

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЫПУЧИХ КОНСЕРВАНТОВ С ПОРИСТЫМ РАСТИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОМ

В. А. ШАРШУНОВ, член-корр. ААН РБ, профессор; **А. В. КУЗЬМИЦКИЙ**, к.т.н.;
А. И. НАЗАРОВ к.т.н. (БСХА)

Важным технологическим приемом, обеспечивающим сохранность питательных веществ силосуемых кормов на уровне 90...95% является внесение консервантов. Сложность заключается в том, что применяемые консерванты значительно различаются не только по своим физико-механическим свойствам, но и по характеру взаимодействия с растительным материалом.

Так, известно, что жидкие консерванты при внесении впитываются (поглощаются) пористой структурой растительной массы [1]. Причем поглощающая способность стебельчатого материала значительно превышает необходимую для консервирования дозу [2], что приводит к неравномерному распределению консерванта и усложняет технологию внесения. Кроме того, жидкие консерванты, являясь в большинстве своем агрессивными химическими соединениями, оказывают отрицательное влияние на дорогостоящую кормоуборочную технику и обслуживающий персонал.

Значительным преимуществом в указанном аспекте обладают сыпучие консерванты (кристаллические, гранулированные, порошковидные) [3, 4]. После внесения частицы этих препаратов сохраняют в течение некоторого времени способность к автономному перемещению внутри растительной массы, что обеспечивает более равномерное распределение их в корме.

В соответствии с ОР МСХП РБ 0215-96 измельчение растений при влажности 80...85% должно осуществляться до величины 50...80 мм, при влажности 65...75% - 30...50 мм; длина резки кукурузы в восковую спелость (с дроблением зерна на частицы менее 5 мм) - 10 мм, в молочно-восковую - 20...30 мм. Технические средства для обработки зелёных кормов жидкими и сухими сыпучими химическими препаратами должны обеспечивать равномерность их внесения с отклонением не более 20%. Допустимое отклонение от заданной дозы - 20% для жидких и 10% для сыпучих. При этом жидкие консерванты должны распыляться на частицы (капли) до 300...750 мкм.

В БГСХА предложена конструкция приспособления ПВС-1 для внесения сыпучих консервантов на кормоуборочном комбайне. По результатам предварительных испытаний установлено, что значения коэффициента вариации, характеризующего неравномерность распределения консерванта в растительной массе на прицепе после загрузки, изменяется в интервале 15...45%. Нижнее значение достигается применением синхронного дозирования консерванта в зависимости от поступающей растительной массы. Аналогичное оборудование успешно применяется за рубежом. Однако теоретически вопрос изучен недостаточно, отсутствует математическая модель, на основании которой можно было бы обоснованно выбирать и при необходимости изменять основные параметры процесса.

Построение математической модели базируется на разработанной и обоснованной авторами структурной модели пористого растительного материала [5]. Элементы модели имеют форму прямого кругового цилиндра с диаметром основания d_s , соответствующего некоторому среднему диаметру частиц.

Принято, что количество элементов в единице объема, совпадающее по направлению с осями координат X, Y, Z - одинаково, и элементы в пространстве располагаются равномерно.

Главным условием, определяющим адекватность модели реальному материалу, является равенство их порозностей. Так, при известной порозности материала (ϵ) собственный объем всех элементов в единичном объеме модели равен $1^3(1 - \epsilon) = 1 - \epsilon$, а объем одного элемента - $\pi d_s^3/4$. Тогда общее количество элементов определится по выражению:

$$n = 4(1 - \epsilon) / (\pi d_s^3), \quad (1)$$

где n - общее количество элементов в единичном объеме;

d_s - диаметр элемента, равный средневзвешенному диаметру частиц с учетом листовой части, м.

Количество элементов вдоль каждой из координатных осей n' будет равно

$$n' = n / 3 = 4(1 - \varepsilon) / (3\pi d_3^2). \quad (2)$$

Если допустить, что элементы располагаются равномерно по всему объему, то количество элементов n'' в проекции на соответствующую координатную или любую из плоскостей T_1, T_2, \dots, T_n , пересекающих единичный объем параллельно плоскости проекции и проходящих через центр элементов определится как

$$n'' = \sqrt{n'} = 0.65(1 - \varepsilon)^{0.5} / d_3. \quad (3)$$

Тогда можно определить величину l - расстояние между плоскостями, в которых расположены элементы:

$$l = 1 / (2 \cdot n'') = 0.77 d_3 (1 - \varepsilon)^{-0.5}, \quad (4)$$

где $(2 \cdot n'')$ - количество промежутков между плоскостями.

Найденная величина l - есть структурный параметр измельченного растительного материала, который и позволяет определить величину свободного полета частицы консерванта до очередного столкновения с частицей растительного материала.

Будем учитывать только те плоскости, которые расположены перпендикулярно направлению распространения консерванта.

Рассмотрим модель кормового потока (рис. 1), где

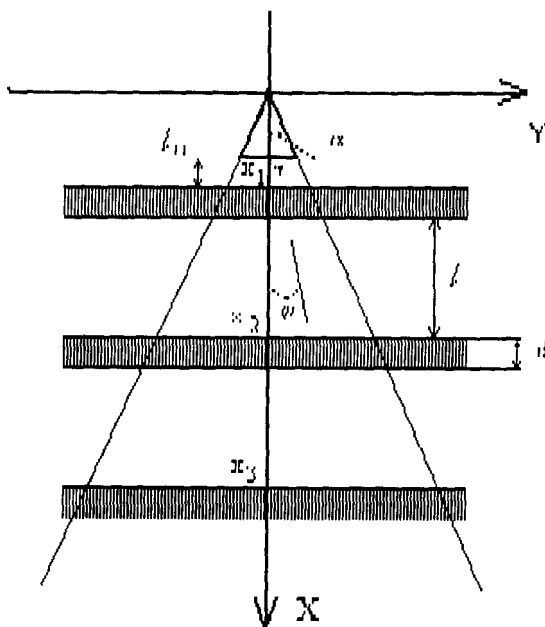


Рис. 1. Схема взаимодействия сыпучего консерванта с кормовым потоком.

d_3 - толщина слоя, l - расстояние между слоями, u - скорость потока, v_0 - скорость частиц консерванта, φ - угол наклона траектории полета частицы к оси X. Пусть на длину S слоя приходится дли-

на S_0 пор и длина S_v частиц. Тогда вероятность столкновения частицы консерванта с частицей материала будет $p = S_v / S$, а вероятность пролета через слой $q = S_0 / S$. Зависимости $q(u, v_0, \varphi)$ и $p(u, v_0, \varphi)$ определяются углом φ наклона траектории частицы к оси X.

Если $\varphi = 0$ (траектории вертикальны), то

$$q(u, v_0, 0) = \begin{cases} q - (d \cdot u / (S \cdot v_0)), & \text{если } u < S_0 \cdot v_0 / d, \\ 0, & \text{если } u > S_0 \cdot v_0 / d. \end{cases} \quad (5)$$

горизонтальная составляющая v_0 и скорости потока u совпадают.

Если $\varphi > 0$ (траектории наклонены по ходу кормового потока). В этом случае

$$q(u, v_0, \varphi) = \begin{cases} q - d(v_0 \cdot \sin \varphi - u) / (S \cdot v_0 \cdot \cos \varphi), & \text{если } u \leq v_0 \cdot \sin \varphi \\ q - d(u - v_0 \cdot \sin \varphi) / (S \cdot v_0 \cdot \cos \varphi), & \text{если } u \geq v_0 \cdot \sin \varphi \end{cases} \quad (6)$$

Если же $\varphi < 0$ (частицы консерванта летят против хода кормового потока), то

$$q(u, v_0, \varphi) = \begin{cases} q - d(u - v_0 \cdot \sin \varphi) / (v_0 \cdot \cos \varphi), & \\ \text{если } u < S_0 \cdot v_0 \cdot \cos \varphi / d + v_0 \cdot S \\ 0, & \text{если } u > v_0 \cdot \sin \varphi + S_0 \cdot v_0 \cdot \cos \varphi / d \end{cases} \quad (7)$$

Из приведенных выражений следует, что максимальное количество консерванта проходит через слой, если траектории полета частиц имеют положительный угол наклона φ к скорости u , а скорости соотносятся как $u = v_0 \sin \varphi$, в этом случае площадь пор каждого слоя используется полностью при любой толщине слоя d_3 . Отсюда следует вывод, что консервант должен вводиться в кормовой поток под углом φ , определяемым выражением

$$\varphi = \arcsin u / v_0 \quad (8)$$

Рассматривая послойное проникновение консерванта в растительный материал, получаем функцию $M(x)$ распределения консерванта по толщине слоя в виде

$$M(x) = 2 \cdot x \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot Q \cdot p \cdot e^{-\ln^1 \frac{x-x_1}{h}} / u, \quad (9)$$

где $M(x)$ - зависимость накопленной массы консерванта от толщины слоя x ;

Q - расход консерванта;

α - угол раствора патрубков дозирующего устройства;

$h = d_3 + l$, сумма расстояний между слоями и толщины одного слоя.

График функции имеет вид, изображенный на рис. 2.

Накопление консерванта в слое достигает максимума при $x = h / \ln(1/q)$, следовательно, толщина обрабатываемого слоя L , будет равна

$$L = 2 \cdot x = 2 \cdot h / \ln(1/q) \quad (10)$$

Величины q и h связаны с характеристиками реального стебельчатого материала.

Так, пренебрегая толщиной одного слоя материала с учетом высокой пористости кормового потока, можно с достаточной точностью принять, что $h \approx l$.

Как было принято, $q = S_0 / S$ - вероятность пролета частицы консерванта через слой, равная собственн порозности ε .

Тогда толщина обрабатываемого слоя будет равна

$$L = 1,44 d_3 (1 - \varepsilon)^{-0,5} / (\ln(1 - \varepsilon)). \quad (11)$$

В свою очередь порозность есть функция состояния растительного материала. Как установлено ранее [6], для насыпного материала (на ленте транспортера, после разравнивания в силосохранилище и т.п.) порозность ε определяется по выражению

$$\varepsilon = 1 - 0,11(l_v + 10 d_3 (1 + K_s)^{0,5}) / l_v, \quad (12)$$

где l_v — длина резки материала, мм;

$K_s = 0,43 \dots 1,2$ — коэффициент листовой фракции (отношение массы листьев к массе стеблей), зависящий от вида культуры и фазы развития [6, с.35].

Например, для клевера лугового со средним диаметром $d_3 = 3$ мм, и длиной резки $l_v = 20$ мм и коэффициентом листовой фракции $K_s = 0,82$ порозность составит $\varepsilon = 1 - 0,11 \cdot (20 + 10 \cdot 3(1 + 0,82)^{0,5}) / 20 = 0,67$. Тогда 95% консерванта будет распределено в насыпном слое

корма толщиной $L = 1,44 \cdot 3(1 - 0,67)^{0,5} / \ln(1 / 0,67) = 18,9$ мм т.е. приблизительно 0,02 м.

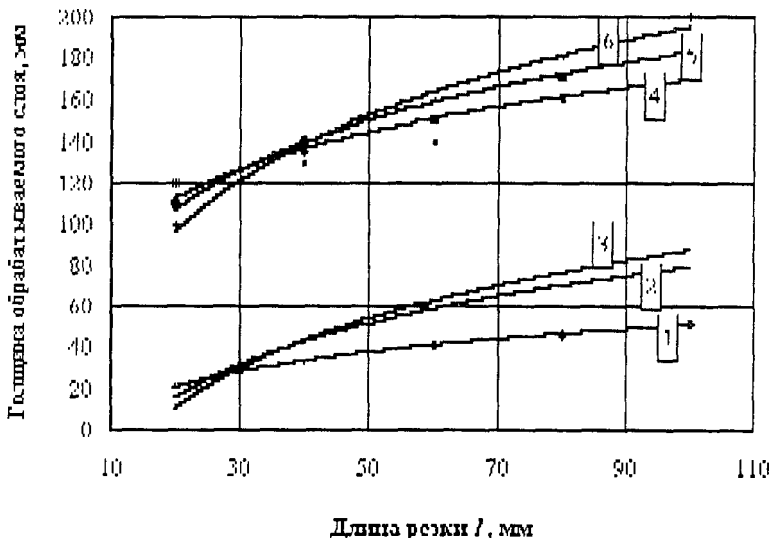


Рис.3. Зависимость толщины обрабатываемого слоя растительного материала от длины резки l_v и среднего диаметра частиц: 1; 2; 3 — для насыпного корма; 4; 5; 6 — для кормового потока; 1, 4 — $d_3 = 2$ мм; 2, 5 — $d_3 = 4$ мм; 3, 6 — $d_3 = 6$ мм.

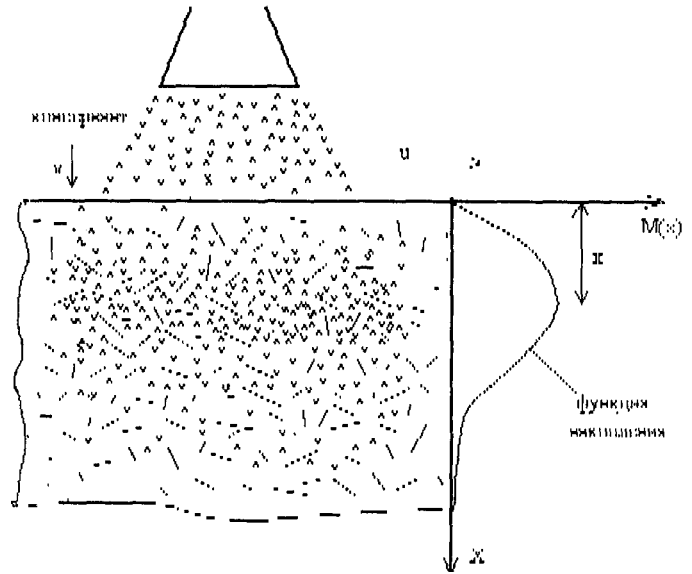


Рис.2. Распределение консерванта по толщине слоя корма и вид функции накопления.

С увеличением длины резки до 60 мм порозность составит 0,81, а толщина обрабатываемого слоя $L = 47,6$ мм, т.е. приблизительно 0,05 м. Как видим, при таком способе внесения и толщине слоя 0,20...0,30 м, как рекомендуют некоторые авторы, говорить о равномерном распределении консерванта не приходится.

Полученный результат подтверждается исследованиями А.В. Соколова [7], в соответствии с которыми для достижения требуемой равномерности обработки толщина слоя растительного материала не должна превышать 50...100 мм. При этом обработка корма должна производиться с двух сторон.

Результат будет иным, если материал находится в воздушно-кормовом потоке. В этом случае его порозность определится конструктивными и кинематическими параметрами швырялки, а также поперечным сечением кормопровода.

В частности, применение лопастной швырялки позволяет получить значение порозности [8]:

$$\varepsilon = 1 - (0,17 D_p \cdot k_{зан} / H), \quad (13)$$

где D_p — диаметр ротора, м

H — высота выгрузной камеры (толщина слоя), м

$k_{зан}$ — коэффициент заполнения ротора (при оптимальном соотношении ширины ротора к диаметру для измельченной растительной массы можно принимать $k_{зан} = 0,3 \dots 0,4$).

В численном выражении, приняв $D_p = 0,7$ м, $k_{зан} = 0,3$ и $H = 0,3$ м получим $\varepsilon = 0,89$ и по выражению (11) толщина обрабатываемого слоя будет равна $L \approx 0,12$ м.

Зависимость толщины обрабатываемого слоя от длины резки растительного материала и среднего диаметра частиц приведена на рис 3. Как следует из диаграммы, внесение сыпучих консервантов в кормовой поток обеспечивает обработку слоя толщиной 0.12...0.18 м и является предпочтительным по сравнению с внесением в насыпной слой.

Литература

1. Колтушкин И.С. Исследование стеблевой массы растений как пористого материала в технологических процессах заготовки кормов: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Алма-Ата, 1965.-23 с.
2. Николаенко Л.И. Механизация химического консервирования кормов//Пробл. механизации сельскохозяйственного производства. М., 1985. Ч.2.- С.55.
3. Шаршунов В.А., Кузьмицкий А.В., Курилин Г.Г. Внесение сыпучих консервантов в растительную массу // Механизация и электрификация сельс-

кого хозяйства.-1999.- №8.- С.10-11.

4. Шаршунов В.А., Кузьмицкий А.В., Курилин Г.Г. Оборудование для внесения сыпучих консервантов на кормоуборочном комбайне // Международный аграрный журнал.-1999.-№7.-С.51- 53.

5. Кузьмицкий А.В. Инъекционное внесение жидких химических консервантов мобильным агрегатом при силосовании кормов: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Горки, 1987.-17с.

6. Кузьмицкий А.В. Механико-технологические основы консервирования стебельчатых кормов: Монография/ Белорусская сельскохозяйственная академия, Горки, 1999.-80 с.

7. Соколов А.В. Технологические и технические решения сохранности влажного кормового сырья химическими консервантами: Автореф. дисс.... доктора с.-х. наук. Москва, 1998.-56 с.

8. Шаршунов В.А., Кузьмицкий А.В., Дремук В.А. Обоснование параметров навесного оборудования для внесения консервантов в траншейном силосохранилище // Агропанорама.-1999.-№6.- С.8 - 10.

ЛИНЕЙНЫЕ НОРМЫ РАСХОДА ТОПЛИВА НА АВТОМОБИЛИ И ОБОРУДОВАНИЕ

(Продолжение. Начало в №№ 1,2,3,4,6, за 1998 г., №№ 1,2,3,4 за 1999 г., №№3,4,5 - 2000 г.)

Грузовой автомобиль-фургон ГАЗ-23250 Купава	бензин	15.8	-
Грузовой автомобиль-фургон ГАЗ330210	бензин	16.5	-
Грузовой автомобиль-фургон ГАЗ3307	бензин	26.6	-
Грузовой автомобиль-фургон ГАЗ-66	Сжат. газ	30,5	-
Грузовой автомобиль-фургон ЗИЛ-5301ГО	дизельное	16.5	-
Грузовой автомобиль-фургон ЗИЛ-5301ЮО	дизельное	16.5	-
Грузопассажирский автомобиль МАЗ- 53371.029	дизельное	25.8	-
Грузопассажирский автомобиль Mercedes Benz 210D	дизельное	11.0	-
Грузопассажирский автомобиль ГАЗ-270500 (дв. УМЗ-4215СО)	бензин	17.0	0

Легковой автомобиль Audi-100 Quattro S4 2.2Ti	бензин	13.8	-
Легковой автомобиль BMW320D	дизельное	9.0	-
Легковой автомобиль Daewoo Espero 1.5i	бензин	9.1	-
Легковой автомобиль Ford Fiesta 1.1	бензин	7.5	-
Легковой автомобиль Hyundai Coupe FX 2.0i	бензин	9.8	-
Легковой автомобиль Hyundai Sonata 1.8i	бензин	10.0	-
Легковой автомобиль Mazda Millenia 2.5i	бензин	11.9	-
Легковой автомобиль Mercedes Benz ML4304WD	бензин	17.3	-
Легковой автомобиль Peugeot 309 1.6i	бензин	8.3	-
Легковой автомобиль Renault Megane Scenic II 1.6 i	бензин	9.0	-
Легковой автомобиль Subaru Forester Turbo 2.0i 4WD	бензин	14.5	-
Легковой автомобиль Toyota Lexus GS300	бензин	12.5	-
Легковой автомобиль Volkswagen Golf 1.6	бензин	8.5	-
Легковой автомобиль Volkswagen Sharan 1.8 Ti	бензин	12.2	-
Легковой автомобиль ГАЗ-22171 (дв. ГАЗ-560)	дизельное	12.8	-
Самосвал ГАЗ-САЗ-3501-66	бензин	32.6	-
Самосвал ЗИЛ-2502 (шасси ЗИЛ -5301 БО)	дизельное	18.3	-
Седельный тягач Mercedes Benz 1733	дизельное	23.0	-
Седельный тягач Mercedes Benz 1843	дизельное	26.0	-
Седельный тягач Mercedes Benz 2538 LS	дизельное	28,9	-
Седельный тягач Volvo FH-16	Дизельное	26.5	-
Седельный тягач ЗИЛ-442100 (дв. ЗИЛ-645)	дизельное	21.5	-
Седельный тягач КамАЗ-5425	дизельное	24.8	--
Седельный тягач МАЗ54323 (дв. ЯМЗ-7511.10)	дизельное	34.2	-
Автобус -автономный отопитель	Дизельное дизельное	31.0 -	- 3.0
Автобус ЗИЛ-32501 (16 мест)	дизельное	18,7	-
Грузовой автомобиль-фургон DAF FA800CN	дизельное	15,6	-
Грузовой автомобиль-фургон DAF AB45	дизельное	19,2	-
Грузовой автомобиль-фургон DAF2500	дизельное	23,0	-
Грузовой автомобиль-фургон Daewoo Damas		7.0	-
Грузовой автомобиль-фургон Iveco 35.8	дизельное	10,8	-
Грузовой автомобиль-фургон MAN24.422	дизельное	28,5	-
Грузовой автомобиль-фургон Mazda2000		13.0	-
Грузовой автомобиль-фургон Mercedes Benz 2219	дизельное	25.0	-
Грузовой автомобиль-фургон Peugeot 350LA	дизельное	12.5	-