

(ЦНИИМЭСХ. Мн.: Сельхозгиз БССР, 1963, т. 10);

Износ деталей сельскохозяйственных машин (Л.: Колос, Ленинградское отд., 1972);

Опыт и проблемы аграрно-промышленного кооперирования (М.: Экономика, 1975);

Механическое обезвоживание и термическая сушка высоковлажных кормов (М.: Колос, 1980);

Хранение сельскохозяйственной техники (Мн.: Ураджай, 1980);

Работоспособность и сохранность сельскохозяйственной техники (Мн.: Ураджай, 1980);

Энергосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве (М.: 1992; Мн.: Ураджай, 1994) и др.

Под редакцией академика М.М. Севернева вышло более 50 сборников трудов, монографий и тематических сборников. Высокий уровень технических решений, базирующихся на результатах проводимых исследований, подтверждаются более 35 авторских свидетельств на изобретения и патенты. Свыше 50 работ академика М.М. Севернева отражены в базе литературных данных ФАО «Agrisch». Фундаментальные исследования по изнашивающей способности сред, типичных для работы сельскохозяйственных машин, износостойкости материалов, расчет машин на долговечность переведены на английский язык и изданы в Индии в 1985 году. В настоящее время право на издание этой монографии приобрело голландское издательство русской переводной академической литературы.

Вместе с тем, несмотря на постоянную занятость научной и общественной работой, профессор М.М. Севернев ведет плодотворную педагогическую деятельность и продолжает работу по подготовке аспирантов.

Академик М.М. Севернев является известным

государственным деятелем Беларуси. Он был членом Президиума Совета Министров Беларуси, заместителем председателя Совета Министров, избирался в 1971 и 1975 годах в состав Верховного Совета БССР, где руководил работой постоянной депутатской комиссии по сельскому хозяйству, долгие годы возглавлял Белорусское отделение общества индийско-советской дружбы.

Кроме боевых наград, полученных в годы войны, Михаил Максимович Севернев за высокие достижения коллектива института и личный творческий вклад в развитие сельскохозяйственной инженерной науки награжден орденами: Октябрьской Революции, двумя – Трудового Красного Знамени, «Знак Почета» и медалями, а также 4 Почетными грамотами Верховного Совета Белорусской ССР. К 80-летию со дня рождения М.М. Севернев был награжден медалью Ф. Скорины.

Всю свою жизнь академик, доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии БССР Михаил Максимович Севернев посвятил развитию инженерной сельскохозяйственной науки. В период создания Академии аграрных наук Республики Беларусь академик М.М. Севернев был избран ее вице-президентом.

Сегодня его имя, его работы, его школа широко известны в республике и за рубежом. Свой 85-летний юбилей он встречает в полном расцвете творческих сил и возможностей, занимая достойное место среди крупных деятелей сельскохозяйственной науки.

**Директор РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси»
доктор технических наук
В.Н. Дашков**

УДК 636.085.62

ПОСТУПИЛА 16.05.2006

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ КОНСЕРВАНТОВ В КОРМОВОЙ ПОТОК

А.В. Кузьмицкий, докт. техн. наук, доцент, П.В. Авраменко, аспирант (УО БГАТУ);

В.А. Дремук, канд. техн. наук, доцент, И.И. Гурков, ассистент (УО БГСХА)

Аннотация

Показана стохастическая модель процесса внесения жидких консервантов в кормовой поток. В результате теоретических исследований получено уравнение кривой сноса жидкого консерванта в силосопроводе.

Введение

Создание прочной кормовой базы для животноводства является актуальной задачей сельскохозяйственного производства. Одним из способов получения высококачественного корма является заготовка силоса с консервантами.

Этот способ направлен на сохранение до 95% 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.

Основная часть

В соответствии с проведёнными исследованиями наиболее перспективным следует считать внутриобъёмный способ внесения консервантов [1]. Для реализации этого способа многие зарубежные изготовители устанавливают оборудование для внесения консервантов непосредственно на кормоуборочных комбайнах. В частности, фирма CLAAS комплектует самоходные измельчители JAGUAR серии 830-900 дополнительным баком для консерванта емкостью 410 л. Подача консерванта осуществляется через всасывающее отверстие ускорителя измельчённой массы. Изменение количества подаваемого консерванта производится сменными распылителями оранжевого (18 л/ч), жёлтого (28 л/ч), голубого (43 л/ч) и красного (58 л/ч) цветов в зависимости от максимальной производительности измельчителя в пределах от 70 до 230 т/ч.

Учитывая, что скорость кормового потока после ускорителя достигает 68 м/с, время нахождения растительной массы в кормопроводе не превышает 0,1...0,12 с. При таком коротком временном интервале консервант не успевает впитаться растительной массой и значительная его часть выносится воздушным потоком в атмосферу. Потери консерванта вследствие выдувания могут достигать 30 % и более [2].

С целью снижения потерь и повышения равномерности распределения консерванта необходимо изучить процесс взаимодействия его с кормовым потоком и использовать полученную модель для практических расчётов и обоснования конструктивных и технологических параметров дозатора.

В основу теории положим вероятностную (стохастическую) модель распространения капель в поровом пространстве движущегося растительного материала, обладающего скоростью U , пористостью ε 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 (рис 1). 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 моделируем с учётом сопротивления среды.

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

$$m = \mu \frac{\pi d^2}{4} \rho V_0 = 0,5 \rho d^2 V_0, \text{ при } \mu = 0,65 \mu \frac{\pi}{4} \approx 0,5, \quad (1)$$

где ρ — плотность консерванта;

d — диаметр распылителя;

μ — коэффициент расхода распылителя.

Предположим, что столкновения частиц корма и капля 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 и в соответствии с законом Пуассона равна:

$$P_n(x) = \frac{(\lambda x)^n}{n!} e^{-\lambda x}, \quad (2)$$

где λ — 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 $(1 - k)m_0$ 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:

$$\begin{aligned} m(x) &= m_0 \left(e^{-\lambda x} + (1 - k) \lambda x e^{-\lambda x} + \frac{(1 - k)^2 (\lambda x)^2}{2!} e^{-\lambda x} + \dots \right) = \\ &= m_0 e^{-\lambda x} \left(1 + \frac{(1 - k) \lambda x}{1!} + \frac{(1 - k)^2 \lambda^2 x^2}{2!} + \dots \right) = \\ &= m_0 e^{-\lambda x} e^{(1 - k) \lambda x} = m_0 e^{-k \lambda x} = m_0 e^{-\frac{kx}{a}}. \end{aligned} \quad (3)$$

При выводе закона движения центра масс предположим, что изменение скорости движения при соударениях можно смоделировать наличием сопротивления среды, которое пропорционально 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.

Сопротивление среды движущейся массе консерванта зависит не только от скорости движения, но и от плотности кормового потока. Плотность потока можно охарактеризовать структурным параметром a , который равен средней длине свободного пробега капли [3]. Чем больше a , тем меньше сопротивление. Если же $a \rightarrow 0$, то

сопротивление растёт до бесконечности, поэтому можно принять, что

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

где b и n — постоянные.

На основе сравнения теоретических зависимостей с опытными данными принято $n \approx 2$, $b = 10^{-8} \left(\frac{\text{Кг} \cdot \text{М}^2}{\text{С}^2} \right)$, 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 выражение 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

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

Поскольку $V_x = dx / dt$, получим:

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

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

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

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

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:

$$W = \frac{V_0 kam_0 + b - b}{b} \cdot \frac{kam_0}{b} = \frac{V_0 kam_0}{b};$$

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

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 $X = \frac{a}{k} \ln \frac{1 + W}{1 + W e^{-At}}$, находим

$$m = m_0 \frac{1 + W e^{-At}}{1 + W}.$$

Тогда можно записать:

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

Интегрируя непосредственно с учётом начального условия $Vy = 0$ при $t = 0$, получим уравнение кривой сноса консерванта:

$$y = U \left(\frac{1}{A} \ln \frac{W}{(1 + W)e^{\frac{kx}{a}} - 1} - \frac{x}{V_0} \right). \quad (8)$$

Определим параметры сопла распылителя d 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 (7) имеем:

$$1 + W = e^{\frac{k}{a} L} \text{ или } 0,5k\rho d^2 V_0 a \cdot 10^8 = e^{\frac{k}{a} L} - 1. \quad (9)$$

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

$$0,5\rho d^2 V_0 = M e^{\frac{k}{a} x}. \quad (10)$$

Решая совместно уравнения (9) и (10) относительно d и V_0 , находим:

$$V_0 = \frac{e^{\frac{k}{a} L} - 1}{10^8 \cdot a \cdot M \cdot e^{\frac{k}{a} x} k}. \quad (11)$$

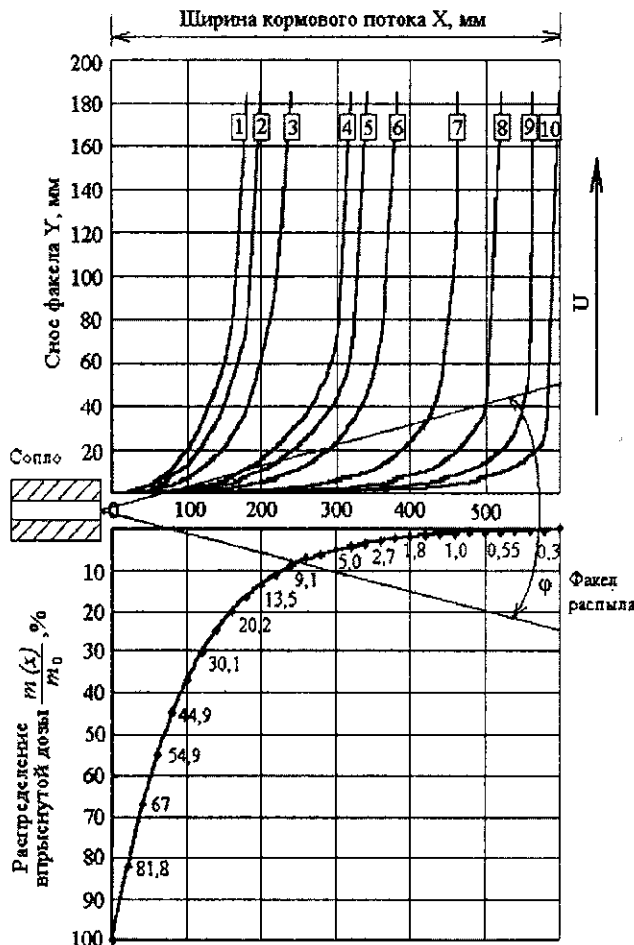


Рис. 1. Номограмма для определения глубины проникновения консерванта по ширине кормопровода X с учетом сноса струи (диаметр сопла $d = 0,0015$ м; величина структурного параметра растительного материала $a = 0,02$ м):

- 1, 2, 3 – $V_0 = 5$ м/с, при U соответственно 15, 10 и 5 м/с;
- 4, 5, 6 – $V_0 = 10$ м/с, при U соответственно 15, 10 и 5 м/с;
- 7 – $V_0 = 15$ м/с, при U = 5 м/с;
- 8 – $V_0 = 20$ м/с, при U = 5 м/с;
- 9 – $V_0 = 25$ м/с, при U = 5 м/с;
- 10 – $V_0 = 30$ м/с, при U = 5 м/с

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

Зная V_0 , d , U , W , и m_0 , по выражению (7) рассчитываем величину сноса y .

Заметим, что до максимальной глубины проникновения консерванта доходит масса $m(L)$, равная, согласно выражению (3):

$m(L) = m_0 e^{\frac{kL}{a}} = \frac{m_0}{1+W}$, 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 рис.1. Расчет выполнен для $a = 0,02$ м.

На рис.1 ось OX - направление проникновения консерванта - направлена горизонтально. Вверх от нее откладывается снос $y(x)$. 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. Кривые линии отмечают значение L (максимальная глубина проникновения) для различных V_0 .

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 400 мм составит 2%, т.е. $0,33$ см³/с от расхода $16,78$ см³/с на выходе из сопла при данной скорости. Если требуется большая доза, следует взять большее значение V_0 (или больший диаметр распылителя). При $V_0 = 20$ м/с - 2% от расхода $22,5$ см³/с на выходе из сопла при данной скорости составит $0,45$ см³/с. Из точки оси абсцисс $x = 400$ мм проведем вертикаль до пересечения с кривой сноса (например, при $U = 5$ м/с и $V_0 = 20$ м/с). Из полученной точки проведем горизонталь до пересечения с осью OY, находим, что снос равен $y \approx 8$ мм.

Вывод

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Сирвидис Й., Ясинкас А., Пашакарнис А. Оценка способов внесения консервантов в силосуемую траву. — Сб. тр. ЛитНИИМЭСХ. Совершенствование процессов кормопроизводства, 1988. — С. 3-13.
2. Кузьмицкий А.В. Инъекционное внесение жидких химических консервантов мобильным агрегатом при силосовании кормов: Автореф. дис. к.т.н. — Горки, 1987. — 17с.
3. Кузьмицкий А.В., Назаров А.И. К расчету параметров зоны внутриобъемной 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.