической системы. Для упорядочения и организации информационного взаимодействия между элементами системы применяется

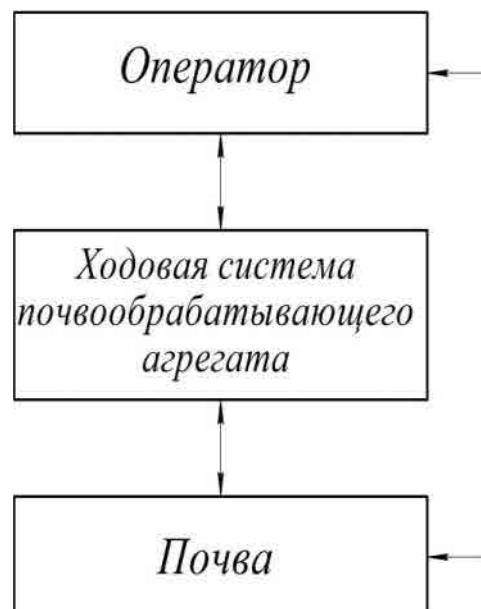


Рисунок 1. Связь элементов агрогосистемы

управление. В системах, оказавшихся в условиях неорганизованных взаимодействий со средой, без восполнения энергетических и информационных ресурсов возрастает неупорядоченность и снижается эффективность их функционирования [1].

Применительно к агротехнической системе неорганизованное взаимодействие со средой проявляется в разрушении структуры и переуплотнении почвы ходовыми системами почвообрабатывающих агрегатов. Из исследований [2] следует, что при воздействии ходовых систем почвообрабатывающих агрегатов на почву энтропия процесса взаимодействия элементов подсистемы «ходовая система – почва» начинает расти. Из теории информации известно, что энтропия есть мера недостатка информации о некоторой физической системе, любое влияние на которую автоматически ведет к изменению ее энтропии. Эффективность такого влияния может быть определена как отношение полученной информации к связанному с ней увеличению энтропии.

Из исследований [3] известно, что

$$J + S = \text{const},$$

где  $J$  – количество информации, бит;

$S$  – энтропия, бит.

Из изложенного следует, что введение в систему определенного количества информации способствует снижению энтропии, для чего почвообрабатывающий агрегат необходимо «насыщать информацией», т. е. выбирать и управлять параметрами и компоновкой ходовых систем, обеспечивающих их допустимый уровень воздействия на почву, применять приспособления для снижения уплотнения почвы.

Управляемая агротехническая система должна быть организованной и упорядоченной. В качестве меры упорядоченности системы принимается степень отклонения ее состояния от термодинамического равновесия [4]:

$$R = 1 - \frac{S}{S_m}, \quad (1)$$

где  $R$  – мера упорядоченности системы;

$S$  – энтропия для данного состояния системы, бит;

$S_m$  – максимальное значение энтропии, бит.

С помощью формулы (1) мера упорядоченности системы будет оцениваться в пределах от 0 до 1. Нижнее значение меры упорядоченности будет иметь система, находящаяся в полном беспорядке, верхнее – идеально упорядоченная система.

Найдем меру упорядоченности агротехнической подсистемы «ходовая система – почва». Энтропия процесса деформации почвы ходовой системой выражается зависимостью [4]:

$$S = c \cdot \frac{p_0^2}{k} \ln \operatorname{ch} \left( \frac{k}{p_0} h \right), \quad (2)$$

где  $c$  – коэффициент пропорциональности, бит·Н<sup>1</sup>·м;

$p_0$  – предел несущей способности почвы, Па;

$k$  – коэффициент объемного смятия почвы, кН/м<sup>3</sup>;

$h$  – деформация почвы в результате воздействия рассматриваемой ходовой системы, м.

Выражение (2) получено с помощью зависимости гиперболического тангенса между напряжением  $\sigma$  и деформацией почвы [4]:

$$\sigma = p_0 t h \left( \frac{k}{p_0} h \right). \quad (3)$$

Путем подстановки выражения (2) в зависимость (1) найдем меру упорядоченности рассматриваемой подсистемы при движении ходовой системы почвообрабатывающего агрегата по связной почве (стерне):

$$R = 1 - \frac{\ln \left| \operatorname{ch} \left( \frac{k}{p_0} h \right) \right|}{\ln \left| \operatorname{ch} \left( \frac{k}{p_0} h_m \right) \right|}, \quad (4)$$

где  $h_m$  – деформация почвы, при которой энтропия достигает максимального значения, м.

Зависимость между напряжением и деформацией почвы, подготовленной под посев, записывается в виде [4]:

$$\sigma = \frac{a}{b} \operatorname{tg}(a \cdot b \cdot h), \quad (5)$$

где  $a$  – почвенный коэффициент, Н<sup>½</sup> · м<sup>-½</sup>;

$b$  – почвенный коэффициент, Н<sup>-½</sup> · м<sup>½</sup>.

Мера упорядоченности исследуемой подсистемы для случая взаимодействия ходовой системы с почвой, подготовленной под посев, согласно зависимости (1), с учетом выражения (5) определяется по формуле [4]:

$$R = 1 - \frac{\ln |\cos(a \cdot b \cdot h)|}{\ln |\cos(a \cdot b \cdot h_m)|}. \quad (6)$$

Деформация  $h$  в зависимости от типа почвы и конструкции ходовой системы определяется по зависимостям [4]:

$$h_n = \frac{p_0}{k} \operatorname{Arch} \left( \frac{n^B}{\sqrt{1 - \frac{\sigma^2}{p_0^2}}} \right), \quad (7)$$

$$h_n = \frac{1}{a \cdot b} \operatorname{Arc cos} \left( \frac{n^{-B_1}}{\sqrt{1 + \left( \frac{b^2}{a^2} \right) \sigma^2}} \right), \quad (8)$$

где  $B$  – коэффициент накопления повторных осадок для связных почв;

$B_1$  – коэффициент накопления повторных осадок для почв, подготовленных под посевы.

Деформация  $h_m$ , при которой энтропия достигает максимального значения, определяется из условия достижения пористостью критического значения.

Мера упорядоченности подсистемы «ходовая система – почва» может служить в качестве показателя приспособляемости почвообрабатывающего агрегата к почвенным условиям эксплуатации.

Важное значение для улучшения приспособляемости ходовой системы к почве имеет совершенствование подсистем «оператор – почвообрабатывающий агрегат» и «человек – почва». Применительно к решению задачи по улучшению приспособляемости ходовых систем к почвенным условиям важно оценить степень влияния оператора на возможность переналадки и регулировки почвообрабатывающего агрегата при изменении почвенных условий. Для этого необходимо агроному, инженеру, механизатору овладеть приемами и операциями почвоизделяющей обработки почвы.

Предложенные зависимости (4) и (6) по расчету показателя приспособляемости почвообрабатывающего агрегата к почвенным условиям эксплуатации позволяют дать оценку различным приспособлениям повышения проходимости. На основании этого авторами предложены изобретения [5-8], в которых обоснованы пути улучшения «приспособляемости ходовых систем почвообрабатывающего агрегата к различным почвенным фондам». Так, например, преобразование колеса в колесно-гусеничный движитель в зависимости от конструкции приспособления (рис. 2) позволяет увеличить показатель приспособляемости почвообрабатывающего агрегата к условиям эксплуатации в 1,5 - 2 раза.

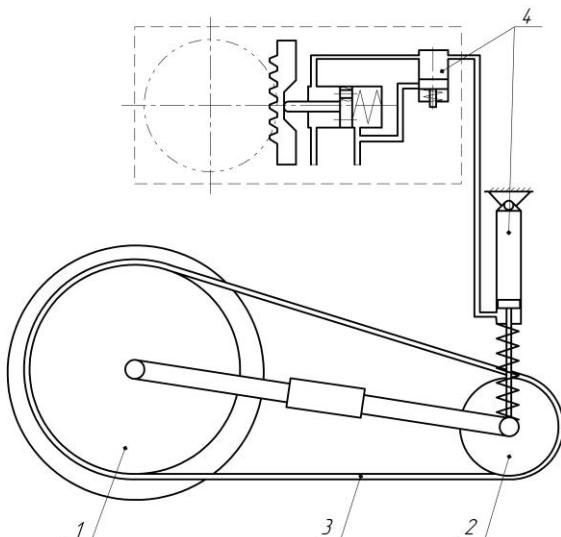


Рисунок 2. Полугусеничный ход колесного трактора: 1 – ведущее колесо; 2 – ведомое колесо; 3 – гибкий обод; 4 – гидросистема трактора

При использовании почвообрабатывающих агрегатов на переувлажненных почвах или почвах, обладающих низкой несущей способностью, предложены конструкции гусеничных и полугусеничных движи-

телей (рис. 3, 4), колесного транспортного средства со сдвоенными колесами (рис. 5), позволяющие повысить их проходимость и увеличить показатель приспособляемости почвообрабатывающего агрегата к почвенным условиям эксплуатации более чем в 2 раза.

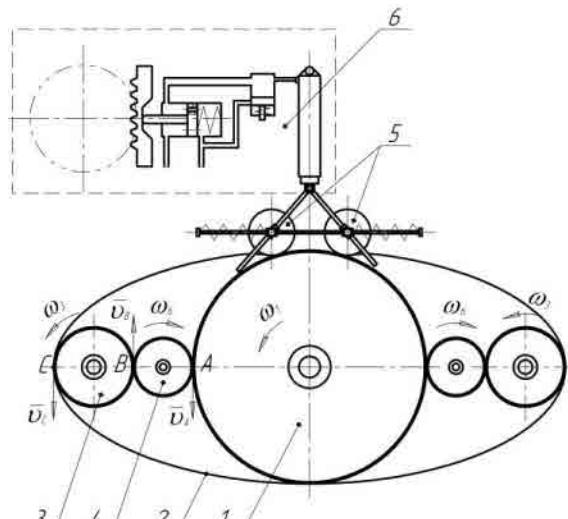


Рисунок 3. Колесно-гусеничный движитель:  
1 – ведущее колесо; 2 – гибкий обод; 3 – ведомый ролик; 4 – промежуточный ролик; 5 – обжимные катки; 6 – гидросистема

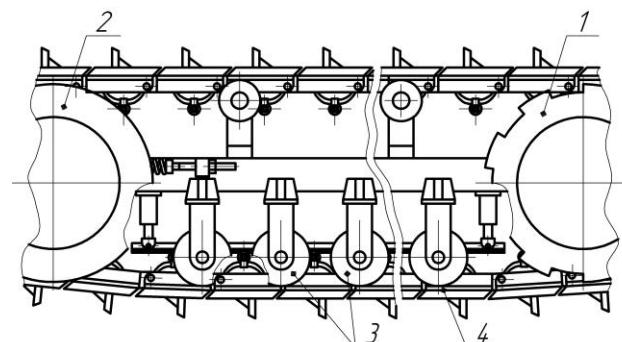


Рисунок 4. Гусеничный движитель:  
1 – ведущее колесо; 2 – ведомое колесо; 3 – опорные катки; 4 – гусеничная лента

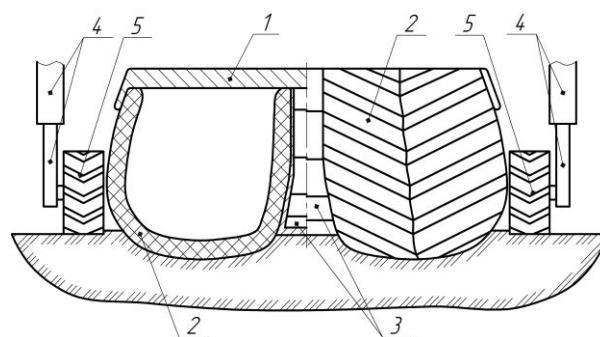


Рисунок 5. Сдвоенное колесо транспортного средства повышенной проходимости:  
1 – обод; 2 – шины; 3 – клиновидная вставка; 4 – гидроцилиндры; 5 – дополнительные выдвижные колеса

**Заключение**

На основании рассмотрения связей между элементами агроэкосистемы «человек – ходовая система почвообрабатывающего агрегата – почва» предложены зависимости по расчету меры упорядоченности подсистемы «ходовая система – почва», с помощью которых можно выбирать и управлять параметрами и компоновкой ходовых систем почвообрабатывающих агрегатов, обеспечивающих их допустимый уровень воздействия на почву. Предложены конструкции движителей почвообрабатывающих агрегатов, позволяющие повысить показатель приспособляемости почвообрабатывающего агрегата к почвенным условиям эксплуатации в 1,5 – 2 раза.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Игнатьев, М. В. Моделирование системы машин / М. В. Игнатьев, Б. З. Ильевский, Л. П. Клаус. – Л.: Машиностроение, 1986. – 304 с.
2. Чигарев, Ю. В. Математические основы механики почв / Ю. В. Чигарев, П. Н. Синкевич. – Мин.: УП «Технопринт», 2004. – 164 с.
3. Волькенштейн, М. В. Биофизика / М. В. Волькенштейн. – М.: Наука, 1981. – 576 с.
4. Орда, А. Н. Эколого-энергетические основы формирования машинно-тракторных агрегатов: дис.

УДК 631.3.02: 631.4

... д-ра техн. наук: 05. 20. 03 / А. Н. Орда; Белор. аграр. техн. ун-т. – Минск, 1997. – 269 с.

5. Полугусеничный ход колесного трактора: пат. 2328 Респ. Беларусь, МПК 7 В 62D 55/04 / А.Н. Орда, В.А. Шкляревич, Н.А. Гирейко, А.А. Зенькович, А.Б. Селеш; заявитель Белор. гос. аграр. техн. ун-т. – № и 20050262; заявл. 06.05.05; опубл. 30.12.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – №4. – С. 39.

6. Транспортное средство повышенной проходимости: пат. 6071 Респ. Беларусь, МПК В 60В 11/00 / А.Н. Орда, В.А. Шкляревич; заявитель Белор. гос. аграр. техн. ун-т. – № и 20090581; заявл. 06.07.09; опубл. 30.04.10 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 2. – С. 183.

7. Движитель транспортного средства: пат. 14390 Респ. Беларусь, МПК В 62D 55/00 / А.Н. Орда, В.А. Шкляревич; заявитель: Белор. гос. аграр. техн. ун-т. – № и 20090212; заявл. 16.02.09; опубл. 30.06.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 3.

8. Гусеничный движитель: пат. 16452 Респ. Беларусь, МПК В 62D 55/26 / А.Н. Орда, В.А. Агейчик, В.А. Шкляревич; заявитель: Белор. гос. аграр. техн. ун-т. – № и 20100686; заявл. 07.05.10; опубл. 30.10.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 5.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 25.11.2012

**ДОПУСТИМЫЙ УРОВЕНЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХОДОВЫХ СИСТЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ПОЧВУ**

**Г.И. Гедроить, канд. техн. наук, доцент, Ю.И. Томкунас, канд. техн. наук, доцент,  
А.Д. Чечеткин, канд. техн. наук, доцент (БГАТУ)**

**Аннотация**

*Проанализирована нормативная документация по ограничению уровня воздействия ходовых систем сельскохозяйственной техники на почву. Даны оценка показателей воздействия для тракторов БЕЛАРУС. Приведены результаты полевых исследований по определению свойств почвы в следах ходовых систем с допустимым уровнем воздействия.*

*Standard documentation on the restriction of the level of influence of running systems of agricultural machinery on the soil is analyzed. The assessment of indicators of influence on the BELARUS tractors is given. The results of field researches on determination of properties of the soil are given in traces of running systems with admissible level of influence.*

**Введение**

В 1986 г. в СССР был принят ГОСТ 26955-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву» [1]. Введению стандарта предшествовала скоординированная 15-летняя работа научно-исследовательских и проектных организаций по обоснованию допустимых норм. Ведущую роль играли Всесоюзный институт механизации (ВИМ), НПО по тракторостроению (НАТИ), Почвенный институт им. Докучаева, Агрофизический

научно-исследовательский институт (АФИ) и ряд зональных институтов. В 1986 году в рамках общесоюзной научно-технической программы 0.51.12 было принято задание 03 «Разработать и внедрить технические процессы, новые и усовершенствованные машины с движителями, обеспечивающими допустимое воздействие на почву». В течение 1986-1990 годов был утвержден и прошел широкую экспертизу оценку указанный выше ГОСТ, созданы и исследованы образцы техники с допустимым давлением на почву. От Бела-

руси соисполнителями программы были ЦНИИМЭСХ, БИМСХ, БСХА, БПИ, БелНИИПАХ, БелНИИЗ, ПО МТЗ, ГСКПКТБ по комплексу машин для внесения органических удобрений (г. Бобруйск), ГСКБ по кормоуборочным машинам (г. Гомель) и некоторые другие организации. После распада СССР исследования по указанной проблеме были в основном свернуты. На территории Беларуси ГОСТ 26955-86 действует в настоящее время без изменений. Однако практическая реализация его ограничена.

Ниже приводятся основные положения названного стандарта, результаты полевых исследований по оценке воздействия на почву ходовых систем с допустимым уровнем воздействия на почву, анализ некоторых проблем, связанных с реализацией ГОСТ 26955-86, оценка тракторов БЕЛАРУС на соответствие стандарту.

### **Основная часть**

Проблема воздействия ходовых систем на почву сельскохозяйственной техники возникла одновременно с появлением ее на полях. Первые тракторы имели большую массу, низкие удельные показатели. Так, тракторы фирмы «Харт-Парр» (США), впервые в мире начавшей их серийное производство в начале XIX века, имели массу около 6000 кг при удельной массе около 270 кг/кВт. Учитывая, что эти тракторы были на металлических колесах, сравнительно небольшого размера, фермеры обратили внимание на то, что они сильно уплотняют почву.

Начало производства и расширение импорта зарубежных тракторов на территорию СССР в 20-е годы прошлого столетия вызвало повышение интереса к проблеме воздействия ходовых систем на почву. В этот период большой объем исследований проводят Н.А. Качинский и М.Х. Пигулевский. Ученые отмечали определенную бессистемность показателей по оценке воздействия тракторов на почву, дали сравнительную оценку для тракторов того периода, показали длительность восстановления разрушенных почвенных агрегатов, сделали попытку обосновать допустимый уровень буксования. М.Х. Пигулевским был сделан вывод, что «... при конструировании трактора нельзя начинать работу от мотора: мотором никого нельзя удивить в настоящее время, его можно поставить любой мощности и любого качества. Нужно исходить из почвы... Решение о почвозацепной конструкции трактора не может быть случайным, оно должно быть основным» [2].

Совершенствование технологий производства тракторов, применение на тракторах пневматических шин позволило улучшить их показатели при одновременном снижении массы.

Так, трактор МТЗ-5, производство которого было начато в 1957 году, при массе около 3200 кг имел удельную массу 110 кг/кВт. Но уже в этот период на

среднем суглинке Волгоградской области в опытах было отмечено снижение урожайности зерна озимой пшеницы на 5...50 % в зависимости от давления воздуха в шинах [2].

Однако масса тракторов продолжает расти. У современных сельскохозяйственных тракторов она достигает 14000 кг и более. Удельная масса составляет 30...40 кг/кВт и имеет тенденцию к уменьшению до 20...25 кг/кВт, что косвенно говорит об увеличении массы агрегатируемых машин.

Негативное воздействие ходовых систем на почву проявляется в изменении ее физических, механических и биологических свойств [2-4]. По общенным данным, от воздействия колес и гусениц техники теряется 5-30 % урожайности сельскохозяйственных культур.

Необходимость ограничить влияние ходовых систем на почву отражалась в агротехнических требованиях на новую технику. В основном использовался показатель – среднее давление на почву. В 1981 году ГОСТ 24096-80 [5] ограничил среднее давление движителей на жесткое основание для гусеничных тракторов до 45 кПа, а для колесных – не более 80-110 кПа. Различия в значениях среднего давления связаны, очевидно, с высокой неравномерностью распределения давлений в контакте звенчатой гусеницы, большим временем ее взаимодействия с почвой. Определение среднего давления движителей на жесткое проводилось в соответствии с ГОСТ 7057-81 [6]. В последнем предлагалась также методика для определения воздействия ходовых систем на почву в полевых условиях. ГОСТ 24096-80 был отменен после принятия норм по ГОСТ 26955-86 (табл. 1).

**Таблица 1. Допустимые нормы воздействия движителей на почву по ГОСТ 26955-86**

Влажность почвы в слое 0-300 мм	Максимальное давление на почву колесного и гусеничного движителей кПа, не более		Нормальное напряжение в почве на глубине 0,5 м, кПа, не более	
	Весенний период	Летне-осенний период	Весенний период	Летне-осенний период
Св. 0,9 НВ	80	100	25	30
Св. 0,7 НВ до 0,9 НВ вкл.	100	120	25	30
Св. 0,6 НВ до 0,7 НВ вкл.	120	140	30	35
Св. 0,5 НВ до 0,6 НВ вкл. 0,5 НВ и менее	150 180	180 210	35 35	45 50

Видно, что в качестве нормируемых показателей приняты максимальные давления на почву и нормальные напряжения в почве на глубине 0,5 м в зависимости от сезона и влажности почвы, выраженной в долях наименьшей влагоемкости почвы (НВ).

Кроме указанных факторов, в стандарте предлагаются ряд поправок для максимального давления на почву (табл. 2).

В итоге окончательная норма по максимальному давлению  $q_n$  на почву рассчитывается для каждого движителя по формуле:

$$q_n = q_n + q_n (I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5),$$

**Таблица 2. Поправки к максимальным давлениям на почву по ГОСТ 26955-86**

Наименование поправки	Обозначение	Значение, %
Для супесчаных почв	И <sub>1</sub>	+20
Нагрузка на единичный движитель при влажности почвы менее 0,9 НВ:		
- не более 8 кН	И <sub>2</sub>	+25
- не более 16 кН		+15
- не более 25 кН		+10
(для гусениц)		
Ведомый режим работы движителя	И <sub>3</sub>	+10
Количество движителей, перемещающихся по одному следу:		
- один	И <sub>4</sub>	+10
- три		-5
- четыре		-10
- пять		-15
- шесть и более		-20
Высота протектора не более 25 мм	И <sub>5</sub>	+15

где  $q_n$  – нормируемое максимальное давление на почву в соответствии с табл. 1. Значения поправок умножаются на 0,01.

Кроме указанного, следует учесть, что нормы установлены для сельскохозяйственной техники при ее наибольшей эксплуатационной массе, а для тяговых средств – загруженных также номинальным тяговым усилием. По мнению авторов, последнее учесть практически невозможно, т.к. методика в нормативных документах не изложена. Кроме того, экспериментальное определение контурной площади контакта шин с жестким опорным основанием, являющейся основой для расчета нормируемых показателей, предполагает выполнение этой операции для установленного на ровной площадке трактора без каких либо ссылок на создание тягового усилия.

Следовательно, нормы максимальных давлений на почву движителей в частных случаях могут значительно корректироваться, их расчет и анализ достаточно сложен. Это видно из табл. 3, где приведены рассчитанные авторами нормы давлений с учетом поправок на тип почвы и нагрузок на движители для двухосных тракторов со всеми ведущими колесами.

Определены нормируемые показатели воздей-

ствия на почву современных тракторов БЕЛАРУС (табл. 4). Расчет выполнен на основе стандартных методик [7, 8]. Для одиночного колесного движителя максимальное давление на почву

$$q_k = q_{k_{cp}} K_2,$$

где  $q_{k_{cp}}$  – среднее давление колесного движителя на почву, кПа;

$K_2$  – коэффициент продольной неравномерности распределения давления по площади контакта шины.  $K_2 = 1,5$ .

Среднее давление колесного движителя на почву находим из выражения:

$$q_{k_{cp}} = \frac{G_k}{10^3 F_{kp}},$$

где  $G_k$  – статическая нагрузка на почву единичным колесным движителем, Н;

$F_{kp}$  – площадь контакта шины с почвой, м<sup>2</sup>.

Площадь контакта шины колеса с почвой, приведенная к условиям работы на почвенном основании, равняется:

$$F_{kp} = F_k K_1,$$

где  $F_k$  – контурная площадь контакта протектора шины на жестком основании, м<sup>2</sup>;

$K_1$  – коэффициент, зависящий от наружного диаметра колеса [7].

Максимальные нормальные напряжения в почве  $\sigma_{0,5}$  (кПа) на глубине  $h=0,5$  м вычисляли по формуле:

$$\sigma_{0,5} = 0,637 q_{k_{cp}} \times \left[ arctg \frac{ab}{h\sqrt{a^2 + b^2 + h^2}} + \frac{hab(a^2 + b^2 2h^2)}{(a^2 + h^2)(b^2 + h^2)(a^2 + b^2 + h^2)} \right],$$

где  $a$  и  $b$  – ½ длины и ширины площади контакта, м.

Параметры отпечатка шины на жестком основа-

**Таблица 3. Нормы максимальных давлений на почву для тракторов 4x4 (кПа)**

Влажность почвы	Суглинистая почва			Супесчаная почва		
	Нагрузка на единичный движитель, кН					
	≤ 8	> 8 ≤ 16	> 16	≤ 8	> 8 ≤ 16	> 16
Весенний период						
Св. 0,9 НВ	80	80	80	96	96	96
Св. 0,7 НВ до 0,9 НВ вкл.	125	115	100	150	138	120
Св. 0,6 НВ до 0,7 НВ вкл.	156	138	120	180	166	144
Св. 0,5 НВ до 0,6 НВ вкл. 0,5 НВ и менее	188 225	180 216	150 180	225 270	207 248	180 216
Летне-осенний период						
Св. 0,9 НВ	100	100	100	120	120	120
Св. 0,7 НВ до 0,9 НВ вкл.	150	138	120	180	166	144
Св. 0,6 НВ до 0,7 НВ вкл.	175	161	140	210	193	168
Св. 0,5 НВ до 0,6 НВ вкл. 0,5 НВ и менее	225 263	207 242	180 210	270 315	248 290	216 252

**Таблица 4. Показатели воздействия движителей колесных тракторов БЕЛАРУС на почву**

Марка трактора	Обозначение шин	Значение показателей				
		$G_k$ , кН	$F_{kp}$ , м <sup>2</sup>	$q_{kp}$ , кПа	$q_k$ , кПа	$\sigma_{0,5}$ , кПа
БЕЛАРУС - 320	7,5L16	3,58	0,037	94	141	11,4
	12,4L16	4,76	0,060	80	120	12,4
БЕЛАРУС - 80.1	9,00R20	5,49	0,061	97	146	11,3
	15,5R38	12,95	0,116	75	112	16,6
БЕЛАРУС - 82.1	11,2R20	5,70	0,065	98	138	14,8
	15,5R38	13,20	0,120	76	115	17,1
БЕЛАРУС - 900.3	9,00R20	6,08	0,062	98	145	14,0
	16,9R38	13,34	0,152	75	112	22,7
БЕЛАРУС - 1025	360/70R24	9,09	0,106	90	135	20,6
	16,9R38	16,88	0,168	76	114	19,7
	18,4R38	16,88	0,164	103	154	14,2
БЕЛАРУС - 1523	420/70R24	10,29	0,112	92	138	15,2
	520/70R38	19,11	0,178	108	162	19,8
БЕЛАРУС - 3022	540/65R30	19,04	0,152	125	187	20,1
	580/70R42	35,35	0,252	140	210	30,2

нии были определены в основном экспериментально [9], а для шин тракторов БЕЛАРУС –1523/3022 использовали аналитические зависимости, рекомендованные НАТИ [4].

Анализ результатов показывает, что по нормальным напряжениям в почве на глубине 0,5 м почти все тракторы соответствуют нормам. Превышение отмечено только для тракторов БЕЛАРУС-3022 при влажности почвы свыше 0,6 НВ для весеннего периода. Этот же трактор не укладывается в нормативы и по максимальным давлениям на суглинистую почву в весенний период. Ходовые системы других тракторов обеспечивают допустимое максимальное давление на почву при влажности почвы до 0,5 НВ. Верхние значения влажности почвы, при которой обеспечиваются допустимые нормы для тракторов БЕЛАРУС - 1221/1523, составляют 0,7 НВ на супеси, для остальных – 0,9 НВ на супеси и на суглинке в осенне-летний период. Определяющими, в основном, являются передние колеса тракторов. Воздействие трактора БЕЛАРУС-80.1 укладывается в нормы до 0,9 НВ и на суглинистых почвах в весенний период, т.к. последнее необходимо увеличить для указанного трактора на 25 % из-за малой высоты протектора шин и работы в ведомом режиме передних колес.

Отметим, что в расчетах показателей воздействия ходовых систем тракторов на почву мы не учитывали возможность агрегатирования ими машин, идущих по следу тракторов. В зависимости от количества колес, передвигающихся по одному следу, нормы для тракторов (табл. 3) могут быть уменьшены на 5-20 %. По указанным выше причинам не учитывали также влияние тягового усилия на крюк. Таким образом, для тракторов БЕЛАРУС наиболее актуален вопрос обеспечения допустимого уровня воздействия движителей на почву при влажности почвы свыше 0,6 НВ, особенно для тракторов тяговых классов 2...5.

В полевых условиях авторами оценено влияние ходовых систем с допустимым давлением на почву. Исследования проведены с использованием транспортно-технологической машины МЖТ-19 с шинами 22/70-20 мод. Ф-118. Нагрузка на колеса и давление воздуха в шинах задавались из условия обеспечения нормируемых показателей воздействия при допустимой деформации шины (табл. 5).

При обеспечении допустимых по ГОСТ 26956-86 норм воздействия ходовых систем глубина следов машин не превышает 30...50 мм, плотность и твердость почвы по следам в пахотном слое, соответственно, 1355-1440 кг/м<sup>3</sup> и 600...1000 кПа. В подпахотном слое (200...300 мм) изменения плотности почвы незначительные.

Полученные значения плотности почвы выше оптимальных, которые для суглинистых почв в зависимости от культуры составляют 1100-1300 кг/м<sup>3</sup> [2]. Однако плотность почвы и на контроле (в среднем 1340 кг/м<sup>3</sup>) превышает эти значения. Снижение плотности почвы обеспечивается рыхлением. Отметим, что плотность почвы после прохода машин с допустимым уровнем воздействия значительно ниже плотности почвы после прохода агрегатов с аналогичными машинами, имеющими реальные нагрузки на ходовую систему и давления воздуха в шинах [10]. В сопоставимых условиях плотность почвы в пахотном слое по следам составляла в среднем 1570 кг/м<sup>3</sup>, твердость почвы – 1850 кПа, а глубина следов – 115 мм. Следовательно, на влажной почве обеспечение допустимого уровня воздействия на почву ходовых систем агрегатов с прицепными машинами для внесения удобрений может позволить снизить плотность почвы в следах на 150-170 кг/м<sup>3</sup>, твердость почвы в 1,8...3 раза, глубину следа в 2,3-3,5 раза. Абсолютные значения глубины следа после машин с допустимым воздействием на почву приемлемы с позиций обеспечения удовлетворительных качеств агрофона [2].

**Таблица 5. Воздействие на почву ходовых систем с допустимым по ГОСТ 26955-86 давлением на почву**

Параметры	Варианты		
Тип почвы	Средний суглинок, зябь	Средний суглинок, зябь	Легкий суглинок, стерня
Интервал влажности почвы по ГОСТ 26955-86	0,7...0,9 НВ	Свыше 0,9 НВ	0,7...0,9 НВ
Нагрузка на колесо, кН	18,9	13,4	23,4
Давление воздуха в шине, кПа	67	35	92
Максимальное давление на почву по ГОСТ 26953-86, кПа	125	88	150
Плотность почвы по слоям, кг/м <sup>3</sup>			
Контроль			
0...100 мм	1280	1276	1372
100...200 мм	1366	1350	1397
200...300 мм	1503	1472	1426
след			
0...100 мм	1429	1333	1425
100...200 мм	1427	1377	1454
200...300 мм	1512	1478	1447
Твердость почвы в слое 0-200 мм, кПа			
контроль	583	430	854
след	875	617	1030
Глубина следа, мм	39	48	31

Из других методик наиболее разработанным и логически завершенным является предложение специалистов НАТИ [4]. В качестве нормируемого предложен показатель уплотняющего воздействия  $U$ , кН/м:

$$U = \omega B q_{\max} (1 + \chi \lg N),$$

где  $\omega$  – коэффициент, зависящий от размеров и формы опорной поверхности движителя;

$B$  – ширина движителя, м;

$q_{\max}$  – максимальное давление движителя на почву (расчетное), кПа;

$\chi$  – коэффициент накопления необратимых деформаций почвы при повторных нагрузлениях;

$N$  – число проходов движителей по одному следу.

Следовательно,  $U$  зависит от параметров, аналогичных по ГОСТ 26955-86. Допустимое значение показателя  $U$  составляет 75 кН/м. Достоинством методики авторы считают наличие в формуле ширины движителя. В ГОСТ 26955-86 ширина движителя учитывается при расчете нормальных напряжений в почве. Разработаны также рекомендации по ее учету при определении экономического эффекта от снижения воздействия ходовых систем на почву [2].

Во время обсуждения и утверждения стандартов [1, 7, 8] указанная выше методика была выдвинута в качестве альтернативной. При Госстандарте СССР была создана рабочая группа специалистов по экспертизной оценке в количестве 29 человек. Беларусь представляли ученыe – В.В. Кацыгин, В.А. Скотников, В.В. Гуськов, А.М. Кононов, Н.М. Гарцман. Эксперты

делали независимые заключения. В частности, профессор В.А. Скотников указывал на необходимость уточнения показателей для торфяно-болотных почв, для лугов и пастбищ, критиковал принятное определение «движитель» как не соответствующее универсальности для всех ходовых систем и др. Но основным выводом было то, что стандарты необходимо вводить, а дальше дорабатывать. Стандарты были приняты.

За истекший период действия стандартов по ограничению допустимого уровня воздействия ходовых систем на почву изменений в них не произошло. По мнению авторов, требует уточнения положение об определении основного параметра – контурной площади контакта колеса с жестким основанием. В ГОСТ 26953-86 делается ссылка на приложение к ГОСТ 7057-81. Но в 2002 году вместо него введен ГОСТ 7057-2001 и соответствующее приложение из последнего изъято. В нем имеется только определение понятия «контурная площадь контакта». Поэтому следует ввести методику определения контурной площа-ди контакта прямо в ГОСТ 26953-86.

Отдельно следует остановиться на нормировании такого важного показателя как буксование ведущих движителей. В научной и учебной литературе указывается, что номинальное тяговое усилие тракторов должно обеспечиваться при допустимом буксовании. Для тракторов с колесными формулами 4x2, 4x4 и гусеничных указывают соответственно 18,16, 5 % либо 16, 14, 3 %. Такое различие связано с тем, что первая группа цифр нормировалась методикой СЭВ, а вторая – ГОСТ 24096-80. В настоящее время оба документа не действуют. Введенный с 2003 г. межгосударственный стандарт по тяговым испытаниям тракторов [11] указывает, что максимальная тяговая мощность для гусеничных и колесных тракторов определяется соответственно при буксовании не более 7, 15 % на треках и 15, 30 % на почвенных фонах. Но это недопустимое буксование с агротехнической точки зрения. Следовательно, в настоящее время буксование тракторов нормативно не ограничено. В научной литературе для колесных тракторов допустимым называют буксование – 10 % [12]. Можно предположить, что при обеспечении допустимого уровня воздействия ходовых систем на почву по ГОСТ 26955-86, буксование будет ниже нормированного ранее из-за увеличения опорных поверхностей контакта, снижения глубины следов и роста коэффициента сцепления.

Таким образом, обеспечение допустимого воздействия на почву ходовых систем по ГОСТ 26955-86 позволяет существенно улучшить характеристики почвы в следах. Однако широкого внедрения стандарт не получает. Были созданы образцы тракторов

тягового класса 3 и комбайнов с шинами 66x43,00-25, тракторы БЕЛАРУС – 82 с шинами 18,4R34, шинами низкого давления фирмы «LIM», арочными шинами, модификации гусеничных тракторов с восьмикатковой тележкой, пневматическими гусеницами и др. [2, 4]. Освоено производство новых широкопрофильных шин, позволяющих несколько снизить давление на почву тракторов, комбайнов, прицепов. Например, тракторы БЕЛАРУС-3522 комплектуются шинами 600/65R34 и 710/70R42. Производятся машины для внесения удобрений с шинами 22/70-20 и 24/50-22,5. Давление воздуха в таких шинах составляет 200...220 кПа. Это существенно ниже, чем у широко применявшихся шин 16,5/70-18 с рабочим давлением воздуха 350-370 кПа. Однако это частичные меры. Актуальным остается создание ходовых систем для работы на почвах с влажностью 0,7 НВ и выше.

Недостаточная активность по разработке и внедрению новых ходовых систем связана с отсутствием координации проблемы, сложностью расчетов по стандартам, неоднозначностью допустимых норм для разных агрегатов и типов почв, недостаточной производственной проверкой эффективности ходовых систем с низким давлением на почву. В частности, данные о снижении урожайности от воздействия ходовых систем получены преимущественно методом сплошного укатывания почвы агрегатами. Это может существенно искажать реальные результаты [13]. Однако работы по внедрению норм воздействия ходовых систем на почву, их уточнению, конкретизации к почвенным фондам и культурам, созданию, испытанию и внедрению образцов техники с допустимым уровнем воздействия на почву необходимо продолжать. Как сказал на этапе обсуждения стандартов представитель одного из заводов, «...если угробим почву, то вымрет и сельхозмашиностроение». Проблема «ходовая система – почва – растение – урожай» ждет своего решения.

### **Заключение**

1. В Беларуси уровень допустимого воздействия на почву ходовых систем сельскохозяйственной техники нормируется ГОСТ 26955-86. Ограничиваются максимальные давления на почву и нормальные напряжения в почве на глубине 0,5 м. Буксование движителей не нормируется.

2. Тракторы БЕЛАРУС в основном обеспечивают допустимый уровень воздействия ходовых систем на почву при ее влажности до 0,6 НВ. Для тракторов тяговых классов 2...5 показатели уровня воздействия возрастают. Наиболее низкий уровень воздействия обеспечивает трактор БЕЛАРУС-80.1.

3. Обеспечение допустимых норм воздействия ходовых систем на почву позволяет существенно улучшить свойства почвы в следах. На дерново-подзолистой почве глубина следов таких ходовых систем составляет 30...50 мм, плотность почвы в па-

хотном слое 1355-1440 кг/м<sup>3</sup>, твердость почвы 600...1000 кПа.

4. Наиболее актуален вопрос создания сельскохозяйственной техники для работы на полях с влажностью почвы свыше 0,7 НВ.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву: ГОСТ 26955-86. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 7 с.
2. Русанов, В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения / В.А. Русанов. – М.: ВИМ, 1998. – 368 с.
3. Орда, А.Н. Сопротивление почв / А.Н. Орда. – Мин.: БГАТУ, 2002. – 94 с.
4. Ксеневич, И.П. Ходовая система – почва – урожай / И.П. Ксеневич, В.А. Скотников, М.И. Ляско. – М.: Агропромиздат, 1985. – 306 с.
5. Тракторы сельскохозяйственные. Основные параметры, обеспечивающие требования агротехники: ГОСТ 24096-80. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 5 с.
6. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний: ГОСТ 7057-81. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 25 с.
7. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву: ГОСТ 26953-86. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 11 с.
8. Техника сельскохозяйственная мобильная. Метод определения максимального нормального напряжения в почве: ГОСТ 26953-86. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 4 с.
9. Баранец, Л.Ф. Снижение негативного воздействия на почву машинно-тракторных агрегатов при возделывании сельскохозяйственных культур / Л.Ф.Баранец, Ю.И. Томкунас // Вестник БГСХА, 2008. – № 2. – С. 122-126.
10. Гедроитъ, Г.И. Уплотнение почв ходовыми системами сельскохозяйственных машин / Г.И. Гедроитъ //Агропанорама, 2010. – № 6. – С. 8-12.
11. Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей: ГОСТ 30745-2001 (ИСО 789-9-90). – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 12 с
12. Кононов, А.М. Исследование реализации тягово-цепных качеств и агротехнической проходимости колесных тракторов на суглинистых почвах Беларусь: автореф. ...дис. докт. техн. наук: / А.М. Кононов; Белор. гос. с.-х. академия. – Горки, 1974. – 41 с.
13. Гедроитъ, Г.И. Определение показателей воздействия ходовых систем на почву в полевых условиях / Г.И. Гедроитъ, А.Д. Чечеткин, Т.А. Варфоломеева // Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: доклады Междунар. научн.-практ. конф.; Минск, 14-15 апреля 2011 г.; под общ. ред. В.Б. Ловкиса, А.А. Бренча, В.М. Позднякова: в 2 ч. – Минск: БГАТУ, 2011. – Ч.1. – С. 64-66.

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ НАВОЗА К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ НА ПОЛЯХ**

**Д.Ф. Кольга, канд. техн. наук, доцент, В.С. Сыманович, канд. техн. наук, доцент,  
Г.Г. Тычина, канд. техн. наук, Д.В. Чернокал, инженер (БГАТУ)**

### **Аннотация**

*Рассматриваются вопросы увеличения выхода навоза за счет наращивания количества применяемых подстилочных материалов. Приведен анализ влияния способов компостирования и хранения навоза на его удобрительные свойства. Наращивание объемов и улучшение качества органических удобрений позволит существенно увеличить производство экологически чистой продукции в растениеводстве и животноводстве.*

*The questions of increase in an exit of manure at the expense of accumulation of quantity of applied covering materials are considered in the article. The analysis of influence of ways of composting and manure storage on its properties is provided. Accumulation of volumes and improvement of quality of organic fertilizers will allow increasing significantly production of environmentally friendly production in plant growing and animal husbandry.*

### **Введение**

История мирового земледелия показывает, что объемы и способы применения минеральных и органических удобрений являются одними из наиболее важных показателей, определяющих величину урожая сельскохозяйственных культур, уровень плодородия почв и степень интенсификации сельскохозяйственного производства.

Значение навоза, как удобрения, в первую очередь определяется тем, что он содержит все питательные вещества, необходимые растениям: азот, фосфор, калий, кальций, магний, железо, а также микроэлементы – бор, молибден и др.

Однако роль навоза в повышении урожайности сельскохозяйственных культур и плодородия почв определяется не только содержащимися в нем элементами пищи растений, но и положительным влиянием органического вещества на физико-механические и биологические свойства почвы.

Под влиянием навоза и других органических удобрений улучшается структура почвы, ее водный и воздушный режим, уменьшается вредное действие почвенной кислотности на рост растений и жизнедеятельность микроорганизмов. С обычной дозой навоза (20-30 т на 1 га) вносится около 1 т зольных веществ, в том числе не менее 0,5 т кальция и магния в пересчете на углекислые соединения [1]. Такое количество щелочных соединений оказывает значительное влияние на снижение кислотности почв. Кроме того, навоз обеспечивает дополнительное питание растений углекислым газом ( $\text{CO}_2$ ), что также способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Кроме этого, органические удобрения создают условия для более эффективного использования растениями минеральных удобрений. С увеличением производства

и поставок сельскому хозяйству минеральных удобрений значение навоза не только не уменьшается, но еще более усиливается.

Навоз является основным звеном круговорота питательных веществ. Питательные вещества, взятые растениями из почвы, в том числе и из внесенных в нее минеральных удобрений, поступают с кормами и подстилкой на скотный двор, переходят в навоз, с которым возвращаются в почву, и таким образом многократно участвуют в создании урожая.

### **Основная часть**

Низкий выход навоза во многих хозяйствах объясняется недостаточным применением подстилки для скота, плохо организованным сбором и хранением навоза. Применение достаточного количества подстилки при современном уровне животноводства может обеспечить накопление готового к внесению в почву навоза в пределах 15-20 млн т. Такое количество навоза по содержанию питательных веществ равноценно примерно 0,9-1,2 млн т минеральных удобрений в пересчете на стандартные туки [2].

Наращивание количества подстилочных материалов, используемых при содержании скота, способствует не только увеличению объема накапливаемого навоза, но и улучшению его качества. Об этом можно судить по данным, приведенным на рис. 1.

Применение во всех животноводческих помещениях достаточного количества подстилки важно не только для увеличения выхода навоза и улучшения его качества, но и для улучшения зоогигиенических условий содержания скота. Подстилка создает теплое «ложе» животным, уменьшает сырость в помещении, снижает в воздухе содержание аммиака и других вредных газов. Все это способствует повышению производительности животных [3].

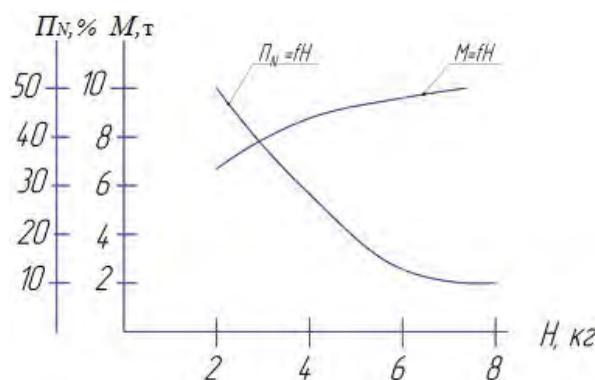


Рисунок 1. Зависимости накопления навоза ( $M$ ) и потери азота ( $P_N$ ) от количества подстилки ( $H$ )

Лучшими и наиболее распространенными подстилочными материалами являются солома злаковых культур и верховой сфагновый, так называемый, подстилочный торф. По сравнению с соломой верховой торф обладает более высокой поглотительной способностью. Один кг верхового, слабо разложившегося торфа, при влажности 40-45 % может поглотить от 4 до 6 кг навозной жижи.

При недостатке соломы и торфа для подстилки также могут быть использованы камыши, осоки, сухие древесные листья, опилки и другие влагоемкие материалы.

Солому для подстилки скоту лучше применять в виде резки, длиной 8-10 см. Измельченная солома больше, чем цельная, поглощает мочу животных, навоз плотнее укладывается в штабель, и при хранении из него меньше теряется азота и органического вещества. Такой навоз даже в полуперепревшем состоянии равномерно распределяется по полю и хорошо заделывается в почву не только плугом, но и дисковым культиватором. Затраты труда на резку соломы для подстилки с избытком окупаются прибавкой урожая [3].

В ряде сельскохозяйственных предприятий Республики Беларусь, особенно в пригородных хозяйствах, соломы для подстилки скоту не хватает. Крайне мало добывается и подстилочного торфа. При недостатке соломы и верхового волокнистого торфа для подстилки скоту можно использовать сухую торфянную крошку низинного и переходного торфа, степень разложения которого не превышает 20-25 %. Применение торфянной крошки для подстилки увеличивает выход навоза и обеспечивает сохранение в нем азота.

Однако использование в подстилку низинного торфа не всегда обеспечивает нормальные зоогигиенические условия содержания скота. Это наблюдается в тех случаях, когда применяют в подстилку сильно разложившийся сырой торф, с влажностью выше 50 %. Такой торф мало поглощает мочу животных и быстро превращается в грязь. Поэтому для подстилки скоту следует использовать хорошо просушенный торф, степень разложения которого не превышает 20-25 %, а влажность — 50 %. Особенno хорошие результаты получаются, когда торф в стойлах покрывается слоем соломы. Чтобы избежать

перемешивания торфа со снегом и увлажнения его дождями, хранить его необходимо возле скотных дворов под навесами или в больших, хорошо уложенных штабелях, высотой не менее 3-3,5 м.

Различают четыре стадии разложения навоза, приготовленного на соломенной подстилке: свежий, полуперепревший, перепревший и перегной.

**Свежий, слаборазложившийся навоз** — солома в нем незначительно изменяет цвет и прочность.

**Полуперепревший навоз** — солома в таком навозе приобретает темно-коричневый цвет, теряет прочность и легко разрывается. При доведении до такой стадии разложения навоз теряет от 10 до 30 % первоначального веса.

**Перепревший навоз** — представляет собой однородную мажущуюся массу. Солома разлагается настолько, что нельзя обнаружить отдельные соломинки. При доведении до такой степени разложения навоз теряет около 50 % органического вещества.

**Перегной** — рыхлая темная масса. В этой стадии разложения навоз теряет до 75 % органического вещества.

При длительном разложении навоза количество органического вещества уменьшается в 2-3 раза, а процентное содержание азота и других питательных веществ в навозе повышается незначительно (табл. 1). Это указывает на большие потери азота и фосфора при длительном хранении навоза.

Таблица 1. Содержание азота и фосфора в навозе в зависимости от степени его разложения

Содержание, %	Степень разложения навоза			
	свежий	полуперепревший	перепревший	перегной
Азота (N)	0,52	0,60	0,66	0,73
Фосфора ( $P_2O_5$ )	0,31	0,38	0,43	0,48
Потери органического вещества, %	-	29,0	47,2	62,4

Наиболее рациональным является холодный способ хранения навоза — укладка его в большие уплотненные штабели, шириной не менее 3-4 м и высотой в уплотненном состоянии — 1,5-2 м.

При анаэробном хранении навоза в уплотненных штабелях из него меньше теряется азота и органического вещества, в навозе накапливается значительное количество аммиачного азота, вследствие чего он отличается высоким удобрительным действием.

Однако следует иметь в виду, если такой навоз после разбрзгивания по полю долго не запахивается и высыхает, то эффективность его сильно снижается из-за больших потерь аммиачного азота. Поэтому после разбрзгивания навоза требуется немедленная его заделка в почву.

В процессе хранения навоза в течение 3-4 месяцев из неуплотненных штабелей значительно больше теряется азота и органического вещества, чем из уплотненных штабелей (табл. 2).

**Таблица 2. Влияние способов хранения навоза на потери азота и органического вещества**

Способ укладки навоза в штабелях	Навоз на соломенной подстилке (потери, %)		Навоз на торфяной подстилке (потери, %)	
	Органического вещества	азота	Органического вещества	азота
Рыхлый	32,6	31,4	40,0	25,2
Плотный	12,2	10,7	7,0	1,0

При хранении навоза в поле зимой, площадка, предназначенная для закладки штабеля, должна быть очищена от снега. Для поглощения навозной жижи на площадку укладывают торф, соломенную резку или другой влагоемкий материал, слоем 20-30 см для поглощения навозной жижи. Сверху навоз закрывают торфом или соломой.

При компостировании навоза с добавлением фосфоритной муки повышается скорость разложения органического вещества навоза, сокращаются потери азота из него, а фосфор фосфоритной муки переходит в наиболее доступные для растения соединения. Компостирование навоза и фосфоритной муки позволяет эффективно использовать фосфорит не только на кислых подзолистых, но и на щелочных почвах.

Фосфоритная мука добавляется в количестве 15-20 кг на тонну навоза при укладке его в штабели в навозохранилище или на поле. Важно обеспечить тщательное смешивание навоза с фосфоритной мукой. Для этого рекомендуется посыпать навоз фосфоритной мукой непосредственно в животноводческих помещениях перед очисткой их от навоза. Качество компоста при этом значительно возрастает.

В настоящее время при высоких темпах развития животноводства не хватает подстилки. Особенно острый недостаток в подстилке испытывают хозяйства, расположенные вокруг крупных городов и промышленных центров, где площади под зерновыми не так велики, а животноводство сильно развито. И в целом технологии по подстилочному содержанию животных в Республике Беларусь не превышают 3 %.

Большинство хозяйств предпочитают получать бесподстилочный навоз. Количество применяемой подстилки в таких хозяйствах не превышает 0,5-1,5 кг на корову в сутки. Увеличить норму добавляемой подстилки не позволяют существующие установки по механизированной очистке животноводческих помещений от навоза. Они не справляются с добавлением подстилки в навоз, быстро ломаются и выходят из строя. При гидравлических системах уборки навоза добавление подстилки вообще недопустимо.

В некоторых хозяйствах бесподстилочный навоз в зимнее время собирается в закрытых или открытых навозохранилищах. С наступлением теплых дней этот навоз вывозится в поле и там используется для приготовления компостов. Во многих хозяйствах бесподстилочный навоз (с недостаточным количеством подстилки) смешивается с торфом или соломенной резкой и компостируется в навозохранилищах или на площадках возле животноводческих помещений. В поле выво-

зится уже хорошо созревший компост. С точки зрения качества получаемого удобрения, лучше всего весь торф и солому пропустить через скотный двор.

Компостирование бесподстилочного полужидкого навоза лучше всего осуществлять в теплое время в поле. На тонну торфяной крошки, влажность которой не превышает 60-65 %, следует применять не более тонны навоза. При таком соотношении смесь торфа с навозом приобретает влажность и структуру, которые обеспечивают хорошее проникновение воздуха в штабель, энергичное развитие биологических процессов и превращение соединений азота торфа в усвояемое растениями состояние.

В хозяйствах, которые не располагают торфом, бесподстилочный навоз можно использовать для приготовления компостов с почвой. Этот прием позволяет сохранить питательные вещества полужидкого навоза, придать ему сыпучесть, необходимую для равномерного внесения существующими машинами и приспособлениями. Для приготовления таких компостов на тонну навоза требуется 200-300 кг почвы, что составляет 20-30 % от массы навоза.

Для бесподстилочного навоза наиболее пригоден следующий способ заготовки компоста. На краю поля выделяют площадки, лучше небольшие (0,15-0,20 га). На отведенные площадки вывозят навоз и кладут в кучи в шахматном порядке. Доза полужидкого навоза в пересчете на гектар компостной площадки составляет 3000 и более тонн. Заделку навоза лучше проводить в два приема по 1500 тонн за каждый прием. Навоз перед заделкой разравнивают бульдозером. Первая доза запахивается на глубину около 10-12 см. Вторая доза – 1500 тонн навоза, вывезенная через несколько дней на эту же площадку, заделяется тяжелой дисковой бороной. При этом навоз хорошо смешивается с почвой, после чего смесь сгребают в штабели для компостиования. Если к такому компосту добавляют фосфоритную муку, то ее рассеивают по навозу после его разравнивания по площадке. Колесный трактор при внесении фосфоритной муки по толстому слою навоза и при его запашке буксует, поэтому лучше использовать для этих целей гусеничный [4].

Готовый компост по внешнему виду представляет собой темную однородную массу, напоминающую парниковый перегной.

Основную массу навоза рекомендуется вносить не весной, как это делается, а осенью под зяблевую вспашку, под пропашные культуры – картофель, сахарную свеклу, кукурузу. Для устранения потерь азота при длительном летнем хранении навоза в поле, крайне полезно, как показали исследования, укрывать его небольшим слоем (5-10 см) земли. Делается это при помощи буртоукрывателя БН-100.

Если навоз для осеннего внесения под зябь вывозится в поле в летнее время, то полезно не только укрывать, но и переслаивать штабели почвой. Общее количество почвы в этом случае также не должно превышать 20-30 % от массы навоза. Одним из существенных преимуществ этого приема является то, что даже при несвоевременной запашке такого навоза почти весь аммиачный азот сохраняется вследствие того,

что он находится в поглощенном состоянии. Эффективность такого навоза под влиянием высыпывания не только не снижается, но часто заметно возрастает.

Торфожижевые компосты можно готовить следующим способом. Торф укладывается в два сплошных вала с таким расчетом, чтобы между ними образовалось корытообразное углубление, толщина слоя торфа в местах соприкосновения двух валов должна быть около 40-50 см. Жижа заливается в это углубление. При этом необходимо следить за тем, чтобы жидкость не прорывала боковые стенки углубления, не переливалась через края. После того, как жижа или фекалии поглотятся торфом, всю массу сгребают бульдозером в штабели. Уплотнение штабеля не производится. На одну тонну торфа, в зависимости от его вида и влажности, берется 0,5-1,0 тонна навозной жижи. В торфожижевые компосты желательно также добавлять фосфоритную муку 1,5-2 % от массы компоста.

Торфожижевые компосты при весенней и летней заготовке созревают быстро – в течение 1-1,5 месяцев. Такие компосты можно вносить в почву под любую культуру. Смесь навозной жижи с торфом можно применять непосредственно после ее приготовления.

Компости из торфа и навозной жижи по своей эффективности, как правило, не хуже перепревшего навоза. Они являются быстро и сильно действующими удобрениями. Эффективность таких удобрений сущес-

твенно возрастает при совместном использовании с фосфорными минеральными удобрениями.

### **Заключение**

Существенное увеличение объемов и качества органических удобрений достигается наращиванием количества используемых подстилочных материалов. Строгое соблюдение технологий компостирования подстилочного и бесподстилочного навоза обеспечивает возможность получения зрелых компостов. В результате будут созданы предпосылки для получения значительных объемов экологически чистой продукции, как в растениеводстве, так и в животноводстве.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Прянишников, Д.Н. Об удобрении полей и сеялках / Д.Н. Прянишников. – М: МСХ РСФСР, 1982. – 312 с.
2. Назаров, С.И. Механизация обработки и внесения органических удобрений: учеб. пособ. для с.-х. вузов / С.И. Назаров, В.А. Шаршунов. – Минск: Уралдзай, 1993. – 296 с.
3. Wyniki spisu rolnieiego. – Warzawa, 2003. – С. 177.
4. Кольга, Д.Ф. Экологические проблемы и пути утилизации навоза на свиноводческих комплексах / Д.Ф. Кольга. – Минск: БГАТУ, 2007. – 134 с.

УДК 629.065:634.8.047

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 10.05.2012

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА УБОРКЕ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР**

**Т.А. Непарко, канд. техн. наук, доцент, А.В. Новиков, канд. техн. наук, доцент (БГАТУ);  
М.В. Прищепчик, магистрант (БГУИР); Л.Г. Шейко, канд. с.-х. наук, доцент (БГАТУ)**

### **Аннотация**

*Статья посвящена проблеме повышения эффективности работы погрузочно-транспортных средств в поточной технологической линии на уборке зерновых культур. Разработана методика, позволяющая более рационально использовать сельскохозяйственную технику во всех звеньях, уменьшив ущерб от снижения производительности машин и увеличения сроков уборки.*

*The article is devoted to a problem of the increase of the efficiency of loading vehicles in the stream technological line on cleaning of grain crops. The technique that allows using agricultural machinery more rationally in all links and to reduce damage from decline of productivity of the machines and increase the harvest time is developed.*

### **Введение**

Удельный вес затрат на погрузочно-транспортные работы при производстве зерновых в условиях Республики Беларусь составляет 15-20 %.

Функция погрузочно-транспортного процесса на уборке зерновых культур реализуется в условиях достаточно жестких ограничений на сроки проведения работ, связанных с минимизацией потерь биологического урожая.

Для оценки эффективности функционирования погрузочно-транспортных средств предлагается комплексный критерий, учитывающий эксплуатационно-экономические и агротехнические показатели качества работы.

### **Основная часть**

Поточную линию уборки зерновых культур представим как отдельные технологические операции (подсистемы  $i = 1, 2, \dots, m$ ), выполняемые последовательно

комплексом машин. Такая линия обладает высокой статистичностью свойств и режимов функционирования. Замкнутость комплекса машин, ведущая к сильным обратным связям в системе, рассматривается как многофазная система с ограниченным распределением ресурсов, критерием оптимизации которой служит минимизация общих потерь, как от простого уборочного комплекса, так и ущерба от объема невыполненной работы из-за снижения производительности машин.

Пусть  $\Theta$  – ожидаемый валовой сбор биологического урожая и уборочно-транспортный комплекс разделен на  $i$  подсистемы.

Потери, связанные с функционированием уборочной подсистемы ( $i = 1$ ), составят

$$\Pi_1 = \Theta - Q_1 D = \Theta - W_1 n_1 \tau_1 T_{cm} D,$$

где  $Q_1$  – ежедневный сбор зерна в  $i = 1$  подсистеме;

$D$  – агротехнические сроки уборки (нормативные и изменению не подлежат);

$W_1$  – фактическая часовая производительность;

$n_1$  – количество уборочных агрегатов;

$\tau_1$  – коэффициент использования времени смены подсистемы;

$T_{cm}$  – продолжительность смены.

Потери, связанные с функционированием погрузочно-разгрузочных ( $i = 2$ ) подсистем.

$$\Pi_2 = D(Q_1 - Q_2) = D \left[ Q_1 - (V_t \lambda_t \gamma \tau_2 T_{cm} n_2 / t_{u2}) \right], \quad (1)$$

где  $Q_2$  – ежедневный объем погрузки-разгрузки, т;

$V_t$  – объем технологической емкости, м<sup>3</sup>;

$\lambda_t$  – коэффициент использования объема технологической емкости;

$\gamma$  – объемная масса материала, т/м<sup>3</sup>;

$\tau_2$  – коэффициент использования времени смены подсистемы;

$n_2$  – количество погрузочно-разгрузочных средств;

$t_{u2}$  – продолжительность одного погрузочно-разгрузочного цикла, ч.

Потери, связанные с функционированием транспортной ( $i = 3$ ) подсистемы,

$$\Pi_3 = D(Q_2 - Q_3) = D \left[ Q_2 - (V_k \lambda_k \gamma \tau_3 T_{cm} n_3 / t_{u3}) \right], \quad (2)$$

где  $Q_3$  – ежедневный объем транспортных работ, т;

$V_k$  – объем кузова транспортного средства, м<sup>3</sup>;

$\lambda_k$  – коэффициент использования объема кузова;

$\tau_3$  – коэффициент использования времени смены подсистемы;

$n_3$  – количество транспортных средств;

$t_{u3}$  – продолжительность одного транспортного цикла, ч.

Чтобы потери  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$  были минимальными, в уравнениях (1) и (2) должен быть максимально большой второй член в скобках правой части, т.е.

$$\min \Pi_2 = \max(V_t \lambda_t \gamma \tau_2 T_{cm} n_2 / t_{u2}) \quad (3)$$

и

$$\min \Pi_3 = \max(V_k \lambda_k \gamma \tau_3 T_{cm} n_3 / t_{u3}). \quad (4)$$

Естественно, что чем меньше продолжительность цикла, тем меньше надо погрузочно-разгрузочных и транспортных средств в  $i = 2$  и  $i = 3$  подсистемах и тем легче при заданном составе машин выполнить запланированный объем работ. Если количество машин в подсистеме не оптимально, то они будут или простаивать, или не будет выполнен запланированный объем работ.

Для выбора оптимальной стратегии управления уборочно-транспортным процессом при заданной интенсивности грузопотока выясним, какие задачи управления строятся при варьировании численных значений переменных в выражениях (3) и (4). Поскольку величины  $V_t \lambda_t \gamma$  и  $V_k \lambda_k \gamma$  для выбранных погрузочно-разгрузочных средств постоянны, то оптимизация продолжительности цикла сводится к оптимизации скорости движения и расстояния условного рейса (или месторасположения и распределения рулонов (тюков) по полю).

Средняя скорость движения  $v$  зависит от технической характеристики машины, качества дорог, простоев при обслуживании в различных подсистемах и схемы транспортного обслуживания (жесткой или гибкой связи). Таким образом, оптимизация средней скорости перевозок сводится в основном к сокращению простоев в ожидании обслуживания. Время простоев транспортных средств ( $T_{np}$ ) в  $i$ -й подсистеме за общее расчетное время работы машин в течение агротехнического срока ( $T_a$ ) во всех подсистемах линии составит

$$T_{np} = N \sum_{i=1}^m t_{oik i cp}, \quad (5)$$

где  $N = \Theta / (V_k \lambda_k \gamma)$  – плановое количество рейсов транспортных средств за  $T_a$ ;

$t_{oik i cp}$  – среднее время ожидания обслуживания транспортных средств в  $i$ -й подсистеме, ч.

Средний путь условного рейса транспортной единицы принимаем равным расстоянию от центра убираемого поля до пункта переработки (хранения).

Общее время перемещения собранного урожая в поточной линии в течение агротехнического срока или суммарная производительность должны быть одинаковы во всех подсистемах:

$$W_i = W_{i+1} = \dots = W_m. \quad (6)$$

Установлено, что для стационарного режима эксплуатации в поточных линиях при жестком взаимодействии

ствии технологических звеньев максимальный коэффициент использования времени смены достигает 0,7 [1].

Оптимальное время перемещения собранного урожая в  $i$ -й подсистеме не зависит от ее номера, следовательно, фактическое суммарное время работы машин за  $T_a$  найдем из условия

$$\sum_{i=1}^m T_{\phi i} - T_a = 0 \text{ или } T_{\phi i} = \frac{T_a}{m}.$$

Оптимальное время работы каждой подсистемы – необходимый, но недостаточный критерий оптимизации функционирования поточной линии. Следует найти оптимальный состав технических средств в каждой подсистеме. Для этого необходимо определить вероятность простоя машин в  $i$ -й подсистеме и с учетом этой вероятности рассчитать состав технических средств, при минимуме потерь. Минимум потерь достигается применением гибких связей технологических звеньев в расчете на возможные отказы (установка межоперационных накопителей урожая).

Непрерывность работы уборочного комплекса ( $i = 1$ ) на отведенных участках (цикл работы) зависит от количества технологических емкостей (бункеров или других накопителей), рулона (тюков) соломы, погрузочно-разгрузочных средств. Кроме того, функционирование уборочного комплекса и погрузочно-разгрузочных средств ( $i = 1$  и  $i = 2$  подсистем) в реальных условиях характеризуется жесткой связью. Тогда необходимое количество агрегатов  $n_2$  в  $i = 2$  подсистеме определим из условия

$$n_2 \geq W_{n_1} / (W_{p_2} p_{p_2}) + z' / (W_{p_2} p_{p_2}), \quad (7)$$

где  $W_{n_1}$  – нормативная часовая производительность уборочного отряда, т/ч;

$W_{p_2}$  – средняя эксплуатационная производительность погрузочно-разгрузочного средства на уборке зерновой части урожая, т/ч;

$p_{p_2}$  – вероятность того, что все погрузочно-разгрузочные средства заняты в одном уборочном цикле;

$z'$  – количество рулона (тюков) соломы в поле;

$W_{p_2}$  – средняя эксплуатационная производительность погрузочно-разгрузочного средства на уборке незерновой части урожая, т/ч;

$p_{p_2}$  – вероятность того, что погрузочно-разгрузочные средства заняты на уборке незерновой части урожая.

Значение  $n_2$  следует округлять в большую сторону до целого числа. Минимально допустимое количество погрузочно-разгрузочных средств в  $i = 2$  подсистеме, обеспечивающее непрерывность уборочного процесса в  $i = 1$  подсистеме, должно быть не менее  $2n_2 / 3$ .

Количество рулона (тюков)  $n'_2$ , ожидающих погрузки и вывоза с поля, определим из предположения, что уборочный комплекс работает в стационарном режиме с цикловой производительностью  $W_{n_1}$  [2]:

$$n'_2 = \ln p_{ot} / \ln (W_{n_1} / W_2) - \ln ((W_{n_1} / W_2) + 1),$$

где  $p_{ot}$  – вероятность отказа (установка межоперационных накопителей) или вероятность того, что вся незерновая часть урожая убрана.

Потребность в транспортных средствах  $n_3$  для поддержания стационарного режима уборочного комплекса определим по формуле [2]:

$$n_3 = \ln p_{ot} / \ln (W'_2 / W_3) - \ln ((W'_2 / W_3) + 1), \quad (8)$$

где  $W'_2$  – масса зерна (незерновой части урожая), убранного в единицу времени, т;

$W_3$  – цикловая производительность транспортной единицы, т.

Значения  $n'_2$  и  $n_3$  следует округлять в большую сторону до целого числа.

Применение гибкой технологии и предложенной методики определения  $n_2$ ,  $n'_2$  и  $n_3$  при проектировании поточной линии позволяют достичь максимального использования потенциальных возможностей подсистем. Принимая во внимание, что транспортные средства выступают в роли связующего звена функционирования всех последующих подсистем ( $i = 4, 5, \dots, m$ ), необходимо увязать их взаимодействие по производительности согласно уравнению (6) и выбрать оптимальный состав технических средств, обеспечивающих минимальные простои транспортных средств в ожидании обслуживания.

Решение задачи сводится к минимизации общих С потерь от простоев уборочного комплекса, содержания и обслуживания погрузочно-транспортного парка за агротехнический срок и ущерба  $C_{a_i}$  от объема невыполненной работы из-за снижения производительности машин в  $i$ -й подсистеме за  $T_a$  из-за простоев.

Суммарные потери  $C_{pr_i}$  от простоев уборочного комплекса, содержания и обслуживания погрузочно-транспортного парка за агротехнический срок [3]:

$$C_{pr_i} = C_t T_{pr_t} + \sum_i C_i T_a - N \sum_i C_i T_{\phi i},$$

где  $C_t$  и  $C_i$  – стоимость 1 ч простоев транспорта и технических средств уборочного отряда, руб./ч;

$T_{pr_t}$  – общее время простоев транспорта в ожидании обслуживания за агротехнический срок, определяемое из уравнения (5), ч;

$T_{\phi i} = \sum_{i=1}^m t_{ob,i,cr}$  – фактическое время работы обслуживающих подсистем транспорта за агротехнический срок, ч;

$t_{об\ i\ сп}$  – среднее время обслуживания транспортной единицы в  $i$ -й подсистеме, ч.

Ущерб  $C_{a\ i}$  от объема невыполненной работы из-за снижения производительности машин в  $i$ -й подсистеме за  $T_a$  из-за простоев

$$C_{a\ i} = E_{n\ i} / C_3 \Delta Q_i,$$

где  $E_{n\ i}$  – нормативный коэффициент эффективности дополнительных капиталовложений;

$C_3$  – себестоимость зерна, руб./т;

$\Delta Q_i = Q_i - Q_{\phi\ i}$  – объем невыполненной работы из-за снижения производительности машин в  $i$ -й подсистеме за  $T_a$ , т.

Таким образом, общие потери для  $i$ -й подсистемы поточной линии составят

$$C = C_t T_{пр\ t} + \sum C_i T_a - N \sum C_i T_{\phi\ i} + E_{n\ i} / C_3 \Delta Q_i. \quad (9)$$

Из уравнения (9) видно, что свести к минимуму общие потери для уборочно-транспортной поточной линии можно как за счет исключения простоев техники, так и за счет уменьшения ущерба от снижения производительности машин из-за несогласованности работы уборочно-транспортного комплекса.

## Выводы

1. Для повышения эффективности работы погрузочно-транспортных средств в поточной технологической линии на уборке зерновых культур необходимо свести до минимума простои техники во всех звеньях, так как эти простои приводят к увеличению ущерба от снижения производительности машин и сроков уборки.

2. Определить рациональное количество техники в подсистемах поточной технологической линии на уборке зерновых культур можно по зависимостям (7) и (8).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Непарко, Т.А. Моделирование взаимодействия технических средств при производстве механизированных работ / Т.А. Непарко // Агропанорама, 2004.– № 3. – С. 14–16.

2. Дедков, В.К. Основные вопросы эксплуатации сложных систем: учеб. пособ. для вузов / В.К. Дедков, Н.А. Северцев. – М.: Высшая школа, 1976. – 406 с.: ил.

3. Нагірний, Ю.П. Обґрунтuvання інженерних рішень / Ю.П. Нагірний. – Київ.: Урожай, 1994. – 216 с.: ил.

## Измерители-регуляторы МТ2

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



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

### Основные технические данные

Напряжение питания	230 В ± 10%, 50 Гц
Потребляемая мощность, не более	4 ВА
Масса, не более	0,4 кг
Габаритные размеры	120x96x48 мм
Входной сигнал (измерительный преобразователь)	Термопреобразователь сопротивления: ТСП50П, ТСП100П, ТСМ50М, ТСМ 100М; Термопара типа: «L», «J», «K»; Унифицированный токовый сигнал: 0...5mA, 0...20mA, 4...20mA
Предел основной приведенной погрешности измерения	±0,5 %
Закон регулирования	позиционный, ПИД

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

В.Н. Дацков, докт. техн. наук, профессор, Н.А. Воробьев, канд. техн. наук, доцент, С.А. Дрозд, ассистент (БГАТУ)

### Аннотация

*В работе проведен анализ ресурсоэффективности оборудования для измельчения зерна по критерию энергоемкости. Установлено, что применение двухстадийной машины позволяет заменить две единицы оборудования и тем самым сократить энергозатраты, производственные площади, удельную материалоемкость и капитальные затраты на оборудование.*

*The analysis of a resource-effectiveness of the equipment for grain crushing by criterion of power consumption is carried out in the article. It is established that the usage of a two-phasic car allows replacing two units of equipment and by that reducing energy consumption, floor spaces, a specific material capacity and capital expenditure for the equipment.*

### Введение

Одним из важнейших факторов высокоеффективного производства животноводческой продукции является обеспечение животных полноценными кормами, сбалансированными по питательным веществам в соответствии с зоотехническими требованиями.

Корма в структуре себестоимости производства мяса, молока и других продуктов животноводства составляют около 60 %. Поэтому одним из факторов повышения эффективности производства продукции животноводства является снижение затрат на их приготовление.

Измельчение фуражного зерна является важнейшей технологической операцией процесса приготовления кормов, снижение энергозатрат которой позволит снизить себестоимость продукции в целом. Поэтому одной из актуальных задач, стоящих перед агронженерной наукой, является поиск решений по оптимизации характеристик оборудования для измельчения зерна по энергоемкости.

### Основная часть

На производствах АПК измельчение зерна осуществляется дисковыми мельницами, вальцовыми станками, молотковыми дробилками, жерновыми поставами, разрыхлителями, вальцедековыми станками, дисковыми дробилками и др. Наиболее распространенным оборудованием для измельчения зерна являются молотковые дробилки, вальцовые дробилки, вальцовые плющилки, бичевые измельчители.

Проведенный анализ энерго- и ресурсоемкости оборудования для измельчения зерна позволил выявить существенные различия по отношению мощности к производительности и отношению массы к производительности даже для однотипных машин [1].

Отношение мощности к производительности для молотковых дробилок (рис. 1) находится в диапазоне от 5,2 кВт·ч/т (дробилка ДМ-440У) до 13,6 кВт·ч/т (дробилка марки ММ-70).

Отношение массы измельчителя к производительности для молотковой дробилки (рис. 2) находится в диапазоне от 99 кг·ч/т (дробилки ДМ-440У) до 625 кг·ч/т (дробилка ДКР-2).

Для вальцовых станков отношение мощности к производительности находится в диапазоне от 4,5 кВт·ч/т (станок Р6-Б3-Н) до 7,3 кВт·ч/т (станок марки ВС 1000), а отношение массы измельчителя к производительности меняется от 266 кг·ч/т (станок ВМ2П) до 590 кг·ч/т (ЗМ 2 250×800).

Для вальцовых плющилок отношение мощности к производительности находится в диапазоне от 1,9 кВт·ч/т (для плющилки ПВЗ-350) до 4 кВт·ч/т (для плющилки марки 220SM Murska), а отношение массы измельчителя к производительности меняется от 43 кг·ч/т (плющилки фирмы Van Aanser) до 180 кг·ч/т (плющилка 220SM Murska).

Для бичевых машин отношение мощности к производительности находится в диапазоне от 1,1 кВт·ч/т (для машины МБО) до 3,2 кВт·ч/т (для машины марки ЗВО-1), а отношение массы измельчителя к его производительности меняется от 52 кг·ч/т (для машины МБО) до 286 кг·ч/т (для машины марки ЗВО-1).

Для определения наиболее эффективного измельчающего оборудования рассмотрим диаграммы на рис. 3 и 4.

На первой диаграмме (рис. 3) представлено сравнение минимального и максимального значения отношения мощности к производительности для каждого типа оборудования, из которого можно видеть, что наименьшие показатели у вальцовых плющилок,

так как бичевые машины несмотря на меньшие показатели, имеют иное предназначение.

На второй диаграмме (рис. 4) представлены сравнительные данные отношения массы измельчи-

теля к его производительности, по которым также можно судить о преимуществе вальцовых плющилок. Это обусловлено высокой производительностью и сравнительно небольшой массой этих машин.

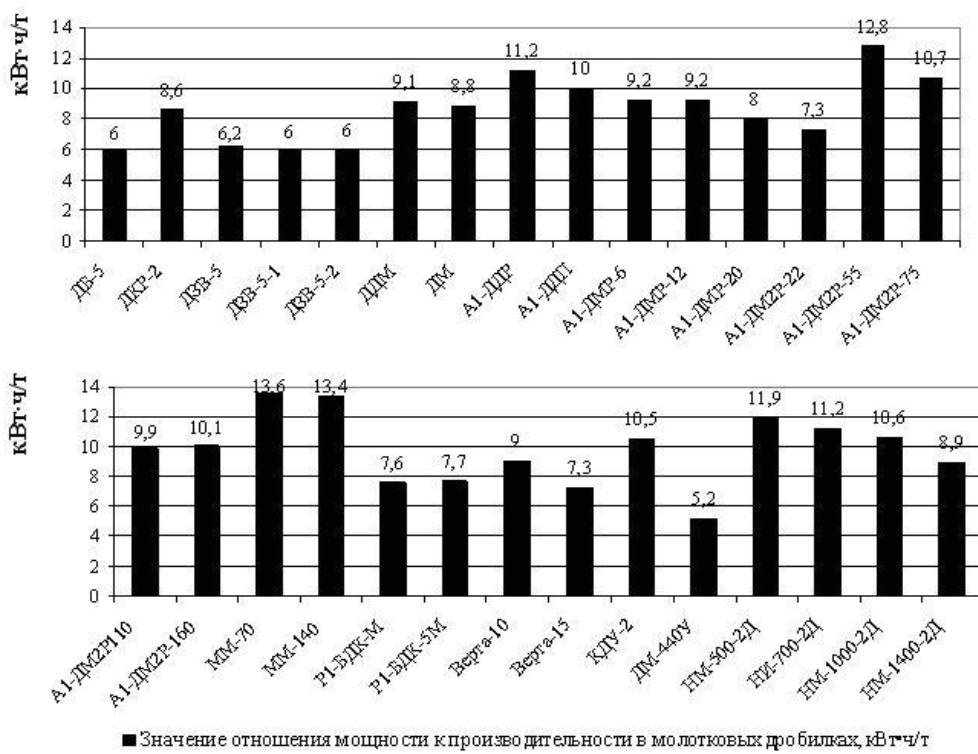


Рисунок 1. Сравнение значений отношения мощности к производительности для молотковых дробилок

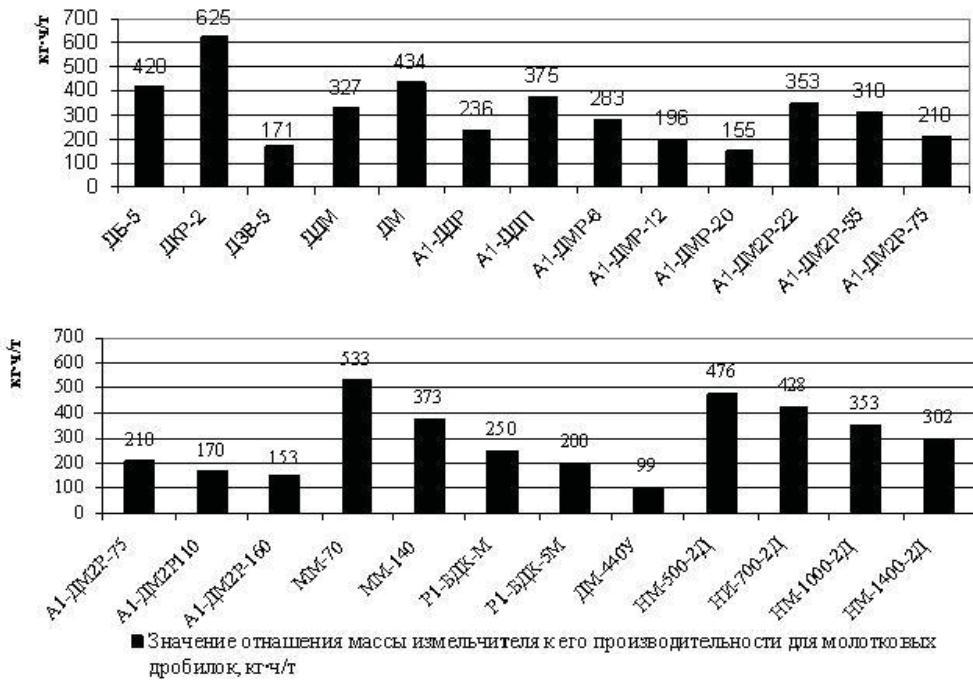


Рисунок 2. Сравнение значений отношения массы измельчителя к производительности для молотковых дробилок



Рисунок 3. Сравнение максимальных и минимальных значений отношения мощности к производительности

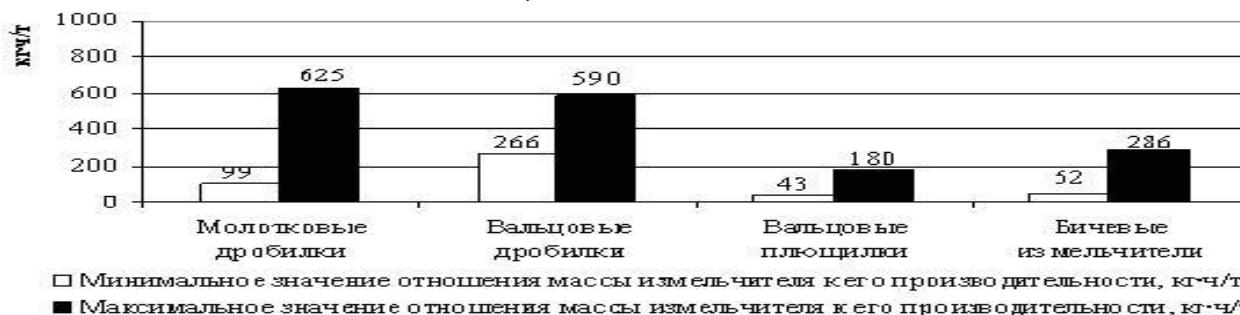


Рисунок 4. Сравнение максимальных и минимальных значений отношения массы измельчителя к производительности

Проанализировав отношения мощности и массы к производительности, можно судить о том, что в настоящее время наиболее энергетически эффективным оборудованием являются вальцовые плющилки. Однако они не всегда способны обеспечить требуемый гранулометрический состав измельченного продукта для приготовления комбикорма. Молотковые дробилки его обеспечивают, но они обладают более высокой энергоемкостью.

Перспективным решением является реализация варианта, обеспечивающего симбиоз двух машин, при котором совмещаются две технологии измельчения зерна, что позволит не только сократить энергоемкость процесса, но при этом обеспечить качество и однородность продукции.

На первой стадии двухстадийного измельчения осуществляется воздействие на зерно плющением, что способствует нарушению целостности зерновки и образованию в ней микротрещин, тем самым снижая его прочность. Цель – полностью разрушить зерно в данном случае не ставится. Это позволяет применять режимы работы, способствующие максимальному увеличению производительности и минимизации энергозатрат.

На второй стадии плющеное зерно измельчается, например молотковой дробилкой, до надлежащего качества, соответствующего зоотехническим требованиям. Энергопотребление измельчения плющеного зерна существенно ниже, чем при измельчении целого зерна, при одинаковом модуле помола.

Предварительное воздействие на зерно при первой стадии измельчения способствует образованию в

продукте некоторого количества фракции, соответствующей зоотехническим требованиям. Отделение данной фракции производится при помощи сепарирующего решета, установленного между первой и второй ступенью измельчения, которое не допускает попадания уже достаточно измельченного зерна с первой стадии на вторую, тем самым исключая его переизмельчение и дополнительные затраты энергии.

Следовательно, производительность двухстадийного измельчения можно определить как сумму производительности второй стадии измельчения  $Q_{2\text{стад}}$  и производительности сепарирующего решета  $Q_{\text{реш}}$ , что свидетельствует о более высокой производительности двухстадийной системы.

Производительность двухстадийного измельчения определяется по выходу требуемой фракции из следующей зависимости:

$$Q = Q_{2\text{стад}} + Q_{\text{реш}}. \quad (1)$$

При этом производительность вальцовой плющилки  $Q_{1\text{стад}}$  может быть принята выше производительности молотковой дробилки на величину отсева измельченной фракции на сепарирующем решете.

В этом случае производительность двухстадийного измельчения будет определяться тождеством:

$$Q = Q_{1\text{стад}} \cdot \alpha, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от параметров сепарирующего решета, и его величину необходимо определить экспериментальным путем.

Энергопотребление двухстадийного измельчения  $\mathcal{E}$  может быть определено путем суммирования энергозатрат первой и второй стадии измельчения, а также энергозатрат на привод решета, при этом следует учесть, что энергозатраты второй стадии будут меньше затрат одностадийного измельчения на  $\Delta\mathcal{E}$  – затрат на переизмельчение материала, отделенного решетом.

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{1\text{стад}} + \mathcal{E}_{2\text{стад}} + \mathcal{E}_{\text{реш}},$$

где  $\mathcal{E}_{1\text{стад}}$  – энергозатраты первой стадии из-

мельчения, кВт·ч/т;

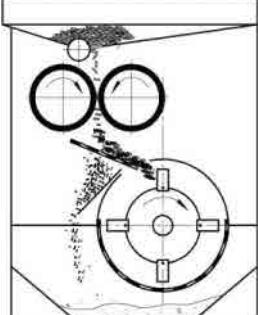
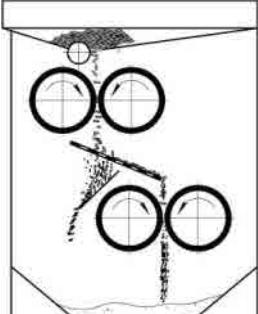
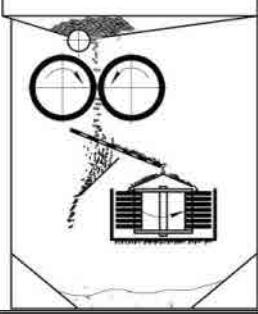
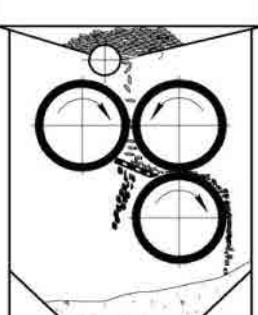
$\mathcal{E}_{2\text{стад}}$  – энергозатраты второй стадии измельчения, кВт·ч/т;

$\mathcal{E}_{\text{реш}}$  – энергозатраты сепарирующего решета, кВт·ч/т.

Схемы двухстадийных измельчителей зерна и варианты их конструкции приведены в табл. 1.

Для двухстадийного плющения зерна в комбикормовом производстве применяются плющилки зерна

**Таблица 1. Варианты конструкции двухстадийных измельчителей зерна**

№	Схема двухстадийных измельчителей	Конструктивные особенности
1		<p>Сочетание пары валцов с горизонтально расположенным молотковым ротором Оказывает воздействие на продукт в виде сжатия, сдвига и удара. Данный тип подходит для тонкого измельчения зерна. Высокая производительность. Возможность привода одним электродвигателем.</p>
2		<p>Сочетание пары валцов с вертикально расположенным молотковым ротором Оказывает воздействие на продукт в виде сжатия, сдвига и удара. Более сложная конструкция, по сравнению с 1 вариантом. Повышенное выделение пыли и высокий уровень шума.</p>
3		<p>Комбинирование двух пар валцовых рабочих органов Оказывает воздействие на продукт в виде сжатия и сдвига. Более низкий расход энергии. В отличие от 1 и 2 варианта, размер частиц может легко регулироваться путем изменения зазора, а не заменой сит. Меньшее выделение пыли и низкий уровень шума.</p>
4		<p>Комбинирование трех валцовых рабочих органов Оказывает воздействие на продукт в виде сжатия и сдвига. Наиболее компактный вариант конструкции. Пониженное выделение пыли и шума.</p>

марки ПЗД-3 и ПЗД-6. Производительность плющилок – 3 и 6 тонн в час соответственно. Рабочими органами являются 3 вальца, образуя две ступени плющения с различными межвальцовыми зазорами. При выходе из первой ступени зерно попадает на перфорированную пластину, на которой происходит сепарирование помола по гранулометрическому составу. Крупные частицы зерна, не прошедшие через сетку, направляются на доизмельчение на второй ступени [2].

Также известны двухстадийные вальцовые дробилки зерна марки Davis, производства США. В них применяется сочетание двух пар вальцовых рабочих органов, которые размещаются друг над другом. Зерно при выходе из первой ступени дробления тут же подвергается доизмельчению на второй ступени [3].

Двух и трехстадийные дробилки зерна также применяются при дроблении солода в пивоваренном производстве. Выпуском подобных дробилок занимаются немецкие компании Buhler и Kunzel. Двухстадийные дробилки этих фирм имеют производительность от 0,3 до 10 тонн в час, конструкция дробилок аналогична ранее рассмотренным дробилкам фирмы Davis [4, 5].

Для проверки гипотезы о снижении ресурсоемкости комбинированной технологии были проанализированы известные исследования процесса двухстадийного измельчения зерна. Анализ показал, что основными являются исследования по воздействию на зерно валь-

цами на первой стадии (плющение) и затем молотками или вальцами (плющение) на второй стадии.

Известны экспериментальные исследования (рис. 5) по изучению зависимости энергоемкости плющилок от межвальцового зазора [6].

Результаты исследований (рис. 5) свидетельствуют, что энергоемкость двухступенчатого плющения значительно ниже при больших зазорах на первой ступени (зона 2 на рис. 5) для всех исследуемых зазоров второй ступени, в сравнении с одноступенчатым плющением (зона 1 на рис. 5). То есть целесообразно на первой ступени устанавливать зазор  $h_1=1,2 \dots 1,8$  мм, а требуемую толщину хлопьев достигать на второй ступени процесса плющения, что позволит снизить энергозатраты второй ступени на величину, соответствующую разнице площадей зон 1 и 2 на рис. 5.

График на рис. 6 показывает изменение удельных энергозатрат на единицу степени плющения. Анализируя эту зависимость, можно видеть, что при увеличении степени плющения для двухступенчатого плющения (т.е. уменьшения межвальцового зазора второй ступени) удельные энергозатраты снижаются [6].

Известны исследования по измельчению цельного и плющеного ячменя различной влажности на молотковых дробилках ДКУ-М, результат которых представлен на рис. 7 и 8 [7].

Удельная энергоемкость двухстадийного способа

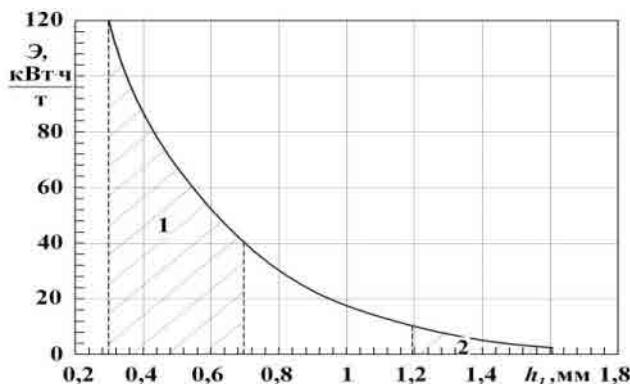


Рисунок 5. Зависимость изменения энергоемкости  $\mathcal{E}$  от входного межвальцового зазора

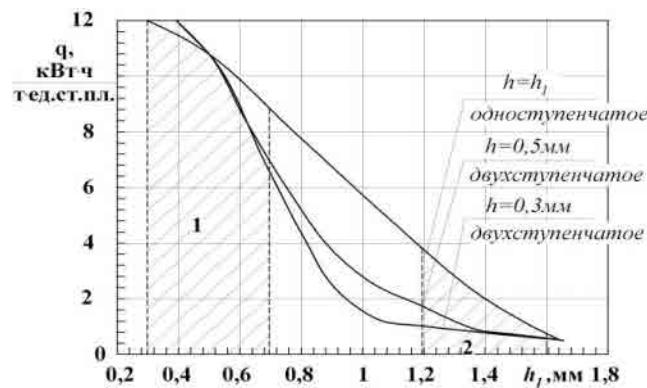


Рисунок 6. Зависимость изменения удельных энергозатрат  $q$  от входного межвальцового зазора

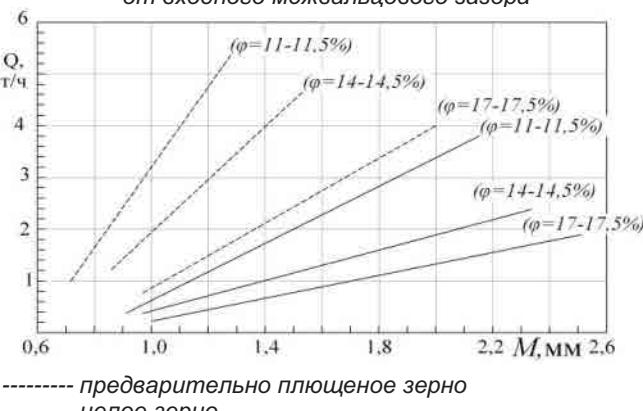


Рисунок 7. Зависимость производительности молотковой дробилки ДКУ-М от модуля размола зерна при различной влажности ( $\varphi$ )

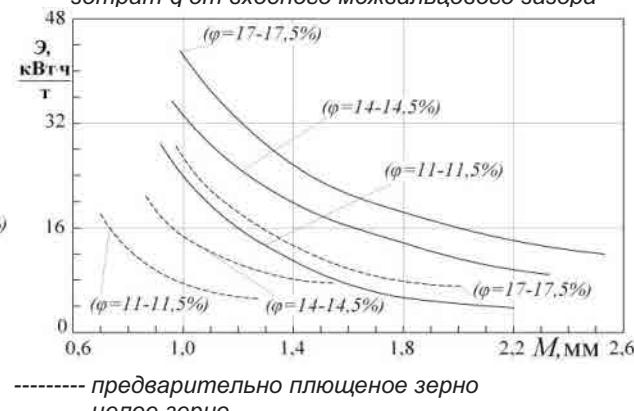


Рисунок 8. Зависимость удельного расхода энергии молотковой дробилки ДКУ-М от модуля размола зерна при различной влажности ( $\varphi$ )

переработки принятая суммарной, с учетом затрат энергии в операции предварительного плющения и окончательного измельчения в камере молотковой дробилки.

Как видно из графиков, приведенных на рис. 7 и 8, производительность дробилки при двухстадийном способе переработки более чем в два раза выше, а суммарный удельный расход энергии примерно в два раза меньше по сравнению с дроблением неплющеного зерна при одинаковом модуле размола получаемого продукта. При этом также отмечается, что при измельчении целого зерна на молотковой дробилке ДКУ-М получаемый продукт не соответствует требованиям ГОСТ 8770-58 по гранулометрическому составу уже при установке решет с диаметром отверстий 4 мм. При установке в дробилку решет с отверстиями 6 и 8 мм получаемый материал дробления состоит из целых и полуразрушенных зерен. В связи с этим в производственных условиях применять решета с отверстиями Ø 6 и Ø 8 мм не представляется возможным и приходится работать с решетами Ø 2,5-3,0 мм, что резко снижает производительность измельчающей установки. Продукт дробления двухстадийным способом отвечает всем необходимым требованиям по гранулометрическому составу даже при установке решет с диаметром отверстий 10 мм [7].

### Заключение

- На основании анализа характеристик оборудования для измельчения зернофуража разных типов, а также обзора исследований процесса двухстадийного измельчения зерна, можно сформулировать основные преимущества двухстадийных измельчителей зерна:
  - повышение производительности по сравнению с одностадийным измельчением и, как следствие, повышение ресурса рабочих поверхностей;
  - снижение удельного энергопотребления при производстве продукции;
  - повышение равномерности гранулометрического состава измельченного продукта.

2. Для установления теоретических зависимостей и обоснования параметров оборудования для двухстадийного измельчения зерна необходимо выполнить комплекс экспериментальных работ по определению эмпирических коэффициентов и оптимизации режимов процесса.

### ЛИТЕРАТУРА

- Дашков, В.Н. Анализ энерго- и ресурсоемкости оборудования для измельчения зерна / В.Н. Дашков, Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Инновация технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции. – Минск: БГАТУ, 2011. – №2. – С. 73-77.
- Плющилка зерна двухступенчатая ПЗД-3. Протокол испытания. – Киров.: Зональный науч.-исслед. ин-т Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого», 2006. – 7 с.
- Сайт компании «Davis» [Электронный ресурс] // Каталог двухстадийных измельчителей зерна. – Режим доступа: [www.hcdavis.com](http://www.hcdavis.com). – Дата доступа: 28.03.2013.
- Сайт компании «Buhler» [Электронный ресурс] // Каталог оборудования для измельчения зерна. – Режим доступа: [www.buhlergroup.com](http://www.buhlergroup.com). – Дата доступа: 28.07.2013.
- Сайт компании «Kuenzel» [Электронный ресурс]: измельчители зерна. – Режим доступа: [www.kuenzel.cc](http://www.kuenzel.cc). – Дата доступа: 28.07.2013.
- Одегов, В.А. Обоснование параметров и режимов работы плющилки влажного зерна: дисс. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / В.А. Одегов / Зон. Науч.-исслед. ин-т с.-х. Сев-Восточ. им Н.В. Рудского. – Киров, 2005.
- Дорофеев, Н.С. Исследование процесса двухстадийного измельчения зерна: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Н.С. Дорофеев; Воронежский с.-х. ин-т. – Воронеж, 1967.

## Микропроцессорная система кормления свиней



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

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

### Основные технические данные

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

## **ЕСТЕСТВЕННОЕ ЗАРАСТАНИЕ ПОЧВОПОРОД ПОСЛЕ ДОБЫЧИ НЕРУДНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ИЗМЕНЕНИЕ ИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

**А. В. Горный, канд. с.-х. наук, доцент (БГАТУ); М. М. Жишкевич, канд. с.-х. наук, доцент (БГТУ)**

### **Аннотация**

*В последнее время освоение земель, нарушенных добычей полезных ископаемых, приобрело большую актуальность ввиду значительного отчуждения из оборота сельскохозяйственных угодий. В связи с этим возникает необходимость изучения возможности дальнейшего использования нарушенных земель в лесном и сельском хозяйствах. Основным источником плодородия почв является содержание в почве или почвопороде органического вещества и элементов питания, что во многом определяется жизнедеятельностью микроорганизмов. В статье представлены материалы исследований по изменению биологических свойств почвопород после добычи нерудных полезных ископаемых.*

*Recently the land development, broken by mining of minerals, has gained big relevance in view of considerable alienation from a turn of agricultural grounds. In this regard there is a need for studying the possibility of further usage of the broken lands for forest and rural farms. The main source of soil productivity is contents of organic substances and feeding elements in it, determining microorganism's life-support. That is why the article contains research of changing biological properties of soil types after mining non-metallic mineral resources.*

### **Введение**

Республика Беларусь расположена в зоне лесов. Леса занимают более 43,9 % территории республики. Остальная территория распахана или занята луговой и болотной растительностью. Наибольшей лесистостью отличаются Минская и Гомельская области (соответственно 36 и 34 %). В западных областях республики леса сохранились крупными массивами и пушками, хотя в целом лесистость здесь ниже, чем на востоке [1].

Согласно целевой программе по оптимизации землепользования, в республике только за последнюю пятилетку из пахотных угодий было передано под залесение более 150 тыс. га малопродуктивных угодий.

По данным государственного учета земель, площадь нарушенных земель в Российской Федерации после добычи минерального грунта и нерудных материалов в 2000 году составляла около 180 тыс. га [2]. По данным В.Ф. Логинова [3], по состоянию на начало 2010 года площадь земель, нарушенных в связи с добычей полезных ископаемых и ведением строительных работ, в Республике Беларусь составляла 5,5 тыс. га. По данным Министерства статистики и анализа Республики Беларусь, за период с 1945 по 2009 год из земель лесного фонда передано под карьеры 10033 га, из них выработано 7457 га, возвращено – 7481 га, облесено – 6407 га.

В условиях республики сельскохозяйственная рекультивация земель, освободившаяся при добыче нерудных ископаемых, является также важным направлением в системе мер по восстановлению их плодоро-

дия. Для такого сельскохозяйственного направления как рекультивация наиболее благоприятными являются карьеры, образовавшиеся после добычи глинистого сырья. Сюда следует отнести состав и свойства вскрытых пород, лучшие условия водообеспеченности, более высокий бонитет почвенного покрова и мощность его перегнойно-аккумулятивного горизонта, позволяющие использовать почвы для нанесения их на рекультивируемые площади. Карьеры после добычи песков, песчано-гравийных материалов и карбонатного сырья также могут быть объектами сельскохозяйственной рекультивации. Сюда следует отнести в первую очередь месторождения, вскрытые породы которых по гранулометрическому составу представлены лессовидными суглинками и лессами. Следует отметить, что по результатам почвенных исследований, дерново-подзолистые почвы в республике являются господствующими (47 % от обследованной площади), характеризуются крайне низким естественным плодородием и малой пригодностью для освоения под пашню, поэтому почвы такого типа следует использовать при рекультивации преимущественно для лесохозяйственных и водохозяйственных целей [4, 5]. Анализ естественной растительности позволяет успешнее и правильнее осуществлять рекультивацию нарушенных земель. Вследствие уничтожения растительного и почвенного покровов и трансформации других компонентов, восстановление прежнего уровня взаимосвязи растительности и ландшафта становится невозможным. Однако зональные связи остаются в силе, поэтому ин-

дикационная роль растений является важным фактором при выборе растений, предназначенных для первичного освоения нарушенных земель.

Изменение же биологических свойств почвопород в процессе рекультивации является одним из главных факторов для определения использования таких земель.

Целью исследований являлась оценка естественного видового состава растительного покрова, формирующегося на различных породах пятилетних отвалов карьеров и изменение биологических свойств почвопород полевых опытов за трехлетний период.

Объектами исследований по естественному зарастанию являлись 5-летние отвалы карьеров после добычи песчано-гравийных материалов (месторождение «Заславль» Минского района), глин (месторождение «Ольшанка» Минского района) и мела (месторождение «Дягильно» Дзержинского района). Объектами 3-летних исследований по изменению биологических свойств почвопород были рекультивированные карьеры после добычи песка, глин и мела (Минский и Дзержинский районы Минской области).

В первом случае исследования проводились в 1990 году, во втором – в течение 1988-1990 годов.

Учет естественного зарастания пород проводился путем наложения метровок (1\*1 м) в 5-кратном повторении. Микробиологическая деятельность определялась по методикам Л.Л. Красильникова [6], И. П. Бабьевой и А. С. Агре [7].

### Основная часть

В пределах территорий, нарушенных добывающей промышленностью, почвы и растительный покров подвергаются, как правило, полному уничтожению. Восстановление этих компонентов ландшафта, как естественным путем, так и проведением определенных целенаправленных мероприятий, хотя и происходит на иной качественной основе, тем не менее, имеет четкую зависимость от зональных факторов и связано с почвенным покровом, его составом и свойствами, условиями увлажнения и др. Учет этих особенностей является необходимым звеном в системе рекультивации земель.

Описание растений на 5-летних отвалах карьеров после добычи песчано-гравийных материалов (месторождение «Заславль» Минского района), глин (месторождение «Ольшанка» Минского района) и мела (месторождение «Дягильно» Дзержинского района) проводились в период активной вегетации большинства групп растений: в конце июня – начале июля. Результаты описания, приведенные в табл.1, показывают, что на 5-летних отвалах песчано-гравийных карьеров выявлено 16 видов растений, относящихся к восьми се-

мействам. Наиболее распространеными оказались представители трех семейств: сложноцветные, злаковые и мотыльковые, которые составили около 3/4 всех зафиксированных видов растений. Из семейств гречишных, зонтичных, гвоздичных, подорожниковых и крестоцветных отмечено только по одному виду растений. Отсутствовали растения семейств амарантовых, выонковых, маревые, хвощовые и норичниковых. Для песчано-гравийных отвалов характерны ассоциации с доминированием ромашки непахучей и мятылика лугового. В травостое встречались наиболее перспективные растения, представляющие хозяйственный интерес при залужении почвопород при освоении: клевер луговой, лядвенец рогатый и другие менее ценные растения.

При естественном зарастании отвалов глинистых карьеров выявлено 24 вида растений, относящихся к десяти семействам, наиболее распространеными из которых оказались сложноцветные, мотыльковые и злаковые (66,6 % от всех видов растений). Из семейств амарантовых, гречишных, выонковых, маревых, хвощовых, зонтичных и норичниковых отмечено только по одному виду растений.

В травостое отвалов господствовали мать-и-мачеха, ромашка непахучая, а также более ценные в хозяйственном отношении растения: клевер луговой, клевер ползучий, люцерна серповидная, лядвенец рогатый, чина луговая, мятылик обыкновенный и другие менее ценные в хозяйственном отношении растения.

На отвалах разработок карбонатного сырья отмечено 18 видов растений, относящихся к десяти семействам, основными из которых являлись семейства сложноцветных и мотыльковых. На их долю прихо-

**Таблица 1. Формирование растительности на 5-летних отвалах карьеров после добычи нерудных полезных ископаемых**

Семейства	Типы карьеров					
	Песчано-гравийные		Глинистые		Меловые	
	1	2	3	4	5	6
Коли-чество видов	% от общего колич.	Коли-чество видов	% от общего колич.	Коли-чество видов	% от общего колич.	
Сложноцветные	5	31,4	7	29,1	6	33,1
Мотыльковые	2	12,6	5	20,9	3	16,6
Злаковые	4	250	4	16,6	2	11,1
Амарантовые	-	-	1	4,2	1	5,6
Гречишные	1	6,2	1	4,2	1	5,6
Выонковые	-	-	1	4,2	1	5,6
Маревые	-	-	1	4,2	1	5,6
Хвощевые	-	-	1	4,2	1	5,6
Зонтичные	1	6,2	1	4,2	-	-
Гвоздичные	1	6,2	-	-	-	-
Норичниковые	-	-	1	8,2	-	-
Подорожниковые	1	6,2	-	-	1	5,6
Крестоцветные	1	6,2	-	-	1	5,6
Всего	16	100	24	100	18	100

дилось около 50 % всех видов растений. Растений семейств аморантовые, гречишные, выонковые, маревые, хвоцовые, подорожниковые и крестоцветные отмечено по одному виду. Отсутствовали растения семейств зонтичные, гвоздичные и норичниковые.

Господствовали в травостое мать-и-мачеха, тысячелистник обыкновенный, полынь горькая, а также более ценные в целях залужения таких отвалов растения: клевер ползучий, люцерна посевная, донник лекарственный и мятыник луговой. По данным академика И. И. Лиштвана, на выработанных площадях торфяников, в отличие от минеральных почв, доминировали растения, произраставшие на торфяных почвах до их выработки [8].

Нарушение естественного сложения пород при отсыпке их в отвалы и дальнейшей планировке, смешивание их сопровождается изменением биологических свойств, являющихся одним из главнейших факторов плодородия.

Исследования по изменению биологических свойств почвопород за 3 года проводились, как уже отмечалось выше, на рекультивированных карьерах после добычи песчано-гравийных материалов (месторождение «Заславль» Минского района), глин (месторождение «Ольшанка» Минского района) и мела (месторождение «Дягильно» Дзержинского района).

В первом случае на намытые некондиционные пески наносился метровый слой почвопороды (супесь) и гумусовый слой почвы мощностью до 40 см (опыт 1) и высевались в течение 3-х лет однолетние культуры – люпин на силос, озимая рожь на зеленый корм и ячмень на зерно. В опыте 2 гумусовый слой почвы не наносился, и в течение 3-х лет произрастал люпин многолетний как сидерат.

В полевых опытах 3 и 4 карьерная выемка заполнена отвальной смесью сопутствующих ископаемому пород (некондиционные глины) и метровым слоем лессовидного суглинка, а в полевом опыте 3 и сорокасантиметровым слоем заранее снятой почвы. В опыте 3 возделывался люпин многолетний, в опыте 4 – многолетние бобово-злаковые травы.

Экранирующим слоем при техническом формировании полевых опытов 5 и 6 являлась смесь мела с сопутствующими при его разработке породами различного механического состава. Возделывались многолетние бобово-злаковые травы.

В полевых опытах 1 и 3 вносились по 30 т/га торфонавозного компоста и N 90, в опытах 2, 4, и 5 по 60 т/га торfonавозного компоста и N 120, в опыте 6 – только минеральные удобрения в количестве N120P120K120 кг/га д.в.

Результаты исследований, представленные в табл. 2, показали, что наибольшая биологическая активность отмечалась в нанесенной на супесчаную и суглинистую почвопороды гумусового горизонта почв. Так, среднее количество колоний микроорганизмов под однолетними культурами и люпином мно-

голетним составляло, соответственно, в начале исследований – 10,6 млн и 9,2 млн, через 3 года – 15,8 млн и 13,5 млн в 1 г почвы.

Значительно меньше их насчитывалось в суглинистой почвопороде под многолетними травами – 645 тыс. в начале исследований и 1,9 млн через 3 года. В смеси мела с лессовидным и моренным суглинками увеличение количества микроорганизмов в конце исследований было выше примерно в 3-4 раза.

Наиболее быстрый распад льняной ткани за 60 суток исследований составил: в опытах 1 (супесь с нанесением на нее гумусового слоя почвы) и 3, 4 (лессовидный суглинок с нанесением на него и без нанесения гумусового слоя почвы, наименьший – в опыте 2 на супесчаной почвопороде. В среднем же во всех опытах распад льняной ткани составил 3-4 %.

Нитрификационная способность почвопород полевых опытов имела широкие вариации. Так, в почвопородах с нанесением гумусового горизонта почв содержание нитратов составляло на начало исследований 2,00 и 2,60 мг/кг почвы (опыты 1 и 3), в то время как в других почвопородах содержание нитратов не превышало 0,30 мг/кг почвы.

Наибольшее увеличение содержания нитратов за период исследований отмечено в опытах 1 и 3 в почвопородах с нанесением гумусового горизонта почв под однолетними культурами и люпином многолетним на 0,8- 0,9 мг/кг почвы.

### Заключение

Проведенные наблюдения свидетельствуют о том, что формирование естественной растительности нарушенных территорий в целом шло достаточно

**Таблица 2. Изменение биологических свойств почвопород опытов в слое 0-20 см**

№ полевого опыта	Начало проведения исследований	Через 3 года после начала проведения исследований
<b>Содержание микроорганизмов, тыс. штук</b>		
1	10600,0	15800,0
2	387,0	1300,0
3	9200,0	13500,0
4	645,0	1900,0
5	260,0	1100,0
6	246,0	987,0
<b>Разложение льняной ткани, % за 60 суток</b>		
1	65,1	69,4
2	19,7	22,9
3	63,6	67,8
4	55,5	59,8
5	26,4	30,5
6	26,2	30,1
<b>Содержание нитратов, мг/кг</b>		
1	2,00	2,82
2	0,28	0,34
3	2,60	3,50
4	0,30	0,42
5	0,24	0,29
6	0,21	0,26

успешно, при этом скорость его на глинистых и меловых выработках несколько выше, чем на песчано-гравийных. В составе травостоя на этих отвалах значительную часть занимали ценные кормовые травы семейства мотыльковых и злаковых. Флористический состав всех пробных площадок оказался сравнительно однородным. Культурные травосмеси, высеваемые при освоении таких почвопород, должны в большей мере соответствовать этим семействам.

Наибольшая биологическая активность отмечена в нанесенных на супесчаную и суглинистую почвопороды гумусового горизонта почв под однолетними культурами и люпином многолетним (опыты 1 и 3).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дементьев, В.А. Природа Беларуси / В.А. Дементьев, А.Х. Шкляр, О.Ф. Якушко. – Минск, 1989. – 138 с.
2. Сметанин, В.И. Рекультивация и обустройство нарушенных земель: учебн. – М.: Колос, 2000. – 394 с.

3. Логинов, В.Ф. Состояние природной среды Беларуси / В.Ф. Логинов // Экологический бюллетень, 2009. – №2.

4. Лотош, В.Е. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов / В.Е. Лотош // Антропогенные факторы деградации почв и рекультивация нарушенных земель. – Минск, 2004. – №2. – С. 2-16.

5. Хомич, С.А. Оптимизация объектов водохозяйственной рекультивации / С.А. Хомич // Природные ресурсы: межвед. бюллетень. – Минск, 2000. – №2. – С. 89-94.

6. Красильников, Н.А. Методы изучения почвенных микроорганизмов и их метаболитов / Н.А. Красильников. – М.: МГУ, 1986. – 93 с.

7. Бабьева, И.П. Практическое руководство по биологии почв / И.П. Бабьева, Н.С. Агре. – М.: МГУ, 1971. – 126 с.

8. Лиштван, И.И. Вересковые при фиторекультивации выработанных торфяных месторождений / И.И. Лиштван // Наука и инновации. – Мн., 2010. – №41. – С. 35.

УДК 664.723

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 23.03.2012

## К ВОПРОСУ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА В КОНВЕКТИВНЫХ ЗЕРНОСУШИЛКАХ С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА

**А.Г. Цубанов, канд. техн. наук, доцент, А.Л. Синяков, канд. техн. наук, доцент, И.А. Цубанов, ст. преподаватель (БГАТУ)**

### Аннотация

*Разработана методика расчета экономии топлива в конвективных зерносушилках с рециркуляцией сушильного агента – смеси топочных газов с наружным воздухом. Получены формулы, позволяющие рассчитать параметры топочных газов, газовоздушной смеси и сушильного агента, а также расходы наружного воздуха и сушильного агента, при которых достигается максимальная экономия топлива.*

*The methodology of calculation of economy of fuel in convective grain dryers with recirculation of the drying agent – mixes of furnace gases with external air is developed. The formulas, allowing calculating parameters of furnace gases, an air-gas mix and the drying agent, and also expenses of external air and the drying agent at which the maximum economy of fuel can be reached are received.*

### Введение

В сельском хозяйстве Республики Беларусь работают около 3,5 тысяч зерноочистительно-сушильных комплексов (ЗСК) и около 1,5 тысяч отдельно установленных зерносушилок (ЗС). Большая часть зерносушилок, предусмотренных в составе ЗСК или отдельно установленных, эксплуатируется более 15 лет, является морально и физически устаревшей.

В связи с этим требуется обновление и реконструкция зерносушильного оборудования с целью обеспечения своевременной послеуборочной обработки зерна и семян.

Говоря о задаче обновления зерносушильного оборудования, необходимо учесть следующее:

– по оценке специалистов, дефицит зерноочистительно-сушильных мощностей в нашей стране составляет около 30 %;

– программой деятельности Правительства Республики Беларусь на 2011-2015 годы предусмотрено строительство 796 новых ЗСК, а также модернизация и ремонт 741 действующих ЗС.

В ближайшее время только меньшая часть существующих устаревших ЗС может быть заменена новыми, а большая их часть будет находиться в эксплуатации. Если на новом зерносушильном оборудова-

ни организуется сушка нагретым воздухом, то на ранее установленном – в основном смесь топочных газов с воздухом.

Особое значение приобретает реконструкция много лет эксплуатируемых конвективных (шахтных и барабанных) зерносушилок, в которых при сушке используется смесь топочных газов с воздухом. Одной из задач их реконструкции является снижение расходов топлива на сушку.

С этой целью рекомендуется использовать в конвективных ЗС рециркуляцию сушильного агента (СА) [1-4].

При сушке нагретым воздухом достаточно подробно разработаны методы графоаналитического и аналитического расчета процесса рециркуляции СА и достигаемой при этом экономии теплоты и топлива [1, 3, 5].

В случае сушки продукции смесью топочных газов и воздуха возможны две схемы рециркуляции сушильного агента:

- согласно первой схеме рециркулирующая часть СА смешивается с воздухом, после этого образовавшаяся смесь используется в процессах горения топлива и разбавления топочных газов;

- по второй схеме топочные газы на выходе топочного устройства разбавляются наружным воздухом, а затем к газовоздушной смеси добавляется рециркулирующая часть СА.

Для сушки смесью топочных газов и воздуха предложен графоаналитический метод расчета процесса рециркуляции СА и достигаемого эффекта энергосбережения, основанный на построении исследуемых процессов в диаграмме влажного воздуха [2, 3]. Аналитический метод расчета относительной экономии теплоты и топлива был изложен в работе [4], в которой не рассматривались отдельные процессы приготовления СА необходимых параметров.

Графоаналитический метод требует наличия диаграммы влажного воздуха при высоких температурах (до 1500° С) и в ряде случаев приводит к определению искомых величин со значительной погрешностью.

Более приемлемой и распространенной является вторая схема приготовления СА, при которой исключается загрязнение топочного устройства рециркулирующей частью СА и повышается его надежность в эксплуатации.

Целью настоящей работы является:

- разработка аналитического метода расчета экономии топлива в КЗС с рециркуляцией СА – смеси топочных газов с наружным воздухом;

- вывод формул, позволяющих рассчитать параметры топочных газов, газовоздушной смеси и сушильного агента, а также расходы наружного воздуха и сушильного агента, при которых достигается максимальная экономия топлива.

## Основная часть

Рассматриваемая функциональная схема сушилки (рис. 1) включает топочное устройство (ТУ), камеру смешения, условно разбитую на две части (КС1 и

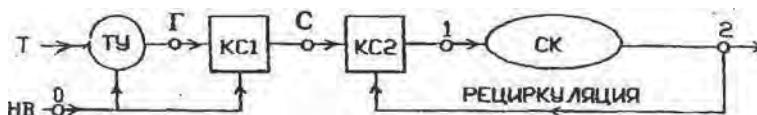


Рисунок 1. Функциональная схема конвективной сушилки

КС2), и сушильную камеру (СК).

Топливо (Т) и наружный воздух (НВ) подаются в ТУ. Образующиеся топочные газы (Г) направляются в КС1, где разбавляются наружным воздухом до необходимой температуры. Образовавшаяся газовоздушная смесь (ГВС) поступает в КС2, где смешивается с рециркулирующей частью СА. Приготовленный СА требуемых параметров подается в сушильную камеру (барабан, шахту и пр.). Отработавший СА частично сбрасывается в атмосферу, а другая его часть повторно используется за счет рециркуляции.

Точкими обозначены характерные состояния используемых рабочих сред: 0 – наружный воздух; 1 – подготовленный СА; 2 – отработавший СА; Г – топочные газы; С – газовоздушная смесь.

Исходными данными к расчету рециркуляции являются:

- расчетные характеристики топлива, в том числе: низшая теплота сгорания топлива  $Q_H^P$ , кДж/кг (для газообразного топлива  $Q_H^C$ , кДж/м<sup>3</sup>); масса водяных паров  $m_w$ , образующихся при сгорании единицы количества топлива; зольность топлива  $A^P$ , % и плотность газообразного топлива  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>;

- температура СА на входе сушильной камеры  $t_1, ^\circ\text{C}$ ;

- параметры отработавшего СА: температура  $t_2, ^\circ\text{C}$ , влагосодержание  $d_2, \text{г}/\text{кг}$  и энталпия  $h_2, \text{кДж}/\text{кг}$ ;

- разность добавлений и расходов теплоты в сушильной камере  $\Delta, \text{кДж}/\text{кг}$ ;

- параметры наружного воздуха: температура  $t_0, ^\circ\text{C}$ , влагосодержание  $d_0, \text{г}/\text{кг}$  и энталпия  $h_0, \text{кДж}/\text{кг}$ .

К искомым значениям относятся параметры и расходы рабочих сред в процессах использования и приготовления СА; коэффициенты рециркуляции СА и разбавления топочных газов воздухом; ожидаемая относительная экономия топлива.

Графики исследуемых процессов при рециркуляции отработавшего СА представлены на рис. 2.

Процессы 0-С и Г-С характеризуют разбавление топочных газов наружным воздухом и образование газовоздушной смеси, процессы С-1 и 2-1 – приготовление СА необходимых параметров путем смешения газовоздушной смеси с рециркулирующей частью СА. Линия 1-2 соответствует изменению состояния СА в сушильной камере.

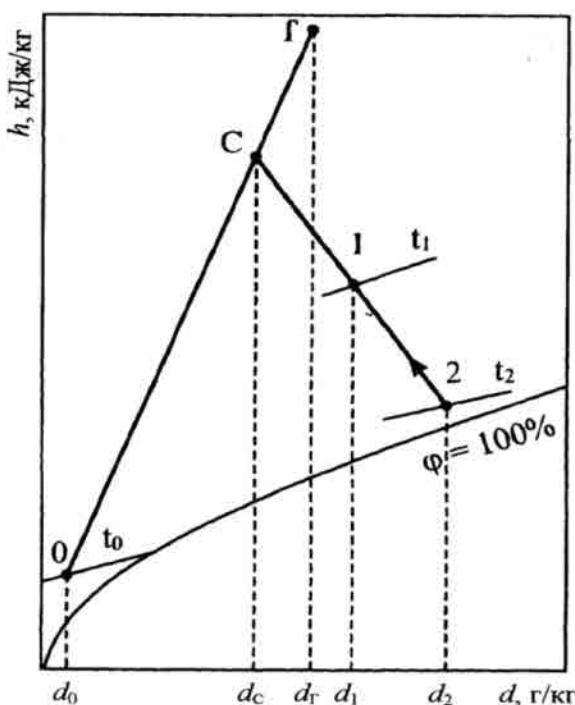


Рисунок 2. Процессы изменения состояния топочных газов и сушильного агента в КЗС с рециркуляцией сушильного агента

Наклон линии 0–С–Г определяется степенью увлажнения топочных газов за счет водяных паров, образующихся при горении топлива, а наклон линии С–1–2 – значением величины  $\Delta$ . Для каждого конкретного случая существует только одно решение поставленной задачи.

Предлагаемая методика расчета процессов приготовления и использования СА, а также ожидаемого эффекта энергосбережения включает следующие этапы:

1. Расчет коэффициента избытка воздуха, подаваемого непосредственно в ТУ, и параметров топочных газов.

2. Расчет коэффициента разбавления наружным воздухом топочных газов и параметров образующейся газовоздушной смеси.

3. Расчет параметров приготовленного СА и коэффициента рециркуляции.

4. Расчет расходов наружного воздуха, сушильного агента и его рециркулирующей части.

5. Расчет ожидаемой экономии топлива.

При нахождении коэффициента избытка воздуха было учтено, что топочные газы, образующиеся в процессе сгорания топлива, мало разбавлены наружным воздухом и по своим свойствам отличаются от влажного воздуха.

Коэффициент избытка воздуха был определен исходя из теплового баланса ТУ, составленного по отношению к 1 кг жидкого или твердого топлива, или 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива:

$$\alpha = \frac{Q_H^P \eta + H_B^0 - H_G^0}{H_B^0 - H_{B,0}^0}, \quad (1)$$

где  $\eta$  – КПД топочного устройства;  $H_B^0$  и  $H_G^0$  – энталпия теоретических объемов воздуха и продуктов сгорания при принятой (заданной) температуре топочных газов;  $H_{B,0}^0$  – энталпия теоретического объема воздуха при температуре наружного воздуха.

Из теплового баланса ТУ была исключена из рассмотрения физическая теплота топлива ввиду ее малости по сравнению с другими составляющими.

Температуру топочных газов  $t_g$  рекомендуется принимать в пределах от 1100 до 1300° С для обеспечения устойчивого и полного сгорания топлива и выполнения требований к термостойкости конструкции ТУ.

Энталпии теоретических объемов воздуха и продуктов сгорания находят, используя справочные значения энталпий [6].

Энталпия топочных газов, кДж/кг из расчета на 1 кг сухих топочных газов с учетом теплоты конденсации водяных паров, содержащихся в топочных газах:

$$h_g = \frac{Q_H^P \eta + rm_w + \alpha L^0 h_0}{m_{c,g}}, \quad (2)$$

где  $r$  – теплота парообразования (ее принимают равной 2500 кДж/кг);

$L_0$  и  $m_{c,g}$  – массы теоретического объема воздуха и сухих топочных газов из расчета на 1 кг или 1 м<sup>3</sup> топлива.

При этом

$$L_0 = 1,293 V_B^0,$$

где  $V_B^0$  – теоретический объем воздуха, необходимый для полного сгорания 1 кг жидкого или твердого топлива, или 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1$ , соответственно, кг/кг или кг/м<sup>3</sup>.

В случае применения газообразного топлива в уравнения (1) и (2) вместо теплоты сгорания  $Q_H^P$  подставляется теплота сгорания  $Q_H^C$ .

Массы водяных паров, теоретического объема воздуха и сухих топочных газов в уравнении (2) приведены для 1 кг жидкого или твердого топлива в кг/кг, а для 1 м<sup>3</sup> газообразного – в кг/м<sup>3</sup>.

Масса сухих топочных газов:

– при сжигании жидкого и твердого топлива:

$$m_{c,g} = \alpha L^0 + 1 - 0,01 A^P - m_w; \quad (3)$$

– при сжигании газообразного топлива:

$$m_{c,g} = \alpha L^0 + \rho - m_w. \quad (3a)$$

Влагосодержание топочных газов:

$$d_g = \frac{1000 m_w + \alpha L^0 d_0}{m_{c,g}}. \quad (4)$$

На втором этапе расчета была использована система уравнений, включающая уравнения смешения топочных газов и воздуха, а также зависимость, характеризующая изменение энталпии СА в процессах, расположенных на линии С–1–2 (рис. 2):

$$h_c = h_2 - \frac{\Delta}{1000} (d_2 - d_c). \quad (5)$$

В качестве характеристики процесса смешения топочных газов с воздухом был принят коэффициент разбавления как отношение массы наружного воздуха (его сухой части) к массе сухих топочных газов на выходе ТУ.

В результате решения системы уравнений был определен коэффициент разбавления:

$$n = \frac{h_r - h_2 - 10^{-3} \Delta \times (d_r - d_2)}{h_2 - h_0 - 10^{-3} \Delta \times (d_2 - d_0)}. \quad (6)$$

Параметры газовоздушной смеси:

– влагосодержание

$$d_c = \frac{d_r + n d_0}{1 + n}; \quad (7)$$

– энталпия по формуле (5);

– температура исходя из зависимости, определяющей энталпию влажного воздуха [7]:

$$t_c = \frac{h_c - 2,5 d_c}{1,01 + 1,88 \times 10^{-3} d_c}. \quad (8)$$

На третьем этапе расчета определяют параметры СА на входе в сушильную камеру или зону сушки:

– влагосодержание по уравнению, предложенному в работе [4]:

$$d_1 = \frac{d_2 - \pi_1}{1 + 1,86 \times 10^{-3} \times \pi_1}, \quad (9)$$

где  $\pi_1$  – обобщенный параметр, г/кг:

$$\pi_1 = \frac{1010(t_1 - t_2)}{2500 + 1,88t_2 - \Delta};$$

– энталпию по формуле (5), заменив в ней параметры  $h_c$  и  $d_c$  на параметры  $h_1$  и  $d_1$ .

Затем находят коэффициент рециркуляции как отношение массы рециркулирующей части СА ко всей его массе, используемой при сушке продукции:

$$k_p = \frac{d_1 - d_c}{d_2 - d_c}. \quad (10)$$

Выполненные расчеты позволяют определить расходы наружного воздуха и СА по отношению к 1 кг жидкого или твердого, или к 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива (соответственно в кг/кг или кг/м<sup>3</sup>).

Расход наружного воздуха, используемого:

– при горении топлива в ТУ

$$L_{TV} = \alpha L_0; \quad (11)$$

– при разбавлении топочных газов

$$L_C = nm_{cr}; \quad (12)$$

– при приготовлении СА

$$L_B = L_{TV} + L_C. \quad (13)$$

Масса сухой газовоздушной смеси, полученной при разбавлении воздухом топочных газов, была принята равной массе воздуха, использованного при горении топлива и разбавлении топочных газов.

В таком случае:

– расход рециркулирующей части СА:

$$L_p = k_p \frac{L_B}{1 - k_p}; \quad (14)$$

– расход СА в процессе сушки:

$$L = L_B + L_p. \quad (15)$$

При расчете относительной экономии топлива допустимо воспользоваться удельными расходами теплоты на испарение 1 кг влаги из продукции в сравниваемых вариантах. Такой прием согласуется и с ТКП 149-2008, согласно которому сравнение теплотехнических качеств сушилок проводится по затратам теплоты на испарение 1 кг влаги. При этом фактический расход теплоты приводят к стандартным условиям: температура наружного воздуха и материала равна 5° С, а атмосферное давление – 99,3 кПа (745 мм рт.ст.).

Удельный расход теплоты, кДж/кг на испарение 1 кг влаги:

– в сушилках с рециркуляцией СА

$$q = (h_c - h_0) \frac{1000}{d_2 - d_c}; \quad (16)$$

– в сушилках без рециркуляции СА

$$q_0 = (h_{1,0} - h_0) \frac{1000}{d_{2,0} - d_{1,0}}, \quad (17)$$

где  $h_{1,0}$  – энталпия СА на входе сушильной камеры, кДж/кг;  $d_{2,0}$  и  $d_{1,0}$  – влагосодержание СА на выходе и входе сушильной камеры, г/кг.

В сушилках без рециркуляции СА вышеприведенные параметры СА, входящие в уравнение (17), являются искомыми величинами. Для их расчета необходимо определить расход воздуха  $L_T$  для горения топлива и разбавления топочных газов по отношению к 1 кг или 1 м<sup>3</sup> топлива.

При нахождении величин  $L_T$ ,  $d_{1,0}$  и  $h_{1,0}$  следует использовать зависимости, приведенные в работе [7], а величины  $d_{2,0}$  – в работе [4].

Ожидаемая экономия топлива:

$$b = \frac{q_0 - q}{q_0} \cdot 100\%. \quad (18)$$

Рассмотрим расчет рециркуляции СА и ожидаемой экономии топлива в конвективных шахтных ЗС при сушке продовольственного и семенного зерна смесью топочных газов с воздухом.

В качестве топлива был принят природный газ из газопровода «Ямал-Европа». Используя состав природного газа Уренгойского месторождения [8], был выполнен расчет теоретических объемов воздуха и продуктов сгорания при коэффициенте избытка воз-

духа  $\alpha = 1$ , а также массы образующихся в процессе горения водяных паров (табл. 1).

В табл. 1 приведены  $V_{RO_2}$ ,  $V_{N_2}^0$  и  $V_{H_2O}^0$  – теоретические объемы трехатомных газов, азота и водяных паров в составе продуктов сгорания.

**Таблица 1. Расчетные характеристики процесса горения при  $\alpha = 1$**

$V_B^0$ , $m^3/m^3$	$V_{RO_2}$ , $m^3/m^3$	$V_{N_2}^0$ , $m^3/m^3$	$V_{H_2O}^0$ , $m^3/m^3$	$m_W$ , $kg/m^3$
9,43	0,99	7,46	2,13	1,62

При расчете параметров топочных газов были приняты следующие данные:  $t_r = 1200^\circ C$ ,  $t_0 = 5^\circ C$ ,  $d_0 = 3,5 \text{ г/кг}$ ,  $h_0 = 14 \text{ кДж/кг}$  и  $\eta = 0,95$ . Используя справочные данные об энталпии, единицы объема воздуха и продуктов сгорания [6] было определено:

$$H_B^0 = 16540 \text{ кДж/м}^3; H_G^0 = 19890 \text{ кДж/м}^3; H_{B,0}^0 =$$

**Таблица 2. Расчет удельных расходов теплоты и ожидаемой относительной экономии топлива**

Величины, единицы величин	Источник, номер формулы	Вариант						
		1	2	3	4	5	6	7
$t_1, ^\circ C$	Принято	120	70	70	70	70	70	70
$t_2, ^\circ C$	Принято	42	30	35	35	35	35	40
$\Delta, \text{кДж/кг}$	Принято	-1000	-1000	0	-500	-1000	-2000	-1000
При работе зерносушилки без рециркуляции СА								
$L_T, \text{кг/м}^3$	Расчет [9]	267	475	475	475	475	475	475
$d_{1,0}, \text{г/кг}$	Расчет [9]	9,57	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
$d_{2,0}, \text{г/кг}$	Расчет [4]	32	18,4	20,85	18,6	16,95	14,75	15,5
$\varphi_2, \%$	Табл. [9]	60	67	57	52	47	41	43
$h_{1,0}, \text{кДж/кг}$	Расчет [9]	147,3	88,9	88,9	88,9	88,9	88,9	88,9
$q_0, \text{кДж/кг}$	(17)	5950	6510	5370	6400	7450	9540	8710
При работе зерносушилки с рециркуляцией СА								
$d_2, \text{г/кг}$	Принято	44,5	22	29,5	29,5	29,5	29,5	39,4
$h_2, \text{кДж/кг}$	Расчет [9]	157	86,5	111	111	111	111	141
$n$	(6)	9,2	19,6	17,5	15,7	14,3	12,2	10,5
$d_C, \text{г/кг}$	(7)	11,5	7,45	7,9	8,4	8,8	9,7	10,6
$h_C, \text{кДж/кг}$	(5)	190	101	111	122	131,7	150,6	170
$t_C, ^\circ C$	(8)	156	80	89	98	107	123	140
$d_1, \text{г/кг}$	Расчет [4]	21,55	10,45	15,3	17,6	19,2	21,45	30,4
$k_P$	(10)	0,305	0,205	0,345	0,43	0,502	0,59	0,69
$h_1, \text{кДж/кг}$	(6)	180	98,2	111	117	121	127	150
$L_{TY}, \text{кг/м}^3$	(11)	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7
$L_C, \text{кг/м}^3$	(12)	182	388	347	311	283	241	208
$L_B, \text{кг/м}^3$	(13)	203	409	368	332	304	268	229
$L_P, \text{кг/м}^3$	(14)	89	106	193	250	306	386	510
$L, \text{кг/м}^3$	(15)	292	515	560	582	610	654	739
$q, \text{кДж/кг}$	(16)	5330	5970	4490	5100	5700	6900	5440
$b, \%$	(18)	10	8	16	20	23	27,5	37

7 кДж/м<sup>3</sup>.

Затем по уравнениям (1), (2) и (4) были найдены параметры:

$$\alpha = 1,7; h_F = 1810 \text{ кДж/кг}; d_F = 85 \text{ г/кг}.$$

Температурные параметры теплового режима сушки продовольственного и семенного зерна были приняты согласно [9], а относительная влажность СА на выходе сушильной камеры при использовании рециркуляции СА – равной максимально допустимому значению 80 %.

Результаты дальнейших расчетов даны в табл. 2.

Исходя из данных табл. 2, следует, что чем больше расходы теплоты в КЗС без рециркуляции СА, тем больше, как правило, достигаемая экономия топлива за счет рециркуляции СА.

Размеры экономии топлива увеличиваются при сушке семенного зерна (варианты 2-7) по сравнению с сушкой продовольственного зерна (вариант 1).

Увеличение температуры СА на выходе сушильной

камеры с 30 до 40°C при  $\Delta = -1000$  кДж/кг сопровождается увеличением удельного расхода теплоты в зерносушилке без рециркуляции СА с 6510 до 8650 кДж/кг, а также экономии топлива при использовании рециркуляции СА с 8 до 37 % (варианты 2 и 7). При одинаковых температурах  $t_1$  и  $t_2$  увеличение расходов теплоты в сушильной камере приводит к росту по модулю величины  $\Delta$  и к увеличению значения  $q_0$  от 5350 до 9480 кДж/кг и экономии топлива за счет рециркуляции СА от 16 до 27 % (варианты 3 и 6).

Примечательным является и тот факт, что увеличение температуры СА на выходе сушильной камеры в условиях рециркуляции СА характеризуется уменьшением удельных расходов теплоты на сушку от 5970 до 5440 кДж/кг (варианты 2, 5 и 7). С позиции энергосбережения может оказаться приемлемым увеличение температуры отработавшего СА при использовании его рециркуляции.

### Заключение

Путем рециркуляции СА в конвективных ЗС возможно обеспечить экономию топлива в рассмотренных вариантах в размере от 8 до 37 % в зависимости от параметров теплового режима сушки. Особое значение здесь имеют температура отработавшего СА и расходы теплоты непосредственно в сушильной камере.

Предложенная методика расчета относительной экономии топлива, параметров и расходов наружного воздуха и СА в КЗС при рециркуляции СА базируется на определении коэффициентов избытка воздуха, разбавления наружным воздухом топочных газов и рециркуляции СА.

Разработка технологического процесса и конструкции КЗС должна сопровождаться решением проблемы снижения расходов топлива при сушке. Необходимо изначально принять все меры для снижения расходов топлива при сушке, а затем решать

задачи энергосбережения с помощью тех или иных энергосберегающих способов сушки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов, О.Л. Экономия энергии при тепловой сушке / О.Л. Данилов, Б.И. Леончик. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.
2. Кочетков, А.В. Снижение энергозатрат за счет совершенствования технологического процесса сушки рециркуляцией сушильного агента / А.В. Кочетков, Е.Г. Микуцкий, В.А. Седнин // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ), 2010. – №1. – С. 67-77.
3. Промышленные тепломассообменные процессы и установки / А.М. Бакластов [и др.]; под ред. А.М. Бакластова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 328 с.
4. Синяков, А.Л. Энергосбережение в конвективных зерносушилках путем рециркуляции сушильного агента / А.Л. Синяков, И.А. Цубанов // Агропанорама, 2009. – №5. – С. 40-44.
5. Акулич, П.В. Расчеты сушильных и теплообменных аппаратов / П.В. Акулич. – Минск: Беларус. наука, 2010. – 443 с.
6. Герасимович, Л.С. Справочник по теплоснабжению сельского хозяйства / Л.С. Герасимович, А.Г. Цубанов, Б.Х. Драганов, А.Л. Синяков. – Минск: Ураджай, 1993. – 368 с.
7. Жидко, В.И. Зерносушение и зерносушки / В.И. Жидко, В.А. Резчиков, В.С. Уколов. – М.: Колос, 1982. – 239 с.
8. Клименко, А.В. Теплоэнергетика и теплотехника: справоч. в 4-х кн. / А.В. Клименко, В.М. Зорина // Теоретические основы теплотехники. Технотехнический эксперимент: кн. 2. – М.: Издат. дом МЭИ, 2007. – 562 с.
9. Малин, Н.И. Справочник по сушке зерна / Н.И. Малин. – М.: Агропромиздат, 1986. – 159 с.

**Счетчик газа ультразвуковой СГУ001  
типоразмеров G16-G25**

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

**Основные технические данные**

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

**Цена изделий на 40-60% ниже зарубежных аналогов**  
**Производство счетчиков освоено на ООО «Московский завод электроизмерительных приборов – 1», г. Брест. Завершается подготовка производства к выпуску счетчиков на ОАО «Агат – системы управления», г. Минск.**



## **ОБОСНОВАНИЕ ДОЛИ ДЕТАЛЕЙ РЕМОНТНОГО ФОНДА, ГОДНЫХ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО ПРИМЕНЕНИЯ БЕЗ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

**В.П. Иванов, докт. техн. наук, профессор, А.П. Кастрюк, канд. техн. наук, доцент (Полоцкий государственный университет)**

### **Аннотация**

*На основании обследования ремонтного фонда автомобильных и тракторных двигателей установлено их состояние и рассчитаны доли годных деталей для дальнейшего применения.*

*On the basis of the inspection of repair fund of automobile and tractor engines their condition has been established and shares of suitable details for further application have been calculated.*

### **Введение**

Ремонт машин своим существованием и эффективностью обязан использованию остаточной долговечности деталей, в том числе применением деталей, параметры которых соответствуют нормативным. Использование таких деталей уменьшает объем восстановительных работ и расход дорогих запасных частей. Сведения о состоянии деталей ремонтного фонда [1-5] потеряли актуальность по причине изготовления деталей из новых материалов по другим процессам и восстановления деталей с упрочняющими мероприятиями.

Цель работы – установить состояние различных деталей ремонтного фонда и доли годных деталей для объективного планирования восстановительных работ и объема приобретения запасных частей.

### **Методика исследования**

Исследовался ремонтный фонд основных ресурсоопределяющих деталей двигателей ЗМЗ-53 и Д-240. Минимальные объемы выборок деталей  $n$  для исследования их технического состояния определяли по (ГОСТ 17510-72)

$$n = \frac{\sigma^2 t_{\beta}^2}{\varepsilon^2},$$

где  $\sigma^2$  – статистическая оценка дисперсии случайной величины (в данном случае – износа измеряемой поверхности, несосности шеек и др.);

$t_{\beta}$  – табличный (табулированный) коэффициент, зависящий от  $\beta$  заданной (доверительной) вероятности;

$\varepsilon$  – доверительный интервал значений, которые покроют неизвестный параметр.

Для разных деталей  $\sigma^2$  изменялось от 0,00010 до 0,29994, принималась точность  $\beta = 5\%$  при вероятности 0,95 (показатель достоверности  $t_{\beta} = 1,96$ ), доверительный интервал  $\varepsilon$  составлял 0,01–0,08.

Средства измерений выбирались по методу безошибочности контроля [6] с учетом значения номинального размера, допуска изготовления и погрешности измерений. Допускаемые погрешности измерений при приемочном контроле на линейные размеры до 500 мм устанавливает ГОСТ 8.051–81. Эти погрешности приняты равными 20–35 % от допуска на соответствующий размер детали.

Распределения отдельных деталей по значениям исследуемых величин описывались одним из наиболее подходящих теоретических законов распределения в интегральном выражении из числа: нормального, Вейбулла, показательного, Релея и гамма-распределения (табл. 1). Соответствие теоретических распределений данным экспериментов определялось с помощью критерия Пирсона  $\chi^2$ .

### **Основная часть**

Значения интегральных функций распределения деталей ремонтного фонда, соответствующие значениям параметров, допустимых без восстановления, дают теоретическую долю годных деталей (табл. 1). Состояние различных деталей исследуемых агрегатов следующее:

**Блок цилиндров.** Из трех-четырех десятков повреждений сборочной единицы прочностного и точностного характера выбраны основные: пробоины, трещины, деформирование отверстий под подшипники и гильзы.

Пробоины наблюдались чаще у двигателей старых моделей, в том числе у 2 % двигателей Д-240. Пробоины стенок расположены, как правило, в нижней части картера в плоскости качания шатуна. Малоразмерные пробоины имеют размеры от 50×50 до 100×100 мм, пробоины больших размеров распространяются от одной поперечной перегородки до другой или с выходом на обработанную плоскость. Блоки цилиндров с последними повреждениями и с пробоинами, захватывающими масляные каналы, являются неремонтопригодными.

Самым распространенным повреждением прочностного характера являются трещины их элементов (15-27 % от всех повреждений). Наиболее часто трещины возникают в стенках водяных рубашек (11-44 %), в перемычках цилиндров (3-16 %), плоскости под головку цилиндров (до 14 %) и бобышках под шпильки крепления головок цилиндров (до 11 %). Значительно реже (0,5-9,0 %) они возникают в коренных опорах (в том числе в их крышках), стенках бобышек под гильзы (до 7 %), поперечных перегородках (0,3-4,0 %), стенках бобышек под втулки распределительного

вала, плоскости под масляный картер и в стенках масляной магистрали (до 4 %). Трещины в перемычках между цилиндрами чаще наблюдаются у двигателей Д-240 и их модификаций. Трещины зарождаются снизу и в единичных случаях – сверху.

Возраст деталей, у которых образовались трещины, более 7 лет. Трещины распространяются только до буртиков под гильзы, поэтому подлежат устранению. Трещины в перемычках между цилиндрами и выходящие на отверстия, как правило, раскрыты. Так, если трещина (-ны) образуется (-ются) в одной-

**Таблица 1. Результаты статистического анализа технического состояния деталей ремонтного фонда двигателей**

Детали	Параметры	Законы распределения параметров в интегральном выражении и доли годных деталей двигателей	
		3М3-53	Д-240
1	2	3	4
Блок цилиндров	износ $\Delta x$ коренных опор	$F(\Delta x) := 1 - \exp\left[-\left(\frac{\Delta x}{0,054}\right)^{3,344}\right]$ $F(0,03) = 0,131$	$F(\Delta x) := 1 - \exp\left[-\left(\frac{\Delta x}{0,056}\right)^{3,289}\right]$ $F(0,03) = 0,120$
	несоосность $\Delta a$ коренных опор	$F(\Delta x) := 1 - \exp\left[-\left(\frac{\Delta a}{0,053}\right)^{2,799}\right]$ $F(0,03) = 0,184$	–
	износ $\Delta x$ отверстий под гильзы	$F(\Delta x) := 1 - \exp\left[-\left(\frac{\Delta x}{0,094}\right)^{2,985}\right]$ $F(0,06) = 0,231$	$F(\Delta x) := 1 - \exp\left[-\left(\frac{\Delta x}{0,048}\right)^{2,560}\right]$ $F(0,06) = 0,830$
	длина $l$ трещин	–	$F(l) := 0,00384 \int_0^l e^{-0,000044(l-225)^2} dl$
Гильза цилиндра	износ $\Delta x$ цилиндра	$F(\Delta x) := 1 - \exp\left[-\left(\frac{\Delta x}{0,225}\right)^{1,773}\right]$ $F(0,06) = 0,092$	$F(\Delta x) := 1 - \exp\left[\left(\frac{-\Delta x^2}{2 \cdot 0,0524^2}\right)\right]$ $F(0,06) = 0,481$
	износ $\Delta x$ верхнего пояска	–	$F(\Delta x) := 1 - \exp\left[-\left(\frac{\Delta x}{0,060}\right)^{3,103}\right]$ $F(0,05) = 0,433$
	износ $\Delta x$ а нижнего пояска	$F(\Delta x) := 1 - \exp\left[-\left(\frac{\Delta x}{0,087}\right)^{1,317}\right]$ $F(0,05) = 0,382$	$F(\Delta x) := 1 - \exp\left[-\left(\frac{\Delta x}{0,059}\right)^{2,980}\right]$ $F(0,05) = 0,457$
	радиальное биение $\delta$ пояска	$F(\delta) := 1 - e^{-13,2890}$ $F(0,03) = 0,329$	–
Головка цилиндров	износ $\Delta x$ отверстий во втулках клапанов	$F(\Delta x) := 1 - e^{-14,834 \Delta x}$ $F(0,02) = 0,257$	–
	отклонение $\Delta h$ высоты камеры сгорания от номинального значения	$F(\Delta h) := 1 - \exp\left[-\left(\frac{\Delta h}{0,230}\right)^{1,522}\right]$ $F(0,5) = 0,962$	–
	высота $h$ головки цилиндров	–	$F(h) := 1 - \exp\left[-\left(\frac{h}{98,20}\right)^{2,047}\right]$ $F(99,5) = 0,642$

**Продолжение таблицы**

1	2	3	4
Шатун	износ $\Delta x$ отверстия в поршневой головке	$F(\Delta x) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{\Delta x}{0,032} \right)^{2,028} \right]$ $F(0,01) = 0,090$	—
	износ $\Delta x$ отверстия в кривошипной головке	$F(\Delta x) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{\Delta x}{0,033} \right)^{2,965} \right]$ $F(0,02) = 0,203$	$F(\Delta x) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{\Delta x}{0,035} \right)^{2,279} \right]$ $F(0,03) = 0,505$
	изменение $\Delta A$ межосевого расстояния	$F(\Delta A) := 24,23 \int_{-\infty}^{\Delta A} e^{-18365(\Delta A - 0,0002\delta^2)} d(\Delta A)$ $F(0,05) = 0,640$	—
Поршень	износ $\Delta x$ юбки	$F(\Delta x) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{\Delta x}{0,086} \right)^{2,364} \right]$ $F(0,06) = 0,348$	—
	диаметр отверстия $d$ под поршневой палец	0,233	$F(d) := 35,40 \int_0^d e^{-39157(d-38,024)^2} d(d)$ $F(0,01) = 0,186$
Поршневой палец	диаметр $d$ рабочей поверхности	0,825	$F(d) := 53,33 \int_0^d e^{-88652(d-37,985)^2} d(d)$ $F(0,01) = 0,256$
Коленчатый вал	износ $\Delta x$ коренных шеек	$F(\Delta x) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{\Delta x}{0,084} \right)^{1,258} \right]$ $F(0,02) = 0,151$	$F(\Delta x) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{\Delta x}{0,063} \right)^{1,427} \right]$ $F(0,02) = 0,172$
	износ $\Delta x$ шатунных шеек	$F(\Delta x) := 1 - e^{-19,149 \Delta x}$ $F(0,02) = 0,318$	$F(\Delta x) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{\Delta x}{0,049} \right)^{1,165} \right]$ $F(0,02) = 0,297$
	несоосность $\delta$ коренных шеек	$F(\delta) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{\delta}{0,077} \right)^{2,487} \right]$ $F(0,03) = 0,092$	—
	износ $\Delta x$ фланца под маховик	$F(\Delta x) := 1 - e^{-115,134 \Delta x}$ $F(0,02) = 0,900$	$F(\Delta x) := 1 - e^{-140,385 \Delta x}$ $F(0,03) = 0,986$
	торцовое биение $\delta$ фланца под маховик	$F(\delta) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{\delta}{0,024} \right)^{2,522} \right]$ $F(0,03) = 0,827$	—
Маховик	износ $\Delta x$ отверстия под подшипник	$F(\Delta x) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{\Delta x}{0,029} \right)^{2,535} \right]$ $F(0,02) = 0,323$	—
	износ $\Delta x$ отверстия	$F(\Delta x) := 1 - e^{-158,73 \Delta x}$ $F(0,02) = 0,952$	$F(\Delta x) := 1 - e^{-102,98 \Delta x}$ $F(0,03) = 0,954$
	торцовое биение $\delta$ трущшейся поверхности	$F(\delta) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{\delta}{0,139} \right)^{3,459} \right]$ $F(0,08) = 0,138$	—

Окончание таблицы

1	2	3	4
Распределительный вал	износ $\Delta x$ опорных шеек	$F(\Delta x) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{\Delta x}{0,063} \right)^{1,634} \right]$ $F(0,03) = 0,258$	$F(\Delta x) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{\Delta x}{0,042} \right)^{1,653} \right]$ $F(0,03) = 0,436$
	некоосность $\Delta a$ опорных шеек	$F(\Delta a) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{\Delta a}{0,054} \right)^{2,088} \right]$ $F(0,02) = 0,118$	-
	износ $\Delta x$ цилиндрической части кулачков	$F(\Delta x) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{\Delta x}{0,285} \right)^{1,674} \right]$ $F(0,15) = 0,289$	$F(\Delta x) := 1 - e^{-8,290 \Delta x}$ $F(0,20) = 0,815$
	разность размеров «А» и «Б» выпускных кулачков	$F(A-B) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{A-B}{0,352} \right)^{1,793} \right]$ $F(0,30) = 0,528$	$F(A-B) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{A-B}{0,705} \right)^{1,737} \right]$ $F(0,50) = 0,423$
	разность размеров «А» и «Б» впускных кулачков	$F(A-B) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{A-B}{0,303} \right)^{1,224} \right]$ $F(0,30) = 0,628$	
Клапан	износ $\Delta x$ стержня выпускного клапана	$F(\Delta x) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{x}{0,066} \right)^{1,468} \right]$ $F(0,02) = 0,126$	$F(\Delta x) := 15,55 \cdot 10^6 **$ $\times \int_0^{\Delta x} \Delta x^{3,788} \exp(-58,738 \Delta x) d\Delta x$ $F(0,03) = 0,178$
	износ $\Delta x$ стержня впускного клапана	$F(\Delta x) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{x}{0,113} \right)^{2,254} \right]$ $F(0,02) = 0,020$	-
	биение фаски	$F(\delta) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{\delta}{0,059} \right)^{1,951} \right]$ $F(0,03) = 0,234$	-
	высота $h$ цилиндрического пояска	$F(h) := 1 - \exp \left[ -\left( \frac{h}{1,705} \right)^{3,115} \right]$ $F(2,00) = 0,194$	$F(h) := 2,9 \int_0^h e^{-26,29(h-2,258)^2} dh$ $F(2,00) = 0,254$
Толкатель клапана	диаметр $d$ цилиндрической поверхности	$F(d) := 49,88 \int_0^{\Delta x} e^{-7812,5(d-24,983)^2} d(d)$ $F(0,03) = 0,364$	$F(d) := 44,83 \int_0^d e^{-6312,3(d-24,983)^2} d(d)$ $F(0,03) = 0,440$

двух перемычках, то она раскрывается незначительно (до 0,10-0,15 мм). В результате, форма отверстия под гильзу также изменяется на это значение. При возникновении трещин одновременно в трех перемычках происходит их раскрытие: средней до 0,63 мм, первой и третьей – на 0,27 мм.

Согласно действующей нормативной документации, чугунные блоки цилиндров двигателей восстанавливают, если длина трещин не превышает 250 мм, 0,3 % блоков цилиндров двигателей Д-240, например, по этой причине признаются неремонтопригодными.

Самые распространенные повреждения блоков цилиндров точноштного характера – отклонение диаметра коренных опор от номинального значения и их некоосность за счет деформирования крышек, а также отклонение диаметра отверстий под гильзы от номинального значения. Наблюдается отклонение параметров коренных опор от номинальных значений до 100 мкм, диаметров отверстий под гильзы цилиндров в виде овальности – до 200 мкм, неплоскости поверхности под головку цилиндров – 60-200 мкм (в 15-28 процентах случаев она является более допустимой).

мой). В 60 процентах случаев размер отверстий под толкателями находится в пределах допуска на их восстановление. Доля годных блоков цилиндров ЗМЗ-53 по диаметру коренных опор составляет 13,1 %, по их соосности – 18,4 %. 12,0 % блоков цилиндров двигателей Д-240 годны по диаметру коренных опор и 83,0 % – по отверстиям под гильзы цилиндров.

Только 2-7 % блоков цилиндров не требуют восстановления.

**Гильза цилиндра.** До восстановления 22,5 % гильз цилиндров двигателей ЗМЗ-53 имели номинальный размер цилиндра, 40 % – первый ремонтный размер, 30 % – второй и 7,5 % – третий. Средний износ зеркала цилиндра для гильз номинального размера составляет 0,206 мм, гильз первого ремонтного размера – 0,252 мм, второго ремонтного размера – 0,225 мм и третьего ремонтного размера – 0,203 мм. Модальные значения износов гильз цилиндров двигателей Д-240 и отклонений диаметров их центрирующих поясков от номинальных значений равны 0,05 мм.

Пояски гильз только деформируются. Вызывает сомнение тот факт, что диаметр поясков так изменился за время предыдущей эксплуатации двигателей. Вероятно, значения размеров, близкие к тем, которые получены при измерении, обусловлены их предыдущим некачественным восстановлением.

Твердость материала гильз цилиндров, уменьшающаяся после снятия поверхностных слоев при растачивании, изменяется в широких пределах от 10 до 40 HRC, что объясняется плохим качеством отливок. Высокая интенсивность изнашивания гильз отремонтированных двигателей по сравнению с гильзами после изготовления (до 1,5 раз) объясняется неудовлетворительной обработкой резанием, следствием которой являются большие отклонения параметров формы и шероховатости поверхностей от нормативных.

**Головка цилиндров.** В огневых днищах головок цилиндров наибольшую тепловую напряженность испытывают межклапанные перемычки и тонкие перемычки, что обуславливает до 80 % трещин между отверстиями под форсунки и клапанными седлами. Под действием колебаний температуры в пределах 280-420 К развиваются циклические температурные напряжения, которые приводят к усталостным разрушениям перемычек из-за препятствия термическому сжатию и расширению конструктивных элементов. Трещины на огневых днищах головок цилиндров чаще возникают по истечении их срока службы (4-10 лет). Глубина их залегания, в основном, 3-6 мм. До 70 % термоусталостных трещин являются допустимыми. Трещины с глубиной залегания более чем 5 мм подлежат устраниению, тем более, что при рабочей температуре материала чугунных деталей (350-450 °C) структурные изменения в нем не происходят.

Высота головки цилиндров изменяется при восстановлении плоскостности поверхности прилегания к блоку цилиндров и выступания тарелок клапанов из седел (путем фрезерования огневого днища). У 8 % деталей Д-240 высота головки цилиндров допустимая. Около 65 % головок имеют высоту меньше предусмотренной заводом-изготовителем. Требуют

восстановления 0,4 % головок цилиндров двигателей ЗМЗ-53 по высоте камеры сгорания.

74,3 % направляющих втулок клапанов двигателей ЗМЗ-53 требуют развертывания под очередной ремонтный размер или замены из-за исчерпания ремонтных размеров.

**Шатун.** В шатуне деформируются отверстия в кривошипной и поршневой головках, и изменяется межосевое расстояние этих отверстий. В очень небольшом количестве шатунов выявляются усталостные трещины в их теле. Отверстие кривошипной головки имеет тенденцию к увеличению диаметра, отклонения его размера от номинального значения превышают допуск в 5-7 раз. Примерно равные доли шатунов имеют увеличенные или уменьшенные межосевые расстояния. Доля годных шатунов по кривошипной головке составляет 20,3-50,5 %, а по межосевому расстоянию – 64 %. Средняя непараллельность осей отверстий шатуна составляет 0,031 мм на 100 мм длины.

**Поршень.** Поршни относят к деталям, которые подлежат замене при капитальном ремонте двигателей новыми деталями. Основные повреждения поршней – износы юбок, отверстий под поршневой палец и торцовых поверхностей канавок под поршневые кольца. Установлено, что в пределах допуска на изготовление укладываются 34,8 % и 22,4 % юбок поршней двигателей ЗМЗ-53 и Д-240, соответственно. По диаметру отверстия под поршневой палец доля годных поршней двигателей ЗМЗ-53 составляет 23,3 % и 18,6 % – двигателей Д-240. Доля годных поршней по ширине канавки под верхнее поршневое кольцо составляет 32,0 %, наибольший износ достигает значение 0,60 мм. Канавки под маслосъемные кольца практически не изношены.

Интенсивность изнашивания юбок поршней тракторных двигателей примерно в 1,6-2,4 раза ниже, чем значение одноименного параметра гильз цилиндров. Доля поршней с допустимыми значениями всех параметров составляет 3,9-13,5 %. Разброс массы поршней двигателей ЗМЗ-53 составляет 32 г.

**Поршневой палец** – самая износостойкая деталь двигателя. Изделия более интенсивно изнашиваются по поверхности, сопрягаемой с втулкой поршневой головки шатуна, износ этой поверхности примерно в 2,7 раза больше, чем износ поверхности, сопрягаемой с бобышками поршня. Износ поршневых пальцев не превышает 0,03-0,04 мм, что дает основание пересмотреть решение о сплошном нанесении покрытий и шлифовании под номинальный размер. 25,6-82,5 % поршневых пальцев укладываются в допуск на размер, установленный заводом-изготовителем. Разброс массы поршневых пальцев двигателей ЗМЗ-53 составляет 9 г.

**Коленчатый вал.** В капитальный ремонт направляют двигатели, коленчатые валы которых существенно изношены и требуют нанесения покрытий. Почти у всех валов наблюдается недопустимая несоосность коренных шеек. Деформации (прогибы) валов находятся в пределах 0,01–0,20 мм, в среднем – 0,03–0,05 мм. Прогибы валов, получивших аварийные изгибы от заклинивания и задиров шеек, составляют 0,2–2,5 мм (в среднем 0,58–0,78 мм). При схватывании валов в подшипниках наблюдаются цвета побежалости, что сви-

действует о снижении твердости поверхностного слоя. Валы с такими шейками в будущем повторно претерпят схватывание с заеданием. Твердость материала при восстановлении валов необходимо контролировать неразрушающими способами и при необходимости доводить до нормативной (не ниже 45 HRC) ТВЧ, азотированием, лазерной обработкой или другими способами. Валы, которые претерпели схватывание и заедание, требуют шлифования через 2-3 ремонтных размера или наплавки с последующей обработкой под номинальный размер. При этом наплавки одной шейки требуют 78 % от всех наплавляемых валов, двух шеек – 22 % и 3-5 шеек – 0,4 % валов.

Наиболее распространенное повреждение деталей данного класса – износ шеек (82,8-84,9 % изделий), среднее значение составляют 30-90 мкм, а максимальные не превышают 100-150 мкм. Аварийные износы при схватывании шеек с вкладышами достигают 150-230 мкм. Как правило, коренные шейки изнашиваются интенсивнее шатунных в 1,6-1,7 раза. У двигателей Д-240 больше изношены задние коренные шейки и передние шатунные шейки. 10-13 % валов вышли из ремонтных размеров и требуют наплавки, из них 1-4 % выбраковывают.

От 2 до 4 % коленчатых валов поступают в составе двигателей уже изломанными, до 2 % – с оборванными противовесами, 2 % валов имеют повышенные прогибы и 1 % – «подрезанные» галтели. В ремонт могут поступать двигатели, износ коленчатых валов у которых практически не ощущается инструментальными измерениями (от 4 до 20 %). Для таких валов достаточно лишь полирование шеек.

Основная причина выбраковки коленчатых валов – наличие усталостных трещин. Доля годных валов без восстановления небольшая, она составляет около 4 %.

**Маховик.** Техническое состояние маховиков определяют диаметр центрирующего отверстия, плоскостность и торцовое (осевое) биение трущихся поверхностей.

Диаметр базового (центрирующего) отверстия, как и диаметры отверстий под болты крепления к коленчатому валу, в эксплуатации практически не изменяются. Торцовое биение трущихся поверхности маховика увеличивается. Доля годных маховиков по этому параметру – 13,8 %.

**Распределительный вал.** Наблюдается более равномерный и меньший по значению износ опорных шеек по длине окружности в сравнении с износом шеек коленчатого вала. Кулачки и шейки распределительных валов тракторных дизельных двигателей шлифуют реже, чем одноименные элементы бензиновых двигателей. Значимой разницы между износами впускных и выпускных кулачков нет. Кулачки незначительно изнашиваются по цилиндрической части, где трение небольшое, а изменение размера обусловлено их копирным шлифованием при восстановлении вала. Наблюдается значительный износ вершин кулачков (до 0,75 мм для двигателей ЗМЗ-53 и 1,0 мм для двигателей Д-240), на которые приходится максимальное радиальное усилие от сжатых клапанных пружин, а радиус кривизны профиля минимален.

Распределительный вал – сравнительно «благополучная» деталь по долговечности. По ней практически не бывает отказов в гарантийный период эксплуатации и их не заменяют в эксплуатации. Однако она существенно влияет на мощность двигателя и расход топлива. Доля годных распределительных валов составляет около 50 %.

**Клапаны.** В производстве наблюдается сплошное нанесение покрытий на стержни клапанов и шлифование фасок для устранения биения. Поверхность стержней следует упрочнять хромированием, что приведет к повышению выхода годных клапанов. Годных клапанов по биению фаски – 23,4 % и по высоте цилиндрических поясков клапанов двигателей ЗМЗ-53 – 19,4 % и 25,4 % клапанов двигателей Д-240. Соотношение годных деталей по состоянию фасок и цилиндрической части головки клапана объясняется тем, что на предприятиях по ремонту тракторных двигателей в меньших объемах шлифуют фаски клапанов. Стержни впускных клапанов изнашиваются более интенсивно по сравнению со стержнями выпускных клапанов.

**Толкатели.** Характеристики износов толкателей различных двигателей схожи между собой. Доля годных деталей составляет 36,4 и 44,0 % двигателей ЗМЗ-53 и Д-240, соответственно.

Большее число изменяющихся параметров деталей в виде износов трущихся поверхностей и биений интерпретируются законом Вейбулла. Изменения параметров поверхностей деталей, входящих в неподвижные соединения, описываются показательным законом распределения. Параметры элементов, обрабатываемых под ремонтные размеры (в т.ч. нерегламентированные) или «как чисто», а также изменения межосевых расстояний лучше описываются нормальным законом распределения.

Большая доля некоторых деталей, параметры которых не удовлетворяют нормативным (например, диаметр центрирующего отверстия маховика), объясняется тем, что соответствующие конструктивные элементы никогда не восстанавливались.

## Выходы

Установлены доли деталей ремонтного фонда двигателей, годных для дальнейшего применения без восстановительных воздействий. Практически меньшая доля их использования объясняется недостаточным оснащением рабочих мест мерительными средствами необходимой точности и производительности, слабой организацией производства и стремлением рабочих повысить зарплату за счет необоснованного увеличения объема работ по нанесению покрытий и последующей обработки ремонтных заготовок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кошкин, К.Т. Износы и дефекты деталей двигателя ЗИЛ-130 / К.Т. Кошкин, Э.С. Финкельштейн. – М.: Высшая школа, 1971. – 77 с.

2. Масино, М.А. Повышение долговечности автомобильных деталей при ремонте / М.А. Масино. – М.: Транспорт, 1972. – 148 с.

3. Артемьева, Т.В. Выявление закономерностей состояния ремонтного фонда и их учет при ремонте автомобилей: автореф.... дис. канд. техн. наук: 05.22.10 / Т.В. Артемьева; МАДИ. – М., 1982. – 20 с.

4. Гурвич, И.Б. Эксплуатационная надежность автомобильных двигателей / И.Б. Гурвич, П.Э. Сыр-

кин, В.И. Чумак. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1994. – 144 с.

5. Надежность и ремонт машин: учеб. / В.В. Курчаткин [и др.]; под общ. ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.

6. Точность и производственный контроль в машиностроении: справоч. / И.И. Болонкина [и др.]; под общ. ред. А.К. Кутая, Б.М. Сорочкина. – Л.: Машиностроение, 1983. – 368 с.

## **Электрогидравлический обкаточно-тормозной стенд**

*Предназначен для холодной и горячей обкатки двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и создания тормозной нагрузки при обкатке коробок передач и ведущих мостов.*



### **Основные технические данные**

Мощность электрического двигателя для холодной обкатки, кВт, до	11
Тип тормозного устройства	гидравлический
Мощность торможения, кВт, до	100
Диапазон регулирования частоты вращения вала электродвигателя, об/мин	500 - 3000
Диапазон частоты вращения гидравлического тормоза (при г/о), об/мин	1200 - 2900
Диапазон измерения частоты вращения, об/мин	до 3000
- магнитоиндукционным тахометром	до 9999
- электронным тахометром	в тепловую
Рекуперация механической тормозной энергии	Кожухотрубчатый теплообменник
Устройство рекуперации	
Диапазон измерения давления масла, МПа	0 - 40
Диапазон измерения температуры масла, °C	0 - 150
Масса стенда, кг	200
Занимаемая площадь, м <sup>2</sup> , не более	1,5

Применение электрогидравлического обкаточно-тормозного стенда обеспечивает:

- снижение более чем в 10 раз металлоемкости и более чем в 7 раз стоимости в сравнении с электрическими стендами;
- рекуперацию механической энергии в тепловую;
- импортозамещение.

УДК 37.018.46

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 6.03.2013

# КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ КАДРОВ АПК СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА «РОССИЯ – БЕЛАРУСЬ»

Н.С. Яковчик, докт. экон. наук, докт. с-х. наук, профессор (БГАТУ); М.К. Жудро, докт. экон. наук, профессор, Ю.Н. Жук, соискатель (БГЭУ)

### Аннотация

*Рассматриваются концептуальные вопросы инновационного обновления агропромышленного комплекса Союзного государства через создание единой системы непрерывного образования кадров. Определяются меры по организации единого образовательного пространства в контексте Программы переподготовки и повышения квалификации кадров АПК Союзного государства «Россия-Беларусь».*

*Conceptual questions of innovative updating of agro-industrial complex of the Union State through the creation of uniform system of continuous formation of personnel are considered. Measures for the organization of uniform educational space in a context of the Program of retraining and professional development of skilled personnel of agrarian and industrial complex of the Union State of "Russia-Belarus" are defined.*

### Введение

Агропромышленный комплекс Союзного государства является одной из основных жизнеобеспечивающих отраслей экономики. Системная работа по инновационному обновлению – базовое условие достижения целей его развития и обеспечения продовольственной безопасности наших дружественных народов. Среди важнейших программ Союзного государства необходимо выделить программу переподготовки и повышения квалификации кадров АПК, так как с выбором инновационного пути развития аграрного сектора экономики перед Союзным государством стала сложнейшая задача принципиально иного кадрового обеспечения, способного превратить агропромышленный комплекс из дотационного в высокорентабельный, экспортноориентированный. Предложенная концепция программы – это начало создания единой системы переподготовки и повышения квалификации кадров АПК Союзного государства «Россия-Беларусь».

### Основная часть

Актуальность разработки и реализации программы определяется необходимостью расширения участия АПК Союзного государства на международном рынке сельскохозяйственной продукции и продовольствия в условиях формирующегося единого экономического пространства (Россия – Беларусь – Ка-

захстан) и ЕврАзЭС и с учетом требований Всемирной торговой организации.

В связи с этим решение проблемы кадрового обеспечения агропромышленного комплекса Республики Беларусь и Российской Федерации на современном уровне становится главным звеном его успешного развития. Осознание сложности проблемы, масштабность вызовов международного рынка побудили специалистов Федерального государственного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования специалистов «Российская академия кадрового обеспечения агропромышленного комплекса» и учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» к совместной работе по определению комплекса программных мер для ее разрешения.

Сегодня в сельскохозяйственных организациях России работает 350,1 тыс. руководящих работников и специалистов, в Беларуси – 62,8 тыс. (соответственно 94,7 % и 93,2 % от потребности), которые периодически проходят обучение, используя повышение квалификации, переподготовку, стажировку и другие формы (табл. 1) [1, 2].

Наметилась положительная тенденция улучшения качественного состава кадров, сопровождающаяся динамикой роста их образовательного уровня и профессиональных компетенций через получение высшего и дополнительного профессионального образования взрослых (табл. 2).

**Таблица 1. Обеспеченность сельскохозяйственных организаций кадрами руководителей и специалистов по состоянию на 01.01.2013 г.**

	Штатная численность	Списочная численность	Уровень образования				Выбыло за год	Количество вакансий	%	
			высшее	%	среднее профессиональное	%				
РФ	350148	331590	141333	42,6	147326	44,4	33632	10,1	18558	5,3
РБ	67384	62817	24232	38,6	31162	49,6	8537	12,7	4567	6,8

**Таблица 2. Качественный состав кадров руководителей и специалистов (в процентах с высшим образованием)**

		2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.
Руководители и специалисты	РФ	37,9	39,7	42,6	42	42,6
	РБ	36	36	36,4	37,1	38,6
Руководители	РФ	69,3	70	69,9	69,1	68,1
	РБ	88	89	91,5	91,8	92
Главные специалисты	РФ	56	57,7	60,2	60,9	61,6
	РБ	63	64	65	66,5	66,9

В целом по России количество руководящих работников и специалистов, имеющих высшее образование, по сравнению с 2008 годом возросло на 4, 7 %, в Беларуси – на 2, 6 %. При этом следует подчеркнуть, что доля руководителей и главных специалистов с высшим образованием в сельскохозяйственных организациях Беларуси существенно выше, чем в России. По всем формам дополнительного образования взрослых ежегодно обучается от 12 до 14 тыс. руководящих работников и специалистов агропромышленного комплекса Беларуси, обеспечивая периодичность повышения их квалификационного уровня один раз в 5 лет. В России за последние 5 лет количество руководителей и специалистов, прошедших обучение в системе ДПО, сократилось на треть и достигло 17, 4 тыс. человек, что составляет 5, 1 % от их общей численности.

Сопоставительный анализ качества кадрового обеспечения АПК стран – участниц Союзного государства позволил выявить недостаточную готовность кадров к эффективной управленческой и организационной работе в новых условиях. Существует недоработка потенциальных возможностей дополнительного образования для инновационного развития агропромышленного комплекса.

Вместе с тем сложность управляемых объектов, комплексность решаемых новых управленческих задач, с одной стороны, и отсутствие доступной информации для формирования знаний – с другой, обуславливают ряд трудностей в работе руководящих работников и специалистов сельскохозяйственных организаций.

В этой связи необходимо расширить возможности для обновления профессиональных знаний и получения современной информации по вопросам внедрения

инновационных технологий, управления сельскохозяйственными организациями и обмена опытом. Обучение руководящих работников и специалистов в форме семинаров, форумов, консультаций, деловых образовательных тренингов, дистанционного обучения, кейс-технологий, применение интерактивных методов обучения принесет неоспоримую пользу для эффективного развития предприятий [3].

Работе на земле надо учиться всю жизнь, по сути, ежедневно пополняя свои знания инновациями. Специалист АПК, так же как и ученый,

должен постоянно работать над повышением своего профессионального уровня, быть в поиске нового, осмысливать передовой опыт. Для этого в Союзном государстве, по мнению авторов, должна быть создана единая информационная компьютерная система для самообразования слушателей, их дистанционного обучения и ее научно-методическое сопровождение, в т.ч. создание электронных библиотек, кафедр и т. д.).

В новых условиях требуется инновационный подход к целям, содержанию, формам и методам обучения руководителей и преподавателей, работающих в системе непрерывного образования взрослых. Многие учреждения дополнительного образования взрослых аграрного профиля столкнулись с тем, что профессорско-преподавательский состав не успевает за требованиями, предъявляемыми к компетентности педагогических работников, осуществляющих обучение руководящих кадров и специалистов АПК. В связи с этим ставится задача подготовки научных кадров высшей квалификации для системы непрерывного профессионального образования: докторов и кандидатов наук. Именно они должны создавать инновационную методологическую и методическую основу обучения, генерировать и аккумулировать новые идеи, обеспечивать научно-методическое сопровождение инновационного развития АПК.

Одной из острых, требующих неотложного решения проблем в системе дополнительного образования взрослых, является недостаточное развитие современной маркетинговой и мониторинговой политики. Значимость ее очевидна. Маркетинговые исследования дают возможность спланировать содержание образовательного процесса в соответствии с потребностями слушателей. Мониторинг позволяет отсле-

живать качество образовательного процесса, оперативно корректировать учебно-программное и методическое обеспечение [4].

Руководящие кадры и специалисты АПК в современных условиях работают не изолированно от мирового сообщества. В то же время недостаточно изучается зарубежный опыт и рекомендательные документы международных организаций. По мнению авторов, основным общим недостатком для стран-участниц Союзного государства является слабая нацеленность систем ДПО (ДОВ) (дополнительное профессиональное образование (дополнительное образование взрослых)) на решение конкретных задач по повышению эффективности аграрного производства в сравнении со странами-участницами ВТО и отсутствие качественных критериев результативности системы ДПО (ДОВ) и соответствен-но действенного контроля ее деятельности [5].

Следует, прежде всего, разработать эти критерии и совместно определить единые показатели народно-хозяйственной и бюджетной эффективности деятельности системы ДПО (ДОВ).

Мы убеждены, что для эффективного решения принципиально новых задач, генерируемых вызовами ВТО на внутренних и внешних рынках продовольствия, необходимо формирование единого образовательного пространства (ЕОПР) для переподготовки и повышения квалификации руководящих работников и специалистов АПК Союзного государства. Ядром формирования ЕОПР АПК должен быть центр практического обучения руководителей и специалистов АПК Союзного государства, реализующий следующие основные программные мероприятия [6]:

1. Переподготовка кадров преподавателей систем ДПО (ДОВ) со стажировкой в учебных центрах АПК ряда европейских стран.

2. Разработка целевых индикаторов эффективности деятельности ДПО АПК в условиях ВТО и продвижения российской и белорусской продукции АПК на международный рынок.

3. Разработка единых квалификационных требований к руководителям и специалистам АПК на основе международных и национальных стандартов качества.

4. Создание единой учебно-методической базы.

5. Переподготовка руководящих кадров, их резерва и специалистов АПК с их последующей сертификацией соответствия квалификации международным профессиональным стандартам.

6. Организация стажировок слушателей за рубежом для освоения навыков использования современных технологий управления и производства.

7. Формирование портфеля инновационно-инвестиционных проектов, разработанных выпускниками – слушателями системы ДПО; мониторинг реализации данных проектов в целях подтверждения

экономической эффективности функционирования системы ДПО.

8. Финансирование программы в рамках государственно-частного партнерства.

Оценка результативности переподготовки и повышения квалификации кадров АПК будет производиться по качественным и количественным показателям. К качественным мы относим коэффициент эффективности внедрения инноваций (эффект Парето)

$$K_{\text{эфф. ин.}} = \frac{I_1+I_2+I_3+\dots+I_n}{C} \times 100\%$$

$K_{\text{эфф. ин}} \geq 20\%$ ,

где  $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$  – количество слушателей, которые прошли повышение квалификации и переподготовку кадров, внедрили на своих предприятиях элементы инноваций и получили экономический результат (повышение производительности труда, увеличение экспорта, улучшение качества продукции и др.) Показатели определяются в результате мониторинга сельскохозяйственных организаций, в которых руководящие работники и специалисты проработали не менее одного года после прохождения учебы

$$K_{\text{дип.}} = \frac{B_1+B_2+B_3+\dots+B_n}{C} \times 100\%;$$

$K_{\text{дип.}} \geq 20\%$ ,

где  $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$  – количество слушателей-выпускников, которые защитили свои дипломные работы по темам, связанным с внедрением в производство инновационных проектов;

$C$  – количество слушателей, прошедших повышение квалификации и переподготовку в рассматриваемом периоде.

Качественными показателями эффективности образования взрослых являются:

- прогнозирование и планирование переподготовки, повышения квалификации и стажировки кадров АПК;
- научно-методическое обеспечение и выполнение образовательных программ.

## **1. Выполнение плана повышения квалификации и переподготовки руководящих работников и специалистов ДОВ**

$$K_{\text{пл.}} = \frac{C}{P_1+P_2+P_3+\dots+P_n} \times 100\%;$$

$K_{\text{пл.}} = 100\%$ ,

где  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  – плановое количество слушателей, которые будут проходить повышение квалификации и переподготовку кадров по различным направлениям.

## **2. Разработка методического обеспечения образовательного процесса ДПО (ДОВ)**

$$K_{\text{мет.}} = \frac{M_1+M_2+M_3+\dots+M_n}{C} \times 100\%;$$

К мет. ≥ 0,2 мет. на одного слушателя в год, где М1, М2, М3,..., Мп – количество методических пособий, учебников, учебных пособий, практикумов и др., разработанных на бумажных и электронных носителях для слушателей ДОВ;

С – количество слушателей, прошедших повышение квалификации и переподготовку в рассматриваемом периоде.

### Заключение

Реализация Программы позволит вывести на принципиально новый уровень профессиональную компетентность руководящих кадров и специалистов АПК Союзного государства, внедрить систему непрерывного образования в аграрной сфере в условиях интенсивного развития интеграционных процессов России и Беларуси, что в конечном итоге будет способствовать достижению сбалансированности спроса и предложения на сельском рынке труда, развитию кадрового потенциала в соответствии с качественно новыми целями и задачами развития сельских территорий, устойчивому росту производства продукции АПК и ее экспортного потенциала, повышению жизненного уровня сельского населения и обеспечению продовольственной безопасности Союзного государства.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2020 г.: Распоряжение Правительства Российской Федерации № 2136-р от 30.11.2010 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc>. – Дата доступа: 6.03.2013.

2. Государственная программа устойчивого развития села на 2011-2015 гг.: Указ Президента Республики Беларусь № 342 от 01.08.2011 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [president.gov.by/press17275.html](http://president.gov.by/press17275.html). – Дата доступа: 6.03.2013.

3. Матюшенко, В.Ф. Пути повышения эффективности подготовки аграрных кадров / В.Ф. Матюшенко, Н.С. Яковчик // Роль непрерывного образования и вузовской науки в инновационном развитии АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26-28 января 2012 г. / Белор. гос. аграрн. техн. ун-т; под общ. ред. Н.В. Казаровца. – Минск: БГАТУ. – С. 341-345.

4. Программа кадрового обеспечения агропромышленного комплекса Республики Беларусь «Кадры 2011-2015 гг.»: Постановление коллегии Минсельхозпрода № 80 от 25.11.2010 г. Режим доступа: [mshp.minsk.by/programms/?page=2](http://mshp.minsk.by/programms/?page=2) – Дата доступа: 6.03.2013.

5. Концепция государственной кадровой политики Республики Беларусь: Указ Президента Республики Беларусь № 399 от 18 июня 2001 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [president.gov.by/press28443.html](http://president.gov.by/press28443.html). – Дата доступа: 6.03.2013.

6. Соглашение о сотрудничестве в области повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов государств-участников Содружества Независимых Государств (Ялта, 25.05.2007) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [dic.edu.ru/documents/internationalakts/2507/](http://dic.edu.ru/documents/internationalakts/2507/). – Дата доступа: 6.03.2013.

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



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

Преимущества разработки:

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

*Производство плугов освоено на ДП «Минойтовский ремонтный завод». Изготоено 37 плугов.*

*В 2010 году на сельскохозяйственной выставке в г. Москве плуг удостоен золотой медали.*

**Основные технические данные**

Тип.....	.....навесной
Тип корпуса.....	.....полувинтовой
Производительность за 1 ч сменного времени, га.....	.....0,65...1,14
Конструкционная ширина захвата корпуса, мм.....	.....400/450/500/550
Рабочая скорость движения на основных операциях, км/ч.....	.....7...9
Масса плуга конструкционная, кг.....	.....не более 1150
Конструкционная ширина захвата плуга, м.....	.....1,20/1,35/1,50/1,65

# —Правила для авторов—

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

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

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

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

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

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

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

4) при наборе формул необходимо следовать общепринятым правилам:

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

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

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

г) цифры набираются шрифтом прямого начертания;

д) аббревиатуры функций набираются прямо;

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

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

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

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

4. Цифровой материал должен оформляться в виде таблиц. Каждая таблица должна иметь заголовок и номер

(если таблиц несколько). Рекомендуется установить толщину линии не менее 1 пт. В оформлении таблиц и графиков не следует применять выделение цветом, заливку фона.

Фотографии должны иметь контрастное изображение и быть отпечатаны на глянцевой бумаге размером не менее 9x12 см. В электронном виде фотографии представляются отдельно в файлах формата «tif» с разрешением 300 dpi.

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

аннотацию на русском и английском языках;

фамилию и инициалы автора (авторов) статьи, ее название;

введение;

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

заключение, завершающее четко сформулированными выводами;

список цитированных источников;

дату поступления статьи в редакцию.

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

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

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

Дополнительно в структуру статьи могут быть включены:

индекс УДК;

перечень принятых обозначений и сокращений.

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

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

7. Статьи принимаются в электронном виде с распечаткой в одном экземпляре. Распечатанный текст статьи должен быть подписан всеми авторами. В конце статьи необходимо указать полное название учреждения, организации, предприятия, колхоза и т. д., учченую 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 аспирантам, докторантам, соискателям в год завершения обучения.

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

*220023, Минск, пр. Независимости, 99,  
корп. 5, к. 602, 608. БГАТУ.*

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И  
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

БЕЛАРУССКИЙ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ФОНД  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

БЕЛАРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Агромеханический факультет

## *Уважаемые коллеги!*

Приглашаем Вас принять участие в работе Международной научно-практической конференции

### *«Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве»,*

посвященной ведущим ученым БГАТУ, создателям научной школы по  
автомотракторостроению Д.А. Чудакову, В.А. Скотникову, которая  
состоится в Белорусском государственном аграрном техническом  
университете

**28 - 30 ноября 2013 г.**

**Основные направления работы конференции:**

- Проектирование и использование автомотракторной техники в сельском хозяйстве
- Техническое обеспечение перспективных технологий производства сельскохозяйственной продукции
  - Сельскохозяйственные машины: расчет, проектирование, производство

г. Минск, пр. Независимости, 99, корпус 2  
Контактные телефоны: (8-017) 267-11-35,  
267-05-25, 267-44-13  
E-mail: [triavt@yandex.ru](mailto:triavt@yandex.ru)  
[www.batu.edu.by](http://www.batu.edu.by)

