

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ КОНСЕРВАНТОВ НА КОРМОУБОРОЧНОМ КОМБАЙНЕ

А.В. Кузьмицкий, докт. техн. наук, П.В. Авраменко, ассистент (БГАТУ)

Аннотация

В статье представлена методика расчета технологических параметров процесса внесения консервантов в пневмокормовой поток измельченной растительной массы на кормоуборочном комбайне, с обоснованием способа и места дозирования.

The method of calculating the technological parameters for the application of conservants into the pneumofodder flow of the crushed plant paste in a forage harvester, the substantiation of the way and location of the dosage are cited in this article.

Введение

Как показывает производственный опыт, эффективность применения консервантов практически полностью определяется качеством их внесения, т.е. равномерностью распределения в растительном материале и соблюдением дозировки, что, в свою очередь, предъявляет жесткие требования к технологии и конструкции применяемого оборудования [1, с. 187].

Внесение консервантов на кормоуборочных комбайнах имеет ряд своих особенностей: наличие

трехкомпонентного потока (воздушный поток, поток измельченного растительного материала, поток жидкого мелкодисперсного распыленного консерванта); высокие значения пористости измельченного растительного материала; впрыск консерванта в пневмокормовой поток исключает его локальное внесение; комбинированная схема выгрузки измельченного растительного материала с использованием, как энергии выброса, так и энергии воздушного потока.

Основной проблемой остается равномерное распределение мелкодисперсного консерванта по всей поверхности частиц измельченного растительного материала, а также обоснование места и способа внесения.

Основная часть

В соответствии с проведенными исследованиями, наиболее перспективным следует считать внутриобъемный способ внесения консервантов [2, с. 14-19]. На кормоуборочном комбайне данный способ может реализовываться в следующих вариантах:

– внутриобъемное внесение в процессе измельчения. В данном случае консервант подается в камеру измельчения, где смешивается с растительным материалом;

– внутриобъемное внесение в пневмокормовой поток измельченной растительной массы на силосопроводе, когда распылитель находится внутри растительной массы или близко к его поверхности.

Но так как консервант вносят в пневмокормовой поток измельченной растительной массы, происходят потери рабочего раствора на выдувание.

С целью снижения потерь и неравномерности внесения консервантов был предложен электростатический способ [3], т.е. внутриобъемное внесение в пневмокормовой поток измельченной растительной массы на силосопроводе с электростатической зарядкой консерванта. Данный способ был разработан в Белорусском государственном аграрном техническом университете на кафедре «Сельскохозяйственные машины» (рис.1).

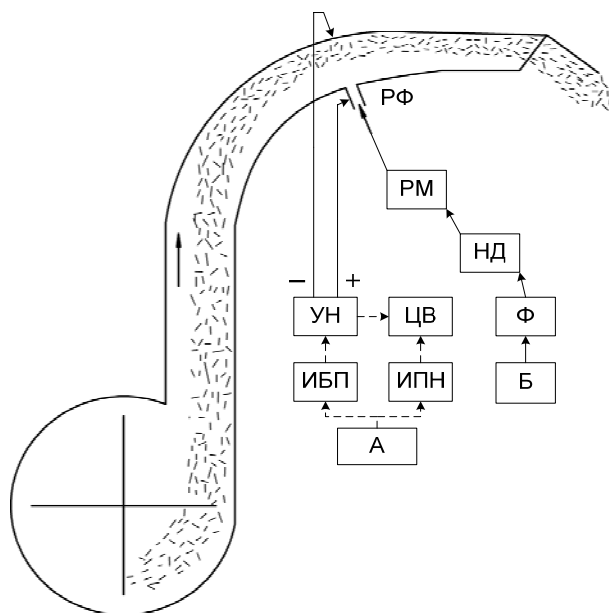


Рисунок 1. Электростатический способ внесения жидких консервантов:

УН – умножитель напряжения; ЦВ – цифровой вольтметр; ИПН – инверторный преобразователь напряжения; ИБП – инверторный блок питания; А – аккумулятор; РФ – распылительная форсунка; РМ – ротаметр; НД – насос-дозатор; Ф – фильтр; Б – бак

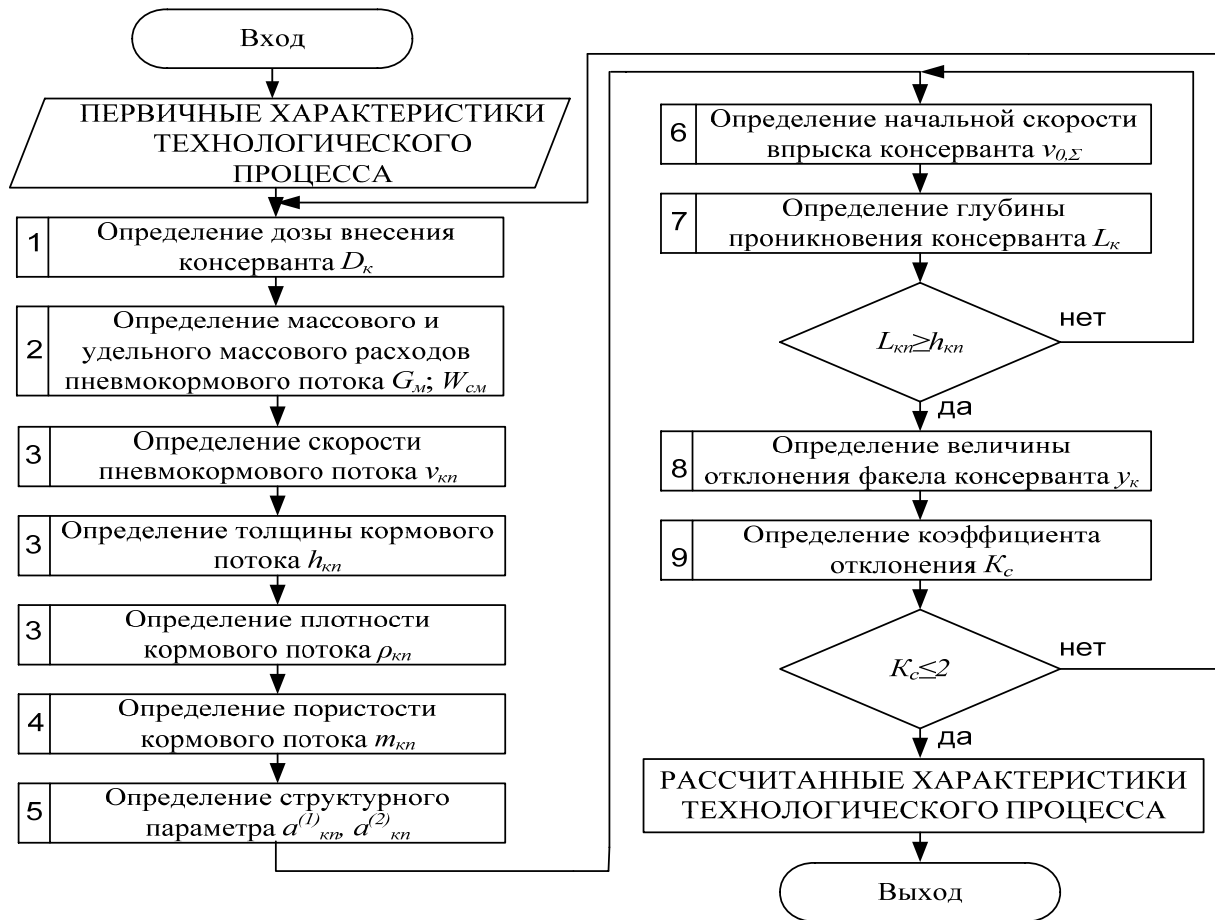


Рисунок 2. Алгоритм расчета технологических параметров внесения консерванта в силосопровод кормоуборочного комбайна

Таким образом, для обоснования места дозирования авторами была разработана методика расчета технологических параметров внесения консерванта в силосопровод кормоуборочного комбайна, алгоритм которой представлен на рис. 2.

На входе алгоритма имеем первичные характеристики технологического процесса. К таким характеристикам относятся: масса загруженной травы, контрольное время погрузки, норма внесения консервантов, параметры силосопровода, напряжение электростатической зарядки.

1 этап. Согласно алгоритму, расчет начинается с определения дозы внесения консерванта D_k по формуле [4, с. 92]:

$$D_k = \Pi_k \cdot H_k, \quad (1)$$

где Π_k – производительность комбайна, т/мин;

D_k – доза внесения консерванта, л/мин;

H_k – расчетная норма внесения консерванта, л/т.

2 этап. После этого определяют массовый и удельный массовый расходы (G_m ; W_{cm}) пневмокормового потока по формулам [1, с. 188; 5, с. 52]:

$$G_m = 16,67 \cdot \Pi_k \quad \text{и} \quad W_{cm} = G_m / S_c, \quad (2)$$

где S_c – поперечное сечение силосопровода, м.

3 этап. Следующим этапом является определение плотности кормового потока, которую рассчитывают по формуле [5, с. 52; 6, с. 312–313]:

$$\rho_{kp} = G_m / v_{kp} \cdot S_{kp} = G_m / v_{kp} \cdot b_{kp} \cdot h_{kp}, \quad (3)$$

где v_{kp} – скорость движения пневмокормового потока, м/с;

b_{kp} – ширина кормового потока, м;

h_{kp} – толщина кормового потока, м.

Определив в начале методики массовый расход G_m , необходимо также рассчитать скорость v_{kp} и площадь S_{kp} поперечного сечения кормового потока (толщина и ширина кормового потока b_{kp} , h_{kp}).

Скорость движения кормового потока v_{kp} принимается согласно расчетным и экспериментальным данным [7, с. 331; 8, с.].

Ширину кормового потока b_{kp} принимают равной ширине силосопровода b_c . Толщину кормового потока h_{kp} находят, учитывая коэффициент заполнения силосопровода $K_{зан}$, характеризующий степень насыщения объема силосопровода кормовым потоком [9, с. 333], по формуле:

$$h_{кн} = h_c \cdot K_{зан} \quad (4)$$

Дополнительно также рассчитывается расстояние от распылителя до кормового слоя h_p (рис. 3), которое принимается постоянным и определяется по формуле:

$$h_p = (b_c/2)/tg(\alpha/2), \quad (5)$$

где α – угол факела распыла, град.

4 этап. Рассчитаем пористость $m_{кн}$, как главную технологическую характеристику транспортируемого материала исходя из того, что это отношение массы пневмокормового потока в единичном объеме $p_{кн}$ к плотности собственного вещества растений $p_в$, вычитаемой из единицы, [2, с. 20] производится по формуле:

$$m_{кн} = (1 - \rho_{кн}/\rho_в), \quad (6)$$

где $\rho_в$ – плотность собственного вещества растений, кг/м³.

5 этап. При моделировании измельченного растительного материала использовалась структурная модель, элементы которой имеют форму прямого кругового цилиндра с диаметром основания $d_{ср}$, соответствующим некоторому среднему диаметру частиц [2, с. 25].

Данная пространственная модель позволяет выделить его важное структурное свойство: минимальное расстояние между частицами в заданном направлении или среднее расстояние между плоскостями, в которых находятся частицы, называется структурным параметром материала a .

Рассчитаем структурный параметр пневмокормового потока $a_{кн}^{(1)}$ в зависимости от его плотности $\rho_{кн}$ и среднего диаметра частиц $d_{ср}$ по формуле:

$$a_{кн}^{(1)} = 0,77 \cdot d_{ср} \cdot (1 - m_{кн})^{-0,5}. \quad (7)$$

Так же рассчитаем структурный параметр $a_{кн}^{(2)}$ в зависимости от среднего диаметра частицы $d_{ср}$ и средней длины резки $l_{ср}$ [2, с. 33]:

$$a_{кн}^{(2)} = 0,77 \cdot d_{ср} \cdot (1,18 \cdot d_{ср}/l_{ср} \cdot \cos \alpha)^{-0,5}, \quad (8)$$

где α – угол отклонения единичного элемента, определяемый по формуле:

$$\cos \alpha = \left(1 + \left(1 - 2 \cdot d_{ср}/l_{ср}\right)^2\right)^{0,5}.$$

Сравнивая $a_{кн}^{(1)}$ и $a_{кн}^{(2)}$ для дальнейших расчетов, выбираем наименьшее значение.

6 этап. Для расчета начальной скорости впрыска предварительно необходимо подобрать размер распылителя по табличным данным производителя [10], основываясь на расчетной дозе внесения консерванта D_k и давлении впрыска P_k .

После этого определим начальную скорость инерционного впрыска консерванта $v_{0,k}$ по формуле [11, с. 174]:

$$v_{0,k} = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P_k / \rho_k}, \quad (9)$$

где ΔP_k – перепад давления консерванта на распылителе, Па;

ρ_k – плотность консерванта, кг/м³;

μ – коэффициент расхода сопла.

При использовании электростатической зарядки консерванта будем считать, что дополнительная скорость заряженных частиц $v_э$, в этом случае будет определяться только кулоновскими силами, т.е. [12]:

$$v_{э,к} = EB, \quad (10)$$

где B – электрическая подвижность частиц, м²/В·с;

E – напряженность электрического поля (при расчете напряженности выбор напряжения электростатической зарядки производится согласно полученным экспериментальным данным по рис. 3) [13], В/м.

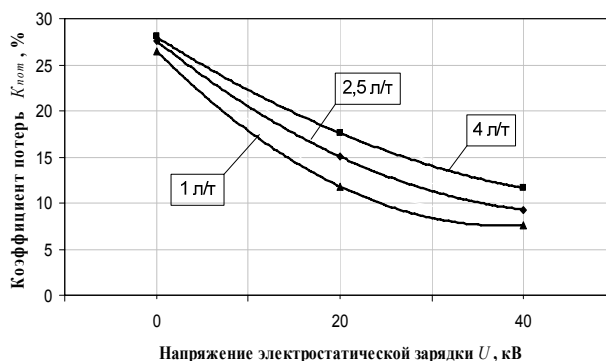


Рисунок 3. Зависимость коэффициента потерь консерванта $K_{пот}$ от напряжения электростатической зарядки U_k и дозы внесения консерванта Q_k

Тогда, начальная скорость впрыска консерванта будет рассчитываться по формуле [14]:

$$v_{0,\Sigma} = v_{0,k} + v_{э,к}. \quad (11)$$

7 этап. Учитывая, что массовая скорость пневмокормового потока влияет на параметры струи, а следовательно, и на характер проникновения консерванта, необходимо рассчитать глубину проникновения консерванта L_k , отклонение факела консерванта пневмокормовым потоком u_c и коэффициент отклонения K_c .

Определение глубины проникновения при электростатической зарядке консерванта производится по формуле [15]:

$$L_k = (a/k) \cdot \ln(1+W), \text{ при условии, что } L_k \geq h_{кн}, \quad (12)$$

где $W = 0,5 \cdot k \cdot d_p^2 \cdot p_k \cdot v_{0,\Sigma}^2 \cdot a \cdot 10^8$;

d_p – диаметр распылителя, м.

Если глубина проникновения консерванта L_k меньше толщины кормового потока $h_{кн}$, тогда необходимо увеличить скорость проникновения консерванта, изменяя давление впрыска. Однако необходимо знать, что увеличение давления впрыска возможно до определенных пределов (5-8 атм.), так как при увеличении энергоёмкости факела распыла происходит пробой пневмокормового потока и консервант

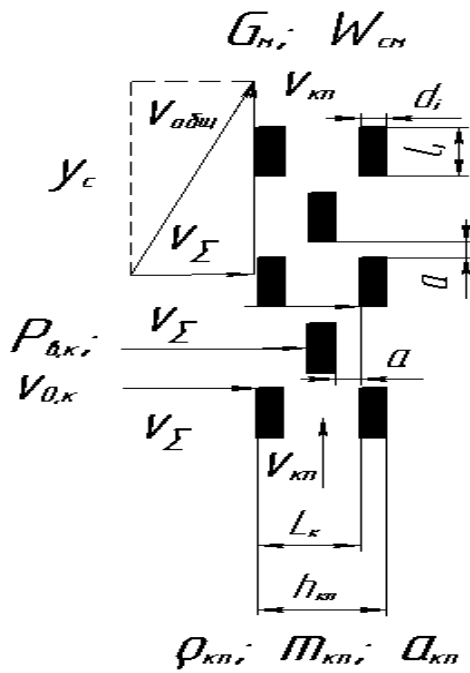


Рисунок 4. Расчетная схема основных параметров впрыска консерванта в кормовой поток

плохо проникает в измельченный растительный материал, что резко снижает равномерность обработки.

8 этап. Определим по формуле величину отклонения факела консерванта y_c [15]:

$$y_c = v_{кп} \cdot \left(\frac{(1/A) \cdot \ln(W/(1+W)) \cdot e^{-k \cdot L_k/a_{кп}} - 1}{-L_k/v_{0,\Sigma}} \right), \quad (13)$$

где $A = (b/a_{кп}^2 \cdot m_0) \cdot (1+W)$ и

$$m_0 = 0,5 \cdot \rho_k \cdot d_p^2 \cdot v_{0,\Sigma}$$

9 этап. Для снижения влияния пневмокормового потока на характер проникновения рабочей жидкости, рассчитаем коэффициент отклонения факела консерванта K_c по формуле [1, с. 207]:

$$K_c = y_c / L_k, \text{ при условии, что } K_c \leq 2. \quad (14)$$

Если коэффициент отклонения K_c более 2, тогда необходимо увеличить дозу внесения консерванта в пределах, рекомендуемых производителем консерванта.

В случае недостаточности и предела изменения дозы внесения для условия $K_c \leq 2$, необходимо увеличить глубину проникновения консерванта, или изменить место установки распылителя в сторону уменьшения скорости транспортирования (скорость пневмокормового потока по длине силосопровода уменьшается).

На основании представленных выше теоретических положений, произведем расчет технологических параметров процесса внесения консервантов на кормоуборочном комбайне КВК-800 в выбранной точке (рис. 1). Расчет представлен в табл. 1.

Расчет показал правильность выбора места дозированного внесения консервантов.

На основании предложенной методики в течение 2009 г. в РУП «Экспериментальная база «Жодино» была проведена производственная проверка оборудования ВП-40 для внесения консервантов в силосопровод кормоуборочного комбайна, с закладкой траншейного силосохранилища емкостью 2285 т. Результаты анализов проб заготовленного корма показали, что получен силос первого класса с содержанием 0,15 кормовых единиц в 1 т силоса.

Заключение

Расчет основных технологических параметров процесса внесения консервантов является аналитическим методом оценки, на основании которого, при выбранном способе внесения, обосновывается место впрыска консерванта.

Необходимо отметить, что при инерционном внесении консерванта выбор распылителя ограничивается размерами капель от 300 до 500 мкм (крупно-

Таблица 1. Расчет технологических параметров процесса внесения консервантов

Наименование показателя	Обозначения	Ед. изм.	КВК-800
1	2	3	4
Производительность	P_k	т/ч	130
Производительность	P_k	т/мин	2,17
Норма внесения консерванта	H_k	л/т	3
Доза внесения консерванта	D_k	л/мин	6,5
Массовый расход	G_m	кг/с	36,12
Ширина силосопровода	b_c	м	0,31
Высота силосопровода	h_c	м	0,17
Площадь поперечного сечения силосопровода	S_c	м ²	0,053
Удельный массовый расход	W_{cm}	кг/с·м ²	685,36
Ширина кормового потока	$b_{кп}$	м	0,31
Коэффициент заполнения	$K_{зап}$	—	0,5
Толщина кормового потока	$h_{кп}$	м	0,085
Скорость кормового потока	$v_{кп}$	м/с	40
Плотность кормового потока	$\rho_{кп}$	кг/м ³	34,27
Плотность собственного вещества растений	ρ_v	кг/м ³	1080
Пористость кормового потока	$m_{кп}$	—	0,97
Средний диаметр частиц	$d_{ср}$	м	0,003
Структурный параметр	$a_{кп}$	м	0,013
Коэффициент расхода сопла	μ	—	0,7
Плотность консерванта	ρ_k	кг/м ³	1219
Перепад давления консерванта на распылителе	ΔP_k	Па	$4 \cdot 10^5$
Начальная инерционная скорость	$v_{0,к}$	м/с	17,93
Угол факела распыления	α	град.	95
Высота установки распылителя	$h_{ф}$	м	0,14
Напряжение электростатической зарядки	U_k	В	$4 \cdot 10^4$

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4
Расстояние от форсунки до кормового потока	l	м	0,14
Напряженность электрического поля	E	В/м	$2,86 \cdot 10^5$
Электрическая подвижность частиц	B	$м^2/В \cdot с$	$0,27 \cdot 10^{-5}$
Электростатическая скорость	$v_{э,к}$	м/с	0,77
Суммарная скорость	$v_{0,с}$	м/с	18,70
Коэффициент	k	–	1,84
Параметр	W	–	1144601,6
Глубина проникновения консерванта	L_k	м	0,098
Постоянная e	e	–	2,718
Постоянная	b	–	$1 \cdot 10^{-8}$
Диаметр сопла распылителя	d_p	м	0,0015
Массовый расход консерванта	m_0	кг/с	0,0256
Параметр	A	–	2653,6
Величина сноса консерванта	y_c	м	0,195
Коэффициент сноса консерванта	K_c	–	1,98

капельное распыливание). Применение электростатического способа внесения консервантов позволяет увеличить диапазон допустимого минимального диаметра при распылении и использовать стандартные щелевые распылительные форсунки, так как снижаются потери мелких капель и увеличивается проникающая способность факела, как за счет применения электростатической зарядки, так и за счет использования более мелких капель при внесении.

ЛИТЕРАТУРА

- Кузьмицкий, А.В. Механико-технологические основы внесения консервантов в силосуемые корма: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.20.01 / А.В. Кузьмицкий. – Горки, 2001. – 380 л.
- Кузьмицкий, А.В. Механико-технологические основы консервирования стебельчатых кормов / А.В. Кузьмицкий. – Горки, 1999. – 80 с.
- Способ внесения жидких консервантов в измельченную растительную массу в кормоуборочном комбайне и устройство для его осуществления: пат. 12378 Респ. Беларусь, МПК А 23К 3/00 / А.В. Кузьмицкий, П.В. Авраменко, И.М. Лабоцкий, А.Л. Зиновенко; заявитель Бел. гос. аграрный технический университет. – № а 20061344; заявл. 27.12.2006; опубл. 30.10.2009 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 5. – С. 42.
- Ясинкас, А. А. Совершенствование технологии и средств механизации химического консервирования трав: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.А. Ясинкас. – Елгава, 1988. – 161 с.
- Зуев, Ф.Г. Пневматическое транспортирование на сельскохозяйственных предприятиях / Ф.Г. Зуев. – М: Колос, 1976. – 344 с.

6. Особов, В.И. Механическая технология кормов / В.И. Особов. – Москва: Колос, 2009. – 344 с.

7. Вырский, А.Н. Компьютерное моделирование движения воздушных потоков и технологической массы в транспортирующих органах кормоуборочного комбайна «Полесье-800» / А.Н. Вырский, А.М. Крот, Е.Б. Минервина, В.А. Пигенко, П.П. Ткачева // Сельскохозяйственные машины для уборки зерновых культур, кормов и корнеклубнеплодов. Состояние, тенденции и направление развития: мат. междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22–23 мая 2007 г. / РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике»; редкол.: В.А. Смуругов [и др.]. – Гомель, 2007. – С. 236–240.

8. Дюжев, А.А. Опыт применения новых методов компьютерного моделирования в процессе проектирования сельскохозяйственных машин / А.А. Дюжев, В.А. Пигенко, А.Н. Вырский // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию со дня образования ИМСХ АН БССР, Минск, 17–19 октября 2007 г.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; редкол.: В.Н. Дашков [и др.]. – Минск, 2007. – Т. 2. – С. 8–12.

9. Резник, Н.Е. Кормоуборочные комбайны / Н.Е. Резник. – Москва: Машиностроение, 1980. – 375 с.

10. Каталог 50-RU // Спреинг Системс Ко. [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://www.teejet.com/russian/home/literature/catalog.aspx>. – Дата доступа: 25.05.2010.

11. Витман, Л.А. Распыливание жидкости форсунками / Л.А. Витман, Б.Д. Кацнельсон, И.И. Пантелеев. – Москва: Гос. энерго. из-во, 1962. – 264 с.

12. Мкртумян, А. В. Электроаэрозольная обработка животноводческих помещений: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.02 / А.В. Мкртумян. – Москва, 1987. – 199 л.

13. Авраменко, П.В. Результаты внесения химического консерванта на кормоуборочном комбайне с высокой пропускной способностью / П.В. Авраменко // Современная сельскохозяйственная техника: исследование, проектирование, применение: материалы Международной научно-практ. конф., Минск, 26–28 мая 2010 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т; под ред.: В.Н. Дашков [и др.]. – Минск, 2010. – Ч. 1. – С. 122–124.

14. Кузьмицкий, А.В. Применение электростатического поля при внесении жидких консервантов в силосопровод кормоуборочных машин / А.В. Кузьмицкий, П.В. Авраменко, И.М. Лабоцкий, П.В. Яровенко // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию со дня образования ИМСХ АН БССР, Минск, 17–19 октября 2007 г.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; редкол.: под ред. В.Н. Дашков [и др.]. – Минск, 2007. – Т. 2. – С. 50–53.

15. Кузьмицкий, А.В. Моделирование процесса внесения жидких консервантов в кормовой поток / А.В. Кузьмицкий, П.В. Авраменко // Агропанорама. – 2006. – № 5. – С. 4–7.