

**ВОЗДУХООБМЕН В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ХРАНИЛИЩАХ
ПРИ СИЛОСОВАНИИ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ**

П. К. Черник, кандидат технических наук

Белгипроводхоз

Л. Г. Основина, кандидат технических наук

С. В. Основин, кандидат сельскохозяйственных наук

А. С. Марков, кандидат экономических наук

Белорусский государственный аграрный технический университет

А. В. Брезгунов, главный инженер проекта

Белгипроводхоз

Ключевые слова: *силосованные корма, хранилища, воздухопроницаемость*

Введение

На современном этапе развития агропромышленного комплекса проблема повышения эффективности производства продукции животноводства приобретает все большую значимость. Развитие животноводства зависит от создания прочной кормовой базы, для которой особое значение имеет повышение эффективности производства травяных кормов и снижения потерь при их заготовке.

Основным видом кормов для скота в стойловый период являются силос и сенаж, от качества которых зависит эффективность всей отрасли. Практически весь объем силосованных кормов в республике в настоящее время заготавливается в горизонтальных хранилищах по технологии, не позволяющей выдержать основополагающие требования для получения качественных кормов. Поэтому актуальной представляется задача изучения отдельных параметров технологического процесса силосования, которые определяют большие потери при заготовке силосованных кормов, с целью снижения их влияния на качество кормов и совершенствования технологий силосования.

Анализ источников

Технологии производства силосованных кормов сложились благодаря исследованиям П. Мак-Дональда, В. Шмидта, Г. Веттерау, А. Зубрилина, С. Я. Зафрена и др. [1]. Вопросы уплотнения материалов различного происхождения на разных технологических уровнях изучали В. П. Горячкин, А. И. Нелобов, А. И. Долгов, В. И. Фомин, В. И. Особов и др. [2, 3, 4]. Результаты их исследований использовались для технологий прессования, брикетирования и гранулирования, влажного фракционирования.

Уплотнение силосной массы в хранилищах изучали М. А. Тищенко, С. А. Белоконов, П. К. Черник и др. [5, 6, 7]. Методической основой этих исследований являются ра-

боты в области механики систем, деформируемых во времени сплошных и дискретных сред Ю. Н. Роботнова, Л. Ю. Ишлинского, А. И. Губанова, А. Р. Ржаницина, Л. И. Седого, В. А. Богомяких, Л. В. Гячева и др. [8, 9].

Одной из главных причин больших потерь является аэробное поражение силосованных кормов, которое зависит от воздухопроницаемости силосуемой массы и грунта в пристенных зонах траншей. Так как в литературных источниках практически отсутствуют данные по этим вопросам, были проведены исследования (в лабораторных и производственных условиях) воздухопроницаемости измельченной массы трав с различной влажностью и плотностью, а также грунта из пристенных зон силосных траншей.

Методы исследования

Исследование воздухопроницаемости массы измельченных трав проводилось в лабораторных условиях в специальной установке и в полевых условиях на экспериментальной базе Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства в Брестской области (ПОСМЗил). Изучение грунта осуществлялось в лабораторных условиях. Опыты проводились с образцами массы измельченных трав (использовался кострец безостый в фазе трубкования) различной влажности и плотности. Длина резки принималась согласно средним производственным результатам для силосования злаков 0,02–0,03 м; влажность – за 39, 55, 65, 70, 75 %.

Грунт для опытов отбирался из пристенной зоны траншей (супесь легкая). Влажность грунта в опытах принималась за 3,95; 5,28; 9,66; 12,21 %.

Основная часть

Установлено, что плотность скелетной массы трав почти не зависит от вида травы и составляет 1,46–1,52 т/м³. Заготовка зеленой массы измельченных трав проводится за один рабочий день, в течение которого в траншею поступает измельченная масса с разной влажностью. По технологическому регламенту, после загрузки массы проводят ее разравнивание, уплотнение и последующую герметизацию.

Создание условий для нормального брожения корма при силосовании возможно лишь при надежной герметизации силосуемой массы. Практически весь объем силосованных кормов приготавливается в горизонтальных хранилищах, герметизация которых осуществляется путем укрытия уложенной и утрамбованной массы полиэтиленовой пленкой. Однако, как показали наблюдения, обеспечить герметизацию хранилища при этом невозможно, т. к. при закладке травы в траншею масса содержит большое количество воздуха с активным кислородом, в присутствии которого аэробные бактерии начинают активно размножаться и разогревать травяную массу (эффект саморазогревания). В результате возникают значительные температурные градиенты, под действием которых даже при полной воздухопроницаемости полотно полиэтиленовой пленки атмосферный воздух всасывается в траншею через грунт пристенных зон, плиты стенок траншеи и стыки между ними. В результате за длительный промежуток времени происходит активизация жизнедеятельности нежелательных

для нормального процесса брожения корма бактерий, что приводит к большим потерям питательных веществ. Поэтому важным является вопрос изучения воздухообмена в массе из измельченных трав при силосовании в горизонтальных хранилищах существующих конструкций для разработки инженерных мероприятий, направленных на повышение эффективности процесса герметизации хранилищ.

Для исследования характера воздухопроницаемости зеленой массы и грунта при различной плотности и влажности была изготовлена лабораторная установка, принципиальная схема которой приведена на рис. 1.

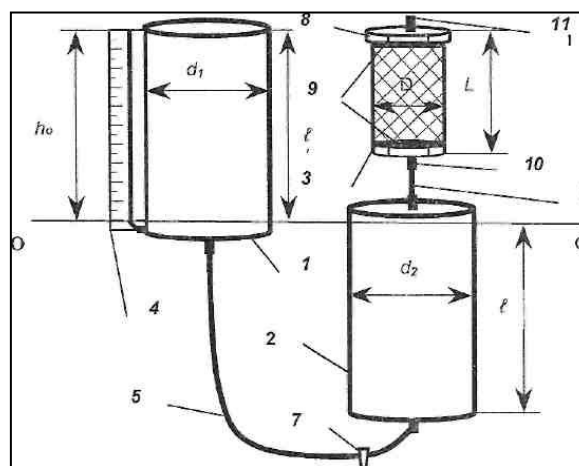


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки для определения воздухопроницаемости массы

Основные части лабораторной установки – измерительный цилиндр 1 с водой, измерительный цилиндр 2 с воздухом, рабочий цилиндр 3 с исследуемым образцом и пьезометр 4. Рабочий цилиндр 3 имеет съемную верхнюю крышку для загрузки исследуемого образца и фиксации его высоты. Это позволяет изменять плотность образца. Штуцеры 10 и 11 служат для подвода и отвода фильтрующего через образец воздуха. Принцип работы установки и методика определения коэффициента воздухопроводимости аналогичны принципу работы приборов и методике определения коэффициентов фильтрации воды в грунте в лабораторных условиях (прибор Тима, трубка Каменского и др.). Рабочий цилиндр 3 заполняется известным объемом массы из измельченных трав или грунта, т.е. с известной их плотностью, фиксируемой после заполнения верхней крышкой 8 рабочего цилиндра. В верхней и нижней частях рабочего цилиндра расположены жесткие штампы 9 со скважностью, превышающей скважность исследуемых образцов травы и грунта.

В процессе опыта после освобождения зажима 7 вода из измерительного цилиндра 1 переходит в цилиндр 2, вытесняя находящийся в нем воздух, который по соедине-

тельному шлангу 6 поступает в рабочий цилиндр 3 и фильтрует через исследуемый образец. В результате эксперимента установлено, что скорость фильтрации воздуха через массу из измельченных трав (стебельную массу) и грунт при различной их плотности и влажности пропорциональна градиенту напора. Это свидетельствует о том, что процессы фильтрации воздуха (процесс воздухопроницаемости) так же, как и процессы фильтрации воды в грунте, подчиняются закону Дарси. Поэтому коэффициент воздухопроницаемости аналогично коэффициенту фильтрации воды в грунтах определялся по формуле:

$$K_{\alpha} = 2,3 \cdot L \cdot \frac{d_1^2}{D^2} \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (1)$$

где K_{α} – коэффициент воздухопроницаемости образца, см/с;

L – высота образца в рабочем цилиндре (путь фильтрации), см;

d_1 – внутренний диаметр измерительных цилиндров, $d_1=d_2$, см;

D – диаметр образца (внутренний диаметр рабочего цилиндра), см;

$\operatorname{tg} \alpha$ – тангенс угла наклона экспериментальной зависимости изменения

$\operatorname{lg} \left(\frac{h_0}{h_0 - h_1} \right)$ – во времени, определяется по формуле (2)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{lg} \frac{h_0}{h_0 - h_1}}{t_i}, \quad (2)$$

где h_0 — первоначальный напор при $t_0=0$;

h_0-h_i — падение уровня за промежуток времени t_i (с) от начала опыта до положения уровня h_i .

Для определения $\operatorname{tg} \alpha$ строились графики зависимости $\operatorname{lg} \left(\frac{h_0}{h_0 - h_1} \right)$ во времени t .

Временная зависимость $\operatorname{lg} \left(\frac{h_0}{h_0 - h_1} \right)$ для образца массы измельченных трав с

влажностью $W=75$ % (отношение массы воды к массе сырого образца) и плотностью $P = 0,91$ т/м³ приведена на рис. 2. Линейная зависимость этой функции характерна и для всех исследуемых образцов стебельной массы измельченных трав и грунтов.

В результате математической обработки исходной информации (рис. 2) получена

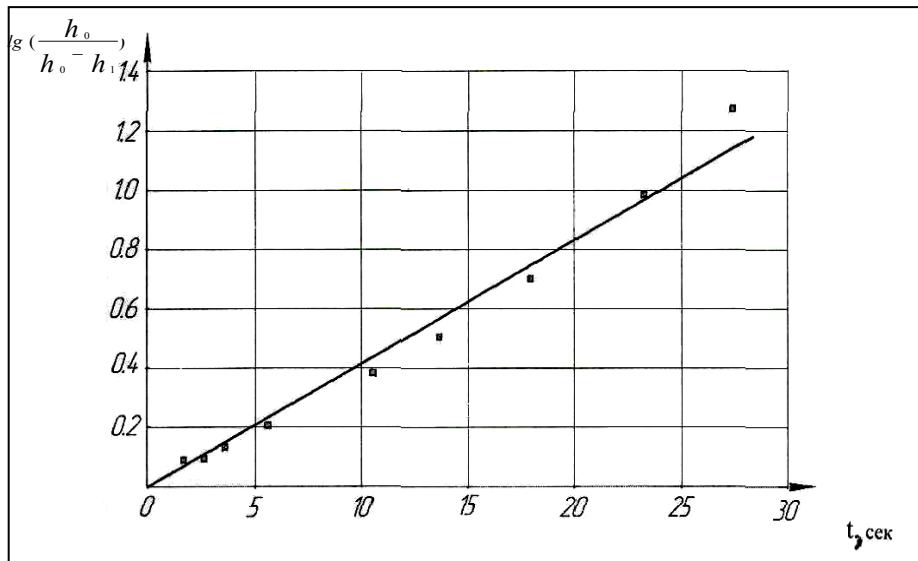


Рисунок 2 – Изменение во времени функции $\lg\left(\frac{h_0}{h_0-h_1}\right)$

следующая зависимость функции $\lg\left(\frac{h_0}{h_0-h_1}\right)$ (Y) от фактора (X) – времени для образца массы измельченных трав влажностью $W=75\%$ и плотностью $0,91 \text{ т/м}^3$.

$$Y_X = 0,453 X - 0,0283 \quad (3)$$

Коэффициент парной корреляции уравнения (3), определяющий тесноту связи между (Y) и фактором (X), равный $r = 0,988$, свидетельствует о наличии тесной связи.

Проверка значимости факторов по заданному для данной выборки критерию Стьюдента (для 5 % уровня значимости) показала, что $t_{aj} > t_a$ превышает допустимую величину. Это свидетельствует о том, что выбранные факторы не случайны.

Коэффициент детерминации ($D = 98,3\%$), количественно характеризующий составляющие между частью вариации зависимости функции $\lg\left(\frac{h_0}{h_0-h_1}\right)$

обусловленной действием включенных в модель факторов и частью, на которую влияют неучтенные факторы, показывает, что 98 % колебаний зависимости искомой функции обусловлены действием включенного в модель фактора, и только 3 % вариации данной функции вызываются неучтенными факторами.

По критерию Р.А. Фишера, существенность различия степеней вариации признаков по числу степеней свободы для 5 % уровня значимости равна $F_{теор} = 2,45$, а $F_{расч} = 222,48$. В расчете $F_{теор} < F_{расч}$, что означает несущественность связи между диспер-

сиями.

Опыты проведены с образцами из массы измельченных трав (кострец безостый в фазе трубкования, длина резки принималась согласно средним производственным результатам для силосования злаков 20–30 мм) и грунта (легкая супесь, образцы отбирались из пристенных зон траншей в экспериментальной базе ПОСМЗил) при различной плотности и влажности, на основании которых построены графики зависимости коэффициента воздухопроницаемости от пористости образца при различной влажности, приведенные на рис. 3 и 4).

В результате математической обработки зависимостей коэффициента воздухопроницаемости от пористости образца для массы с различной влажностью (1 – 39 %, 2 – 55 %, 3 – 65 %, 4 – 70 %, 5 – 75 %) получены следующие корреляционные зависимости (табл. 1).

Т а б л и ц а 1 – Корреляционные зависимости коэффициента воздухопроницаемости от пористости образца для массы измельченных трав с различной влажностью

Корреляционная зависимость	Влажность, %	Регрессионная статистика	Дисперсионный анализ
		Корреляционное отношение η	Критерий Фишера (F)
$Y=9,2633e^{7,9333x}$	39	0,8822	17,35
$Y=8E - 0,5e^{22,648x}$	55	0,9989	131,22
$Y=E - 0,6e^{27,593x}$	65	0,9965	140,32
$Y=600028x^2 - 860607x + 308159$	70	0,9432	120,21
$Y=556533x^2 - 98602x + 286091$	75	0,9373	115,73

Анализируя изменения коэффициента воздухопроницаемости от пористости образца для массы можно отметить, что наблюдается резкий рост данного показателя в интервале значения пористости 0,77–0,72, причем это явление характерно для образцов любой влажности (интервал 55–75%). При пористости образцов 0,68–0,77, рост значений коэффициента воздухопроницаемости незначителен, причем в интервале влажности 65–75% он практически одинаков. Математическая обработка экспериментальных данных показала, что для стебельной массы образцов характерна нелинейная корреляционная зависимость между показателями. Анализ характеристик полученных корреляционных моделей позволяет сделать вывод о практической адекватности построенных моделей реальному процессу. Корреляционные зависимости коэффициента воздухопроницаемости от пористости образца для грунта пристенной зоны при различной влажности массы приведены в табл. 2.

Построенные эконометрические (корреляционные) модели весьма существенны, что подтверждается не только значениями коэффициентов парной корреляции, но и значениями t_{aj} и значениями F -критерия. Они могут быть использованы для целей анализа и прогноза. При увеличении влажности образца при одной и той же пористости воздухо-

проницаемость резко падает, в то же время для всех случаев увеличения пористости вызывает увеличение воздухопроницаемости независимо от влажности образцов.

С увеличением пористости (независимо от влажности образцов) значения коэффициентов воздухопроницаемости начинают сближаться, что подтверждается выше построенными эконометрическими моделями. В то же время, нельзя не отметить тот факт, что с увеличением влажности образцов резко возрастает влияние неучтенных факторов ($a^1_0 = -1660,9$, $a^4_0 = -7466,9$), что свидетельствует о необходимости дальнейшего изучения формирования коэффициента воздухопроницаемости при значительной влажности образцов грунта.

Т а б л и ц а 2 – Корреляционные зависимости коэффициента воздухопроницаемости от пористости образца для массы грунта пристенной зоны при различной влажности массы: 1-3,95; 2-5,28; 3-9,66; 4-12,21.

Вид корреляционной зависимости	Регрессионная статистика	Дисперсионный анализ	
	Коэффициент парной корреляции (r)	Критерий Фишера (F)	t - статистика
$Y = -1660,9 + 13145x$	0,9776	131,0897	11,4494
$Y = -2155,5 + 14060x$	0,9761	122,7581	11,0796
$Y = -780,17 + 11082x$	0,9175	22,2434	4,7162
$Y = -7766,9 + 23801x$	0,9751	78,3897	8,8537

Анализируя полученные зависимости видим, что в массе активная пористость определяется структурой агрегатов ее твердой фазы, содержащей замкнутые поры, воздух из которых может быть отжат лишь при больших давлениях, в том числе при давлениях, развивающихся при высушивании массы. Однако и при этом агрегаты, в силу специфического структурного строения и упругих свойств, не позволяют с помощью применяемых механизмов для уплотнения достигнуть такого снижения пористости, как в грунтах. Вместе с тем, за счет сильной сжимаемости (деформации) самих агрегатов, при уплотнении достигается значительно более резкое снижение эффективной пористости и воздухопроницаемости массы в сравнении с грунтами.

Для массы из провяленных трав при влажности менее 65 % воздухопроницаемость снижается при уплотнении незначительно и даже при максимально возможном уплотнении коэффициенты воздухопроницаемости составляют чрезвычайно большую величину (3000 м /сут и более). Это свидетельствует о том, что обеспечить существенное снижение воздухопроницаемости массы из провяленной травы при приготовлении сенажа за счет уплотнения в горизонтальных хранилищах (траншеях) по применяемой в настоящее время технологии невозможно. Поэтому не представляется возможным обеспечить требуемую герметизацию и исключить воздухообмен в траншеях в процессе брожения корма под действием температурных градиентов.

Учитывая указанные обстоятельства, можно объяснить тот факт, что, несмотря на высокую стоимость, последние 30 лет за рубежом разрабатываются технологии, преду-

смагивающие приготовление силосованных кормов в воздухонепроницаемых оболочках из синтетических материалов. Большие затраты при этом окупаются за счет значительно-го снижения потерь питательных веществ и повышения энергетической ценности этих кормов.

Выводы

1. В результате экспериментов установлено, что скорость фильтрации воздуха в массе из измельченных трав и грунтах изменяется прямо пропорционально градиентам напора и может быть выражена законом фильтрации воды в грунтах (законом Дарси).

2. При уплотнении коэффициент воздухопроницаемости массы из измельченных трав и грунтов изменяется по нелинейной зависимости. Наиболее интенсивно снижается воздухопроницаемость в диапазоне уменьшения пористости массы из измельченных трав от 0,82 до 0,77, затем интенсивность резко снижается. Однако, даже в хорошо уплотненной массе воздухопроницаемость ее имеет большие значения, при которых в процессе трамбования тракторами в результате восстановления деформаций уплотнения, происходящих после каждого прохода трактора в силу упругих свойств массы, воздух после каждого прохода трактора всасывается в уложенную в траншею массу на всю глубину, что вызывает активизацию аэробных бактерий и сильное разогревание массы в процессе загрузки траншей.

3. При уплотнении грунтов воздухопроницаемость их также уменьшается, однако характер процесса несколько отличается от массы из измельченных трав. Воздухопроницаемость грунтов в большей степени зависит от влажности, которая определяет их активную пористость.

4. Воздухопроницаемость грунтов, даже при значительном их уплотнении, остается очень высокой: значительно выше, чем их водопроницаемость, что обуславливает проникновение воздуха в траншею через грунт пристенных зон под действием температурных градиентов.

5. Интенсивность процесса проникновения воздуха в траншею возрастает, когда в процессе загрузки траншеи масса сильно разогрелась, что неизбежно ведет к аэробному поражению корма в пристенных зонах на значительном расстоянии от стенок траншеи.

Литература

1. Справочник по приготовлению, хранению и использованию кормов / П. С. Авраменко и [др]; под ред. П. С. Авраменко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Ураджай. – 1993. – 352 с.
2. Горячкин, В. П. Собрание сочинений в 3-х томах; под ред. Н.Д. Лучинского. М.: Колос, 1965. – 720 с.
3. Особов, В. И. и [др]. Машины и оборудование для уплотнения сено-соломистых материалов (Основы теории расчета рабочих органов). – М.: Машиностроение, 1974. – 231

- с.
4. Долгов, А. И. Машина для ворошения, сгребания трав и оборачивания валков: Учеб. пособие/Дон. гос. техн. ун-т.- Ростов н/Д: ДГТУ, 1994. – 40 с.
 5. Механико-технологическое обоснование процессов подготовки и раздачи кормосмеси крупному рогатому скоту многофункциональными агрегатами: автореф. дис. на соиск. учен. степ д-ра техн. наук: 05 20 01;05 20 09/Тищенко Михаил Андреевич.- Зерноград.-2002.—25 с.
 6. Белоконов, С. А. гранулирование кормовых смесей зубчатым прессом: автореф. .. дис. Канд. техн. наук: 05 20 01 / С.А. Белоконов.- ЗЕРНОГРАД. – 2002. – 25 с.
 7. Черник, П. К., Основин С/ В. Анализ экспериментальных данных по уплотнению массы из измельченных трав. //Современные энерго- и ресурсосберегающие технологии и системы сельскохозяйственного производства: Сб. науч. трудов.- Рязань, РГСХА, 2003г., вып. 7, ч. II. – С. 163–170.
 8. Богомягих, В. А. Теория и расчет бункеров для зернистых материалов/ В.А. Богомягих.- Ростов н/Д: изд. Рост. Ун-та. -1973. – 149 с.
 9. Гячев, Л. В. Основы механики сыпучих тел:- Ростов н/Д: РИСХМ. – 1977. – 31 с.

Summary

Chernik P., Osnovina L., Osnovin S., Markov A., Brezgunov A.

AIR EXCHANGE IN THE HORIZONTAL STORAGE OF STEM MASS IN SILAGE

The article presents the results of experimental studies of mass breathability of crushed herbs as well as of ground of wall zones of horizontal storages. It is proposed coefficient dependences of breathability from porosity of the sample at different humidity.

Поступила 22 августа 2012 г.