

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И КАДРОВ

БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ

---

# АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Часть I

Материалы международной научно-практической конференции,  
посвященной 160-летию Белорусской государственной сельскохозяйственной  
академии и памяти академика С. И. Назарова

(г. Горки, 12 – 14 октября 2000 г.)

Библиотека БарГУ



0000 6874

Горки 2001

Карташевич А.Н., Добышев А.С., Валюженич Г.А., Куделка В.М. Основы классификации и проектирования паковшиков-уплотнителей комбинированных пахотных агрегатов.....	263
Кононов А.М., Валюженич Р.Н., Валюженич Г.А. Экологическая совместимость почвообрабатывающе-посевных машинно-тракторных агрегатов с почвой.....	267
Русан В.И. Актуальные проблемы энергообеспечения АПК на рубеже тысячелетий.....	266
Ефремов В.Д. Повышение надежности изготовления пальцев рессор путем управления циклом упрочняющего шлифования.....	258
Ефремов В.Д. Комплексное исследование микрогеометрии рабочих кромок сегментов режущих аппаратов сельхозмашин.....	261
Кузьмичев В.В., Червяков А.В., Курзенков С.В., Талалуев А.В. Обоснование параметров тормозного устройства – захватителя потока.....	264
Kamiński E. COMPARATIVE ESTIMATION ENGINEERING OF TOP DRESSING BY GRANULAR FERTILIZERS AND NITRIC SOLUTION.....	268
KAMIŃSKI J. R. INFLUANCE PARAMETERS OF DISK SPREADING ASSEMBLY ON UNIFORMITY OF SPREADING.....	274
Kaminski E., Kamionka J. COMPARISON OF WORK QUALITY OF TARGET-SPREADER WITH SPRAYER ADJUSTED FOR CEREALS TOP-DRESSING.....	282
Ловкис З.В., Гай-Ловкис И.З. Расчет параметров объемных рыхлителей гребней картофеля.....	288
Адаь А.В., Яроцкий Я.У. Сравнительный анализ различных методик определения потерь зерна за зерноуборочными комбайнами.....	293
Карташевич А.Н., Добышев А.С., Пархоменко М.Л. Уборка зерновых в трудных погодных условиях.....	297
Клочков А.В., Юсупов Д.М., Адаь А.В. Перспективы применения зерноуборочных комбайнов в Республике Беларусь.....	299
Кузьмицкий А.В., Назаров А.И., Дремук В.А. Моделирование процесса впрыска жидких консервантов в кормовой поток.....	302
Круглень В.Е., Алексеев А.С. Модернизация выгрузного устройства сушилки СКМ-1.....	310

**Редакционная коллегия**

В. А. Шаршунов (отв. редактор), Н. В. Чайчик  
(зам. отв. редактора), В. Е. Круглена (отв. секретарь),  
А. А. Рудашко, Г. А. Валюженич, М. Л. Пархоменко

**Коллектив авторов**

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО  
ПРОИЗВОДСТВА**

**Часть I**

Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию  
Белорусской государственной сельскохозяйственной академии и памяти  
академика С. И. Назарова

(г. Горки, 12 – 14 октября 2000 г.)

Редакторы: Т. В. Голченко, Л. Н. Петрачкова, Е. Г. Бутова, О. Г. Толмачева

Техн. редактор Н. К. Шапрунова

Подписано в печать 29.03.2001.

Формат 60x90 1/16. Бумага для множительных аппаратов.

Печать ризографическая. Гарнитура «Таймс».

Печ. л. 19,75 Уч. – изд. л. 20,40.

Тираж 150 экз. Зак. 157

---

Редакционно-издательский отдел БГСХА  
213410, г. Горки Могилевской обл., ул. Студенческая, 2  
Отпечатано с оригинал макета заказчика на ризографе лаборатории  
множительных аппаратов БГСХА.  
г. Горки, ул. Мичурина, 5

уборке зерновых колосовых культур с наличием подгона зеленой массы.

Комбайн "Дон-1500Б" прост в управлении и обслуживании, а его цена в 2 – 3 раза ниже стоимости аналогичных моделей других фирм. За счет этого возможно снижение себестоимость уборки. По сравнению с импортными комбайнами аналогичного класса затраты в 1,5 – 2,0 раза ниже. Зарубежные комбайны более надежны и производительны. Поэтому однозначное заключение о перспективах комплектования комбайнового парка в Республике Беларусь пока сделать затруднительно. Однако, признанные в хозяйствах комбайны ОАО "Ростсельмаш" могут составить реальную конкуренцию машинам других производителей.

А. В. КУЗЬМИЦКИЙ,  
А. И. НАЗАРОВ,  
кандидаты техн. наук;  
В. А. ДРЕМУК

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВПРЫСКА ЖИДКИХ КОНСЕРВАНТОВ В КОРМОВОЙ ПОТОК

Создание прочной кормовой базы для животноводства является актуальной задачей сельскохозяйственного производства. Одним из способов получения высококачественного корма является заготовка силоса с применением консервирующих веществ. Этот способ направлен на сохранение до 90% питательных веществ в растительной массе. Однако положительный результат может быть не достигнут из-за нарушения технологии консервирования, а также несоблюдения норм и равномерности внесения консервантов.

В соответствии с проведенными в БГСХА исследованиями, а также работами зарубежных авторов наиболее перспективным следует считать внутриобъемный способ внесения консервантов. Для реализации этого способа предложена конструкция смесителя - разравнивателя, осуществляющего процесс внесения консервантов непосредственно в силосохранилище траншейного типа одновременно с перемещиванием корма, его разравниванием и трамбовкой [1].

Для обоснования конструктивных и технологических параметров смесителя - разравнивателя требуется разработать модель взаимодействия факела распыленного консерванта, движущегося со скоростью  $V_0$ , с кормовым потоком.

В основу теории положим вероятностную (стохастическую) модель распространения капель в поровом пространстве движущегося

растительного материала, обладающего скоростью  $U$ , порозностью  $\epsilon$  и длиной резки  $l$ .

Для построения кривой сноса, рассмотрим движение капли консерванта по осям  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$ . Пусть распылитель консерванта установлен в точке с координатами  $(0;0;0)$ . Направление струи совпадает с направлением оси  $OX$ , а частицы корма движутся с постоянной скоростью  $U$  в направлении оси  $OY$ . Ось  $OZ$  направлена вертикально вниз.

Консервант выходит из распылителя в виде системы капель. Каждая капля в процессе движения сталкивается с частицами корма, теряя при этом часть своей массы и изменяя скорость движения как по величине, так и по направлению. При этом столкновения происходят в случайные моменты времени.

При расчете математического ожидания закона движения считаем, что случайные отклонения по направлению движения, вызванные столкновением с частицами корма, компенсируют друг друга. Изменение скорости по величине промоделировано наличием сопротивления среды.

Закон изменения массы консерванта в процессе движения [2]

$$m(x) = m_0 e^{-\frac{\kappa}{a}x}, \quad \kappa = 0,2. \quad (1)$$

Пусть масса консерванта, проходящая через распылитель за единицу времени, равна  $m_0$ . Если начальную скорость обозначить через  $V_0$ , то

$$m_0 = \mu \frac{\pi d^2}{4} \rho V_0 = 0,5 \rho d^2 V_0, \quad \text{при } \mu = 0,65 \quad \mu \frac{\pi}{4} \approx 0,5 \quad (2)$$

где  $\rho$  — плотность консерванта;

$d$  — диаметр распылителя;

$\mu$  — коэффициент расхода распылителя.

Предположим, что столкновения частиц корма и капель консерванта представляют собой простейший поток событий по координате перемещения  $X$ . Тогда вероятность того, что капля консерванта на расстоянии  $X$  имеет  $n$  столкновений с частицами корма в соответствии с законом Пуассона равна

$$P_n(x) = \frac{(\lambda x)^n}{n!} e^{-\lambda x},$$

где  $\lambda$  — средняя интенсивность потока.

Если обозначить через  $a$  среднюю длину свободного пробега капли, то

$$\lambda = 1/a$$

Предположим, что при столкновении с частицей корма капля консерванта теряет долю  $k$  своей массы. Тогда до первого столкновения движется масса  $m_0$ . После первого — масса  $k \cdot m_0$  остается с частицей корма, а масса  $(1 - km_0)$  продолжает движение. После второго столкновения масса  $k(1 - k)m_0$  остается с частицей корма, а масса  $(1 - k)(1 - k)m_0 = (1 - k)^2 m_0$  продолжает движение. Аналогично получаем, что после  $n$ -го столкновения продолжает движение масса  $(1 - k)^n m_0$ .

На расстоянии  $X$  от распылителя доля массы  $P_0(x) = e^{-\lambda x}$  не имела столкновений, доля массы  $P_1(x) = \lambda x e^{-\lambda x}$  имела одно столкновение,  $P_2(x) = \frac{(\lambda x)^2}{2} e^{-\lambda x}$  — два столкновения и т.д.

Таким образом, на расстоянии  $X$  от распылителя продолжает движение масса:

$$m(x) = m_0 \left( e^{-\lambda x} + (1-k)\lambda x e^{-\lambda x} + \frac{(1-k)^2 (\lambda x)^2}{2!} e^{-\lambda x} + \dots \right) = \quad (3)$$

$$= m_0 e^{-\lambda x} \left( 1 + \frac{(1-k)\lambda x}{1} + \frac{(1-k)^2 \lambda^2 x^2}{2!} + \dots \right) = m_0 e^{-\lambda x} e^{(1-k)\lambda x} = m_0 e^{-k\lambda x} = m_0 e^{-\frac{kx}{a}}$$

При выводе закона движения центра масс предположим, что изменение скорости движения при соударениях можно смоделировать наличием сопротивления среды, пропорциональным первой степени относительной скорости. Тогда проекция уравнения движения на ось  $OX$  примет вид:

$$m \frac{dV_x}{dt} = -CV_x \quad (4)$$

где  $V_x$  — проекция скорости по оси  $OX$ ;

$C$  — коэффициент сопротивления.

Хотя консервант в процессе движения теряет часть массы, использование уравнения движения И. В. Мещерского не правомерно, т.к. при потере массы на столкновение не происходит передача количества движения оставшейся массе.

Сопротивление среды движущейся массе консерванта зависит не только от скорости движения, но и от плотности кормового потока. Плотность потока можно охарактеризовать структурным параметром  $a$ . Чем больше  $a$ , тем меньше сопротивление. Если же,  $a \rightarrow 0$ , то сопротивление растет до бесконечности, поэтому можно принять, что

$$C = b/a^n,$$

где  $b$  и  $n$  — постоянные.

На основе сравнения теоретических зависимостей с опытными данными принято  $n = 2$ ,  $b = 10^8$ , т.е.  $C = b/a^2$ .

Перепишем уравнение (4) при начальном условии  $V_x(0) = V_0$  в виде

$$dV_x = -\frac{b}{a^2 m_0} e^{\frac{kx}{a}} V_x dt.$$

Так как  $V_x = dx / dt$ , то оно примет вид

$$dV_x = -\frac{b}{a^2 m_0} e^{\frac{kx}{a}} dx.$$

Переменные здесь разделены, и его можно проинтегрировать по  $X$  от 0 до  $X$ , по  $V_x$  от  $V_0$  до  $V$

$$V_x - V_0 = \frac{b}{kam_0} (1 - e^{\frac{kx}{a}}).$$

Запишем его в виде

$$V_x = \frac{V_0 kam_0 + b}{kam_0} - \frac{b}{kam_0} e^{\frac{kx}{a}}. \quad (5)$$

Пусть  $D = \frac{V_0 kam_0 + b}{kam_0}$ ;  $E = \frac{b}{kam_0}$ .

Поскольку  $V_x = dx / dt$ , получим

$$\frac{dx}{D - E e^{\frac{kx}{a}}} = dt \quad \text{или} \quad \frac{e^{\frac{kx}{a}} dx}{D e^{\frac{kx}{a}} - E} = dt.$$

Переменные разделены, и выражение можно интегрировать по  $t$  от 0 до  $t$ , по  $X$  от 0 до  $X$ . После интегрирования получим:

$$\ln \frac{D e^{\frac{kx}{a}} - E}{D - E} = -\frac{kD}{a} t \quad \text{или} \quad \frac{D e^{\frac{kx}{a}} - E}{D - E} = e^{-\frac{kD}{a} t}.$$

Обозначим  $A = \frac{kD}{a}$  и найдем  $X$

$$X = \frac{a}{k} \ln \frac{D}{E + (D - E)e^{-At}}.$$

Введем обозначение  $W = \frac{D - E}{E} = \frac{D}{E} - 1$ , тогда

$$X = \frac{a}{k} \ln \frac{1 + W}{1 + W e^{-At}}. \quad (6)$$

При этом

$$W = \frac{V_0 k a m_0 + b - b}{k a m_0} \cdot \frac{k a m_0}{b} = \frac{V_0 k a m_0}{b} = 0,5 k d^2 \rho V_0^2 a \cdot 10^3$$

$$A = \frac{k}{a} (W + 1) E = \frac{b}{a^2 m_0} (1 + W)$$

Если в формуле (6)  $t$  стремится к бесконечности, то получим предельное значение  $X$ , которое равно максимальной глубине проникновения струи консерванта

$$L = \frac{a}{k} \ln(1 + W) \quad (7)$$

Для изучения величины сноса получим закон движения консерванта в проекции на ось  $OY$  из уравнения

$$m \frac{dVy}{dt} = -C(U - Vy)$$

Так как  $m = m_0 e^{-\frac{kx}{a}}$ , то, учитывая (6), находим

$$m = m_0 \frac{1 + W e^{-At}}{1 + W}, \text{ тогда}$$

$$\frac{dVy}{U - Vy} = \frac{C}{m_0} \frac{1 + W}{1 + W e^{-At}} dt$$

Интегрируя непосредственно и удовлетворяя начальному условию  $Vy = 0$  при  $t = 0$ , получим

$$Vy = U \left( 1 - \frac{1 + W}{W + e^{-At}} \right) \quad (8)$$

Поскольку  $Vy = dy/dt$ , то, интегрируя при условии  $y = 0$  при  $t = 0$

$$y = U \left( t - \frac{1 + W}{AW} \ln \frac{1 + W}{1 + W e^{-At}} \right) \quad (9)$$

В уравнении (6) второй член равен  $\frac{1}{V_0} x$ . Из этого уравнения находим

$$\frac{1 + W}{1 + W e^{-At}} = e^{\frac{kx}{a}} \quad \text{или} \quad e^{-At} = \frac{(1 + W) e^{\frac{kx}{a}} - 1}{W}, \text{ откуда}$$

$$t = \frac{1}{A} \ln \frac{W}{(1 + W) e^{\frac{kx}{a}} - 1}$$

Подставив значение  $t$  в выражение (9), получим

$$y = U \left( \frac{1}{A} \ln \frac{W}{(1+W)e^{\frac{kx}{a}} - 1} - \frac{x}{V_0} \right). \quad (10)$$

Определим параметры сопла распылителя ( $d_c$  и  $V_0$ ), обеспечивающие расход консерванта  $M$  на глубине проникновения  $X$  и величину сноса на этой глубине при заданном значении  $a$ .

Поскольку  $x \leq L$ , определим сначала параметры  $d$  и  $V_0$ , обеспечивающие глубину  $L$ , большую заданного  $X$ . Из уравнения (7) имеем

$$1 + W = e^{\frac{kL}{a}} \quad \text{или} \quad 0,5k\rho d^2 V_0^2 a \cdot 10^8 = e^{\frac{kL}{a}} - 1. \quad (11)$$

Из уравнений (1) и (2) по условию  $m(x) = M$  находим

$$0,5\rho d^2 V_0 = M e^{\frac{kx}{a}}. \quad (12)$$

Решая совместно уравнения (11) и (12) относительно  $d$  и  $V_0$ , находим

$$V_0 = \frac{e^{\frac{kL}{a}} - 1}{10^8 \cdot a \cdot M \cdot e^{\frac{kx}{a}} k}; \quad (13)$$

$$d = \sqrt{\frac{M \cdot e^{\frac{kx}{a}}}{0,5\rho V_0}}. \quad (14)$$

Зная  $V_0$ ,  $d$ ,  $U$ ,  $W$ ,  $m_0$  и  $A$  по выражению (10), рассчитываем величину сноса  $y$ .

Заметим, что до максимальной глубины проникновения консерванта доходит масса  $m(L)$ , равная (согласно выражений (3) и (7))

$$m(L) = m_0 e^{-\frac{kL}{a}} = \frac{m_0}{1+W}, \quad \text{что от начальной массы составляет}$$

долю  $1/(1+W)$ .

На основании вышеизложенного можно построить графические зависимости  $m(x)/m_0$  и  $y(x)$ , приведенные на рисунках 1 и 2. В первом случае расчёт выполнен для  $a = 0,01$  м, во втором - для  $a = 0,02$  м.

На этих рисунках ось  $OX$  - направление проникновения консерванта - направлена горизонтально. Вверх от нее откладывается снос  $y(x)$ .

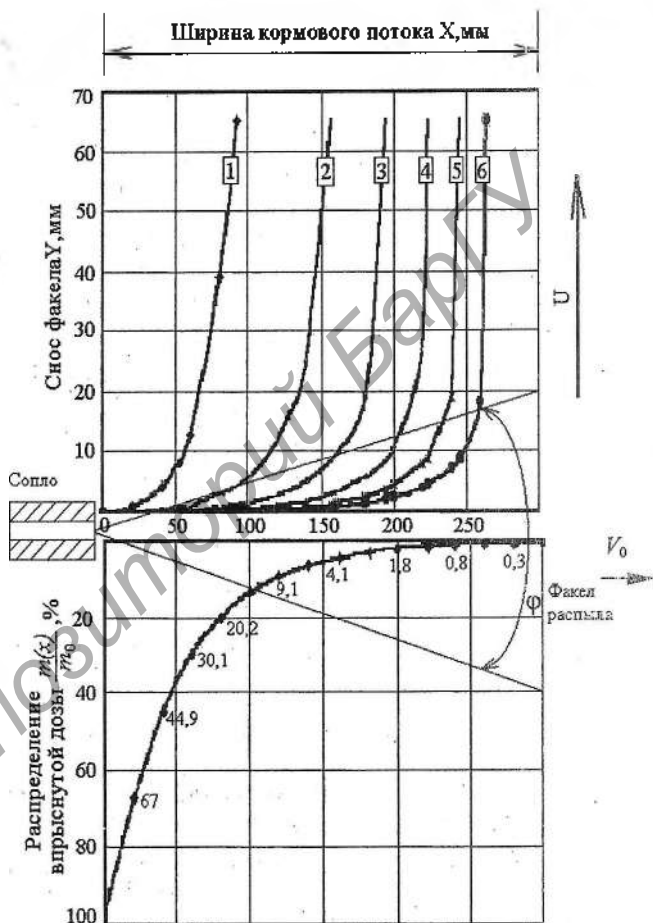


Рис. 1. Номограмма для определения ширины кормопровода  $X$  с учетом сноса струи и распределения дозы по глубине проникновения ( $d = 0,0015$  м;  $\alpha = 0,01$  м). 1 -  $V_0 = 5$  м/с; 2 -  $V_0 = 10$  м/с; 3 -  $V_0 = 15$  м/с; 4 -  $V_0 = 20$  м/с; 5 -  $V_0 = 5$  м/с; 6 -  $V_0 = 25$  м/с; 7 -  $V_0 = 30$  м/с.

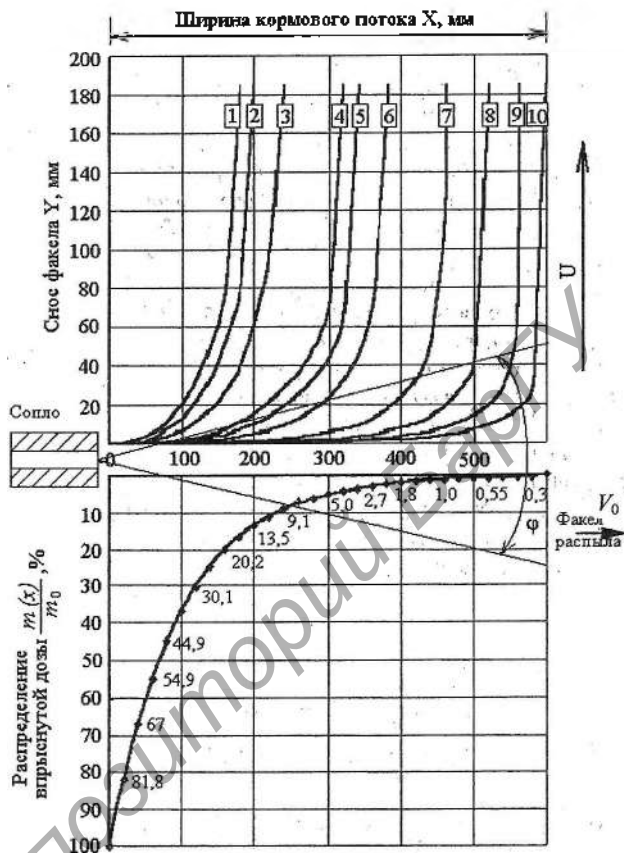


Рис. 2. Номограмма для определения ширины кормопровода  $X$  с учетом сноса струи и распределения дозы по глубине проникновения ( $d = 0,0015$  м;  $a = 0,02$  м).  
 1 -  $V_0 = 5$  м/с,  $U = 15$  м/с; 2 -  $V_0 = 5$  м/с,  $U = 10$  м/с; 3 -  $V_0 = 5$  м/с,  $U = 5$  м/с; 4 -  $V_0 = 10$  м/с,  $U = 15$  м/с; 5 -  $V_0 = 10$  м/с,  $U = 10$  м/с; 6 -  $V_0 = 10$  м/с,  $U = 5$  м/с; 7 -  $V_0 = 15$  м/с,  $U = 5$  м/с; 8 -  $V_0 = 20$  м/с,  $U = 5$  м/с; 9 -  $V_0 = 25$  м/с,  $U = 5$  м/с; 10 -  $V_0 = 30$  м/с,  $U = 5$  м/с.

Графики сноса рассчитаны для различных значений  $V_0$  и  $U$ . В нижней части номограммы расположен график  $m(x) / m_0$  в процентах от впрыснутой дозы консерванта. Вертикальные линии отмечают значение  $L$  (максимальная глубина проникновения) для раз-

личных  $V_0$ , указанных в правом столбике. Рядом в столбике приведены значения  $m_0$  для этих  $V_0$  и  $d = 0,0015$  м.

При  $a = 0,02$  пользуются графиком (2). Пусть нас интересует глубина  $x = 400$  мм. Чтобы струя достигла этой глубины, следует взять  $V_0 > 10$  м/с. Видно, что при  $x = 400$   $m(x) / m_0$  составляет примерно 2%. Если мы выберем  $V_0 = 15$  м/с, то расход консерванта на глубине 40 см составит 2% от 16,78, т.е.  $0,33$  см<sup>3</sup>/с. Если требуется большая доза, следует взять большее значение  $V_0$  (или больший диаметр распылителя). При  $V_0 = 20$  м/с 2% от 22,5 составит  $0,45$  см<sup>3</sup>/с. Из точки оси абсцисс  $x = 400$  мм проведём вертикаль до пересечения с кривой сноса (например, при  $U = 5$  м/с). Из полученной точки проведём горизонталь до пересечения с осью ОУ, найдём, что снос равен  $y \approx 8$  мм. Аналогично дан анализ глубины  $x = 180$  мм. При этом выбрана скорость  $V_0 = 10$  м/с и  $U = 15$  м/с. Так как при  $x = 180$   $m(x) / m_0 = 16$  и  $m_0 = (V_0 = 10) = 11,25$ , то  $m(x = 180) = 1,8$  см<sup>3</sup>/с. Снос при  $U = 15$  м/с равен 1 см.

Зная параметры зоны обработки, можно определить количество распылителей, расстояние между ними, напор и др. с учетом скорости и плотности кормового потока, что повысит равномерность распределения консерванта в кормовом потоке и в конечном итоге качество силоса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмицкий А. В., Дремук В. А. Внутривъёмное внесение жидких консервантов смесителем-разравнивателем при силосовании кормов в траншейных силосохранилищах: Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники // Тез. докл. науч. конф. Горки, 10 - 12 нояб. 1998 г. / Мин. с.-х. и прод. Респ. Беларусь. Белорус. с.-х. акад.— Горки, 1998.— Часть 2 — С. 34 — 41.
2. Кузьмицкий А. В., Назаров А. И. К расчёту параметров зоны внутривъёмной обработки растительной массы жидкими консервантами: Эксплуатация, ремонт и восстановление сельскохозяйственной техники // Тез. докл. науч. конф. Горки, 24-28 июня 1997 г. / Мин. сел. х-ва и прод. Респ. Беларусь. Белорус. с.-х. акад.— Горки, 1997.— С. 192 — 194.

В. Е. КРУГЛЕНЯ,  
канд. техн. наук;  
А. С. АЛЕКСЕЕНКО,  
инженер

### МОДЕРНИЗАЦИЯ ВЫГРУЗНОГО УСТРОЙСТВА СУШИЛКИ СКМ-1

Наиболее ответственным звеном в технологической схеме послеуборочной обработки льняного вороха является сушка. Для этих целей применяются широко распространенные противоточные ка-