

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА  
ВНЕСЕНИЯ КОНСЕРВАНТА  
В СИЛОСОПРОВОД  
КОРМОУБОРОЧНОГО  
КОМБАЙНА****Введение**

В настоящее время значительную часть консервированных кормов составляет кукурузный силос. Более половины его заготавливается с использованием консервантов, что обусловлено погодно-климатическими условиями региона и необходимостью сохранения качества закладываемого на хранение корма.

В мировой практике внесение консервантов, как правило, производится на кормоуборочных комбайнах (фирм «Claas», «Krone», «New Holland», «Ростсельмаш», «Гомсельмаш» и др.). Особенностью этого процесса на машинах нового поколения является то, что скорость кормового потока после ускорителя достигает  $68 \text{ м/с}$  и более, время нахождения растительной массы в силосопроводе не превышает  $0,10\text{--}0,12 \text{ с}$ . При таком коротком временном интервале значительная часть консерванта выносится воздушно-кормовым потоком в атмосферу без контакта с растительной массой.

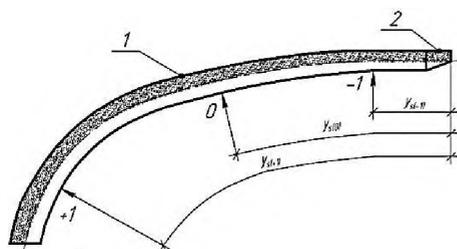
Анализ способов и устройств [1, 2, 3], используемых для этих целей, указывает на их существенные недостатки, связанные с несовершенством конструкции, рассчитанной на внесение консервантов в низкоскоростные потоки (не более  $38 \text{ м/с}$ ), характерные для машин предыдущих поколений, что обуславливает высокую неравномерность распределения и потери.

С целью повышения равномерности распределения и снижения потерь консерванта необходимо было изучить процесс взаимодействия его с кормовым потоком и обосновать эффективный способ, конструкцию и параметры устройства для внесения.

Предложены запатентованный внутриобъемный способ внесения жидкого консерванта с контактным способом электростатической зарядки (активации) капель при распылении в силосопроводе кормоуборочного комбайна КВК-800 и устройство для его реализации [4, 5], позволяющие устранить вышеперечисленные недостатки.

**Основная часть**

Для обоснования основных параметров и режимов работы оборудования для внесения жидкого консерванта необходимо было исследовать влияние места установки распылительной форсунки  $u_s$ , начальной скорости впрыска  $v_{к,0}$  и напряжения электростатической активации консерванта  $U_k$  на неравномерность его распределения в корме и потери в левых условиях.



1 – силосопровод; 2 – направляющий козырек

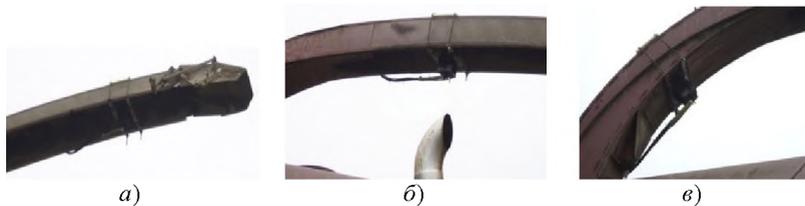
**Рисунок 3 – Схема установки распылительной форсунки**

Для обработки пневмо-кормового потока факелом распыла распылительная форсунка устанавливалась в нижней части поперечного сечения силосопровода (варианты установки представлены на рисунке 3) исходя из угла факела распыла  $\alpha$  и конструктивных параметров силосопровода (высота  $h_c$ , ширина  $b_c$ ).

Начальная скорость впрыска варьировалась путем изменения рабочего давления исходя из технических характеристик выбранного распылителя ( $v_{к,0} = 13-19$  м/с).

Напряжение электростатической активации консерванта регулировалось с помощью высоковольтного преобразователя ( $U_k = 4-40$  кВ).

Места установки распылительной форсунки (рисунок 4): уровни (-1; +1) определяли исходя из возможности конструктивной реализации предлагаемого способа внесения.



а)  $y_{с(-1)} = 0,9$  м; б)  $y_{с(0)} = 2,4$  м; в)  $y_{с(+1)} = 3,9$  м

**Рисунок 4 – Места установки распылительной форсунки на силосопроводе кормоуборочного комбайна КВК-800**

Для определения неравномерности внесения и отклонения от заданной дозы (потери) анализ отобранных проб производится согласно ТКП 195–2009 (02150). Для оценки достоверности полученных результатов дополнительно проводился анализ проб в специализированной лаборатории химических исследований ГУ «Белорусская МИС».

Перед скармливанием заготовленного корма производился отбор проб для проведения зооанализа по определению питательности и класса (классности) полученного корма. Отбор проб для определения качества корма проводился согласно ГОСТ 27262–87. Оценка качества корма проводилась согласно СТБ 1223–2000 лабораторией качества продуктов животноводства и кормов РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству».

Согласно плану экспериментальных исследований, для определения влияния места установки распылительной форсунки на неравномерность внесения  $v$  и потери  $K_{nom}$  консерванта был проведен двухфакторный эксперимент:

$$v = f(y_s; v_{k,0}) \text{ и } K_{nom} = f(y_s; v_{k,0}),$$

где  $y_s$  – расстояние от верхнего обреза направляющего козырька до места установки распылительной форсунки,  $m$ ;

$v_{k,0}$  – начальная скорость впрыска консерванта,  $m/c$ .

Место установки распылительной форсунки варьировали в диапазоне (0,9–3,9  $m$ ), начальную скорость впрыска – в диапазоне 13–19  $m/c$ .

Согласно ТКП 195–2009 (02150), при определении неравномерности внесения и отклонения от дозы пробы берутся из траншеи. Агротехнические ограничения: неравномерность внесения – не более 20 %, потери – не более 20 %. Тем не менее для обоснования места установки распылительной форсунки, а также параметров процесса впрыска необходимо было свести к минимуму влияние неконтролируемых факторов. Поэтому, согласно принятой методике экспериментальных исследований, пробы при проведении лабораторно-полевых экспериментов сначала брались из кузова (прицепа), то есть сразу после выгрузки массы из силосопровода, и дополнительно, для контроля соответствия агротехническим требованиям, – из траншеи.

В результате обработки экспериментальных данных (отбор проб из прицепа) получены адекватные уравнения регрессии:

$$y_1 = 32,78 - 2,09x_1 - 1,92x_2 + 4,46x_1^2 + 3,59x_2^2; \quad (1)$$

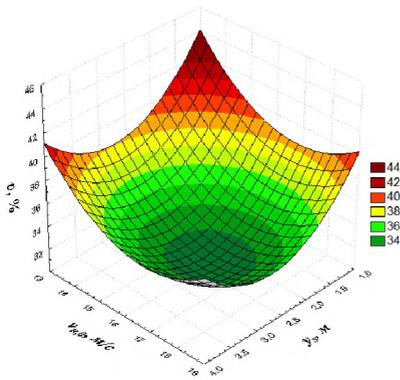
$$y_2 = 27,51 - 1,40x_1 + 1,13x_2 + 5,80x_1^2. \quad (2)$$

На рисунках 5 и 6 представлены поверхности отклика и их линии уровня, характеризующие зависимость неравномерности внесения консерванта  $v$  и потерь  $K_{nom}$  от значимых факторов ( $y_s, v_{k,0}$ ).

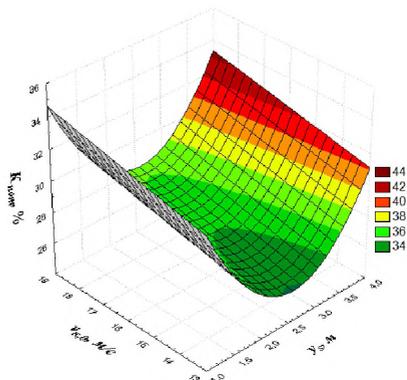
Изменение начальной скорости впрыска  $v_{k,0}$  с 13  $m/c$  до 16  $m/c$  при координате места установки распылительной форсунки  $y_s = 2,4 m$  приводит к уменьшению неравномерности внесения  $v$  с 38 % до 33 %, что объясняется увеличением глубины проникновения консерванта  $x_k$  в пневмокормовой поток. Дальнейшее увеличение начальной скорости впрыска  $v_{k,0}$  с 16  $m/c$  до 19  $m/c$  приводит к повышению неравномерности внесения  $v$  с 33 % до 35 % по причине увеличения процента потерь консерванта  $K_{nom}$  при внесении с 26 % до 28 %.

Установлено, что высокая неравномерность внесения консерванта при координате места установки распылительной форсунки  $y_s = 3,9 m$  и  $y_s = 0,9 m$  объясняется низкой проникающей способностью факела распыла консерванта. Происходит это из-за высокой скорости пневмокормового потока  $v_{km} = 56 m/c$  в месте установки распылительной форсунки  $y_s = 3,9 m$  и  $y_s = 0,9 m$  по причине увеличения толщины пневмокормового

потока до  $h_{кп} = 0,08$  м и малого времени контакта. При координате  $y_s = 2,4$  м низкая неравномерность внесения объясняется средними значениями  $v_{кп} = 44$  м/с скорости, времени контакта и толщины  $h_{кп} = 0,06$  м пневмокормового потока.



**Рисунок 5 – Зависимость неравномерности внесения консерванта  $v$  от места установки распылительной форсунки  $y_s$  и начальной скорости впрыска  $v_{к,0}$**



**Рисунок 6 – Зависимость потерь консерванта  $K_{nom}$  от места установки распылительной форсунки  $y_s$  и начальной скорости впрыска  $v_{к,0}$**

Анализ уравнения (1) показывает, что минимальное значение неравномерности внесения консерванта  $v = 32$  % достигается при установке распылительной форсунки на силосопроводе кормоуборочного комбайна с координатой  $y_s = 2,75$  м и начальной скоростью впрыска консерванта  $v_{к,0} = 16,8$  м/с.

Анализ уравнения (2) показывает, что с увеличением начальной скорости впрыска  $v_{к,0}$ , которая варьируется путем изменения рабочего давления  $P_{к}$ , потери  $K_{nom}$  увеличиваются. Это происходит по причине возрастания дисперсности капель распыла (согласно данным производителя распылительных форсунок [6]), что приводит к их низкой инерционности и скорости движения и, соответственно, к интенсивному сносу пневмокормовым потоком.

В частности, при координате места установки распылительной форсунки  $y_s = 2,4$  м изменение начальной скорости впрыска  $v_{к,0}$  с 13 м/с до 16 м/с приводит к увеличению потерь  $K_{nom}$  с 26 % до 28 %.

При анализе уравнения (2) также установлено, что с изменением координаты места установки распылительной форсунки численное значение потерь  $K_{nom}$  изменяется по параболическому закону. В частности, при изменении места установки распылительной форсунки с  $y_s = 3,9$  м до  $y_s = 2,58$  м потери  $K_{nom}$  уменьшаются с 33 % до 27 % по причине уменьшения скорости пневмокормового потока, вызывающей снос ка-

пель консерванта. Далее при изменении места установки распылительной форсунки с  $y_s = 2,58$  м до  $y_s = 0,9$  м потери  $K_{nom}$  увеличиваются с 27 % до 36 % по причине уменьшения времени контакта и осаждения консерванта в пневмокармовом потоке.

Минимальное значение потерь  $K_{nom} = 27$  %, согласно анализу уравнения (2), в факторном пространстве достигается при значении места установки распылительной форсунки на силосопроводе кормоуборочного комбайна  $y_s = 2,58$  м и начальной скорости впрыска консерванта  $v_{к,0} = 13$  м/с.

Для обоснования места впрыска консерванта при наличии двух критериев отклика ( $y_1, y_2$ ) необходимо решение компромиссной задачи, которое состоит из оптимизации наиболее важного критерия с ограничениями на другой критерий и факторное пространство [7, с. 212–213].

В связи с поставленной целью, которая подразумевает повышение качества заготавливаемых кормов, целевой функцией принята неравномерность внесения консерванта  $y_1(v)$ , оказывающая влияние на эффективность применения консерванта и, соответственно, на качество заготавливаемого корма. В связи с этим дополнительный критерий – потери консерванта  $y_2 (K_{пот})$ .

Поскольку агротехнические ограничения находятся за пределами факторного пространства, решаем компромиссную задачу путем поиска экстремального значения критерия  $y_1$  ( $y_1 \rightarrow \min$ ) без ограничения на критерий  $y_2$ , но с сохранением принятых ограничений на независимые переменные, согласно условию:

$$-1 \leq x_i \leq +1.$$

Было установлено, что искомая точка имеет координаты:  $x_1 = 0,234$ ,  $x_2 = 0,267$ . В этих условиях  $y_{\min}(v_{\min}) = 32$  % (прицеп),  $y_{\min}(v_{\min}) = 24$  % (траншея). После приведения значений факторов в размерную форму были получены следующие их оптимальные значения: место установки распылительной форсунки с координатой по длине силосопровода кормоуборочного комбайна  $y_s - 2,75$  м (принятое место установки распылительной форсунки на силосопроводе кормоуборочного комбайна КВК-800 для дальнейших лабораторно-полевых исследований); начальная скорость впрыска консерванта  $v_{к,0} - 16,8$  м/с.

Далее необходимо было исследовать влияние начальной скорости впрыска  $v_{к,0}$  и напряжения электростатической активации консерванта  $U_k$  на неравномерность его внесения  $v$  и потери  $K_{nom}$  при расположении распылительной форсунки с координатой  $y_s = 2,75$  м. Для этого был проведен двухфакторный эксперимент по установлению зависимостей:

$$v = f(v_{к,0}; U_k) \text{ и } K_{nom} = f(v_{к,0}; U_k).$$

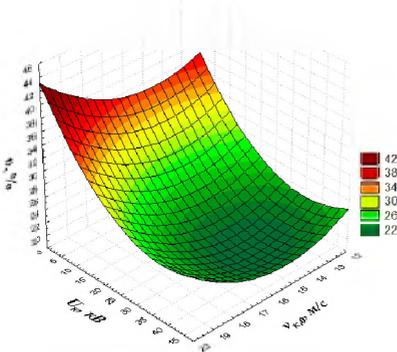
Начальную скорость впрыска варьировали в диапазоне 13–19 м/с, напряжение электростатической активации – в диапазоне 4–40 кВ.

В результате обработки экспериментальных данных (отбор проб из прицепа) получены адекватные уравнения регрессии:

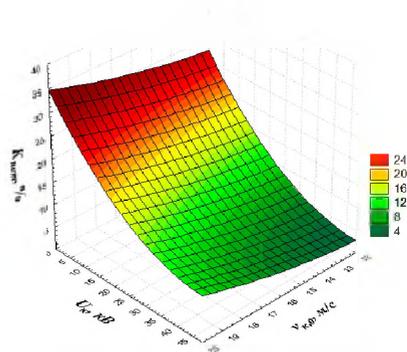
$$y_1 = 22,66 + 1,85x_1 - 5,93x_2 + 2,57x_1^2 + 3,62x_2^2; \quad (3)$$

$$y_2 = 13,18 + 2,82x_1 - 9,92x_2 + 3,38x_2^2. \quad (4)$$

На рисунках 7 и 8 представлены поверхности отклика и их линии уровня, характеризующие зависимость неравномерности внесения консерванта  $v$  и его потерь  $K_{пот}$  от значимых факторов ( $v_{к,0}$ ,  $U_k$ ).



**Рисунок 7 – Зависимость неравномерности внесения консерванта  $v$  от начальной скорости впрыска  $v_{к,0}$  и напряжения электростатической активации  $U_k$**



**Рисунок 8 – Зависимость потерь консерванта  $K_{пот}$  от начальной скорости впрыска  $v_{к,0}$  и напряжения электростатической активации  $U_k$**

Анализ уравнения (3) показывает, что наиболее интенсивное воздействие на неравномерность внесения  $v$  оказывает электростатическая активация капель консерванта, в частности, при увеличении напряжения электростатической активации  $U_k$  с 4 кВ до 40 кВ, при начальной скорости впрыска  $v_{к,0} = 16$  м/с неравномерность внесения уменьшается с 32 % до 20 %.

Согласно уравнению (3), минимальное значение неравномерности внесения консерванта  $v = 20$  % достигается при начальной скорости впрыска консерванта  $v_{к,0} = 14,9$  м/с и напряжении электростатической активации  $U_k = 37$  кВ.

Анализ уравнения (4) показывает, что с увеличением начальной скорости впрыска консерванта  $v_{к,0}$  увеличиваются потери  $K_{пот}$ , так как увеличивается дисперсность факела распыла, которая повышает процент капель, не успевающих контактировать с частицами измельченного растительного материала и сносящихся пневмокормовым потоком. В частности, при напряжении электростатической активации  $U_k = 22$  кВ и увеличении начальной скорости впрыска консерванта  $v_{к,0}$  с 13 до 19 м/с величина потерь возрастает с 11 % до 16 %.

Согласно уравнению (4), максимальные потери консерванта  $K_{nom} = 29,46$  % соответствуют значениям начальной скорости впрыска  $v_{к,0} = 19$  м/с и напряжению электростатической активации  $U_{к} = 4$  кВ. Минимальные потери консерванта  $K_{nom} = 6$  % соответствуют значениям начальной скорости впрыска  $v_{к,0} = 13$  м/с и напряжению электростатической активации  $U_{к} = 40$  кВ.

Для выбора оптимальных параметров начальной скорости впрыска консерванта  $v_{к,0}$  и его электростатической активации  $U_{к}$  необходимо компромиссное решение задачи. Целевая функция с функциональными и факторными ограничениями достигает минимума при условии:

$$\begin{cases} y_1 \rightarrow \min; \\ y_2 \leq 20\%; \\ -1 \leq x_i \leq +1. \end{cases}$$

С помощью компьютерной программы MSExcel было получено экстремальное значение целевой функции  $y_{1min}(v_{min}) = 20$  % (прицеп),  $y_{1min}(v_{min}) = 12$  % (траншея), где одновременно выполняются все принятые ограничения. Приведя в размерную форму значения факторов, были получены следующие их оптимальные значения: начальная скорость впрыска консерванта  $v_{к,0} = 14,9$  м/с; напряжение электростатической активации  $U_{к} = 37$  кВ.

### Заключение

В результате проведения лабораторно-полевых исследований установлены:

- зависимости (1)–(2) изменения неравномерности  $v$  и потерь консерванта  $K_{nom}$  от места установки распылительной форсунки на силосопроводе кормоуборочного комбайна  $y_s$  и начальной скорости впрыска консерванта  $v_{к,0}$ ;
- зависимости (3)–(4) изменения неравномерности  $v$  и потерь консерванта  $K_{nom}$  от начальной скорости впрыска  $v_{к,0}$  и напряжения электростатической активации консерванта  $U_{к}$ .

Подтверждена эффективность применения предлагаемого способа и устройства с электростатической активацией капель в силосопроводе кормоуборочного комбайна.

Обоснованы параметры работы оборудования для внесения консервантов. Минимальная неравномерность ( $v_{min}$ ) = 20 % (прицеп), ( $v_{min}$ ) = 12 % (траншея) и допустимые потери консерванта  $K_{nom} = 6$  % при внесении на кормоуборочном комбайне КВК-800 обеспечиваются при координате места установки распылительной форсунки на силосопроводе  $y_s = 2,75$  м; начальной скорости впрыска консерванта  $v_{к,0} = 14,9$  м/с и напряжении электростатической активации  $U_{к} = 37$  кВ.

24.09.13

## Литература

1. Грачев, А.В. Способы и технические средства повышения эффективности обработки силосуемой массы химическими консервантами: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / А.В. Грачев. – М., 1987. – 167 л.
2. Ясинкас, А.А. Совершенствование технологии и средств механизации химического консервирования трав: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / А.А. Ясинкас. – Елгава, 1988. – 161 л.
3. Соколов, А.В. Технологические и технические решения сохранности влажного сырья химическими консервантами: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 05.20.01 / А.В. Соколов; Всероссийский науч.-исслед. ин-т механизации с/х-ва (ВИМ). – Москва, 1998. – 56 с.
4. Способ внесения жидких консервантов в измельченную растительную массу в кормоборочном 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 Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет». – № а 20061344; заявл. 27.12.2006; опубл. 30.10.2009 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 5. – С. 42.
5. Устройство для внесения жидких консервантов в измельченную растительную массу на кормоборочном комбайне: пат. 7370 Респ. Беларусь, МПК А 23К 3/03 / А.В. Кузьмицкий, П.В. Авраменко, Р.В. Новиков, Н.И. Ануфриев; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет». – № u 20101003; заявл. 12.01.2011; опубл. 30.06.2011 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 3. – С. 167–168.
6. Каталог 50-RU // Спреинг СистемсКо. [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: <http://www.teejet.com/russian/home/literature/catalog.aspx>. – Дата доступа: 25.05.2013.
7. Тихомиров, В.Б. Планирование и анализ эксперимента: при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности / В.Б. Тихомиров. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 262 с.

УДК 631.22.01

**В.В. Гордеев, В.Е. Хазанов**

*(ГНУ «Северо-Западный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Россельхозакадемии» (СЗНИИМЭСХ),  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)*

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
МОДЕРНИЗАЦИИ  
МОЛОЧНЫХ ФЕРМ  
СЕВЕРО-ЗАПАДА  
РОССИИ**

### Введение

Северо-Западный федеральный округ – традиционно молочный регион. Показатели молочного животноводства здесь выше, чем в Центральном округе и в целом в Российской Федерации. Признанным лидером молочного животноводства России является Ленинградская область. Средний надой по итогам 2012 года составил 7233 кг на корову. В 26