

На правах рукописи

Ревич Яков Львович

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ХРАНЕНИЯ
СИЛОСА В МЯГКИХ ВАКУУМИРОВАННЫХ БЛОКАХ
ЗАГЛУБЛЕННЫХ СИЛОСНЫХ ТРАНШЕЙ**

Специальность 05.20.01- Технологии и средства механизации сельского
хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации
Некрашевич Владимир Федорович

Официальные оппоненты: **Семенихин Александр Михайлович,**
доктор технических наук, профессор
/Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г.Зернограде, кафедра механизации и технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции», профессор

Иванов Дмитрий Владимирович,
кандидат технических наук, доцент/ ФГБОУ ВО
«Ставропольский государственный аграрный университет», кафедра машин и технологий агропромышленного комплекса, доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации животноводства Россельхозакадемии (ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии)

Защита диссертации состоится «28» декабря 2015 г. в «10» часов на заседании диссертационного совета Д 220.057.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу: 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний ученого совета, тел.(4912)37-37-40, E-mail: ds220.057.03@yandex.ru

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» и на сайте www.rgatu.ru, с авторефератом - на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации www.vak.ed.gov.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2015 года

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, доцент

Шемякин А.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Обеспечение продовольственной безопасности страны, импортзамещение и независимость от иностранных поставщиков сельхозпродукции, повышение качества жизни населения, являются основными задачами, стоящими перед АПК России. Одно из главных направлений решения этой задачи – развитие животноводства, которое в свою очередь должно быть обеспечено кормами. Создание прочной кормовой базы - это не только увеличение производства и повышение качества кормов, но прежде всего внедрение высокоэффективных способов и средств их производства, приготовления и хранения.

Силос - наиболее важный консервированный «зимний», а в некоторых регионах, круглогодичный корм для жвачных животных. Около 90% всех силосохранилищ в России – это силосные траншеи. По приведенным исследованиям потери кормов в них, при соблюдении требований технологии силосования составляют 10-14%, а при нарушении их до 45%. Основными причинами потерь кормов в траншейных силосохранилищах являются морально устаревшие технологии их приготовления и хранения. Поэтому разработка технологического процесса блочно-вакуумного приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках из синтетических пленок в силосных траншеях, направленная на повышение качества и сокращение его потерь, является актуальной народнохозяйственной задачей.

Степень разработанности темы. Большой вклад в изучение процессов силосования кормов внесли отечественные учёные. Технологией производства силосованных кормов и путям повышения их эффективности, а также разработке теоретических основ уплотнения сельскохозяйственной продукции посвящены работы П.С.Авраменко, Л.Г.Боярского, С.Н. Борычева, Н.В. Бышова, А.И. Завражнова, Д.В. Иванова, М.Ю. Костенко, В.А. Ксендзова, В.Ф.Некрашевича, И.М. Павлова, А.М. Семенихина, И.А. Успенского и др. Теория «сахарного минимума» разработана профессором А. А. Зубрилиным. Но недостаточная разработанность теоретических и организационно-методических аспектов повышения надежности и эффективности функционирования производственных процессов приготовления и хранения кормов, существующих в настоящее время, обеспечения их конкурентоспособности в современных условиях, актуальность и практическая значимость данной тематики обусловили выбор темы, постановку цели, задач и структуру диссертационного исследования.

Цель исследования – совершенствование технологического процесса приготовления и хранения силоса за счет разработки мягких вакуумированных блоков заглубленных силосных траншей.

Объект исследований - технологический процесс приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных силосных траншей.

Предмет исследований – закономерности технологического процесса приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных силосных траншей

Научная новизна работы заключается в разработке технологического процесса приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных

силосных траншей; теоретическом и экспериментальном обосновании параметров мягких вакуумированных блоков заглубленных силосных траншей; теоретическом и экспериментальном обосновании режимов вакуумирования мягких блоков при приготовлении силоса.

Новизна разработанных технических решений подтверждена патентами Российской Федерации на полезную модель: №129768 «Устройство для силосования кормов»; №136951 «Устройство для блочно-вакуумного силосования кормов».

Практическую значимость работы составляют: разработанный технологический процесс приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных силосных траншей; конструкция мягкого вакуумированного блока для приготовления и хранения силоса; рациональные параметры мягких блоков и режимы их вакуумирования; результаты оценки приготовления силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных силосных траншей.

Методы исследований. Методологическую основу исследований составили методы системного и структурного анализа, математической статистики и сравнительного эксперимента. Аналитическое описание технологических процессов выполнялось с использованием методов геотехники, теоретической механики, математического компьютерного моделирования. Обработка результатов экспериментальных исследований проводилась на ЭВМ с использованием программных комплексов «ПК ЛИРА 9.6», «ПК Мономах»), программ Excel, интегрированной системы MathCad. Экономическая эффективность предлагаемых разработок определялась по стандартной методике для научно-исследовательских работ и новой техники.

Положения, выносимые на защиту:

- разработанный технологический процесс приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных силосных траншей и конструкция мягкого вакуумированного блока;
- результаты теоретического и экспериментального обоснования параметров мягких вакуумированных блоков заглубленных силосных траншей и режима вакуумирования мягких блоков при приготовлении и хранении силоса;
- результаты сравнительных исследований предлагаемого и существующего технологических процессов приготовления и хранения силоса в условиях производства;
- оценка технико-экономической эффективности использования технологического процесса приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных силосных траншей.

Достоверность результатов исследований. При проведении экспериментальных исследований использовались современные методики, приборы и установки. Результаты теоретических исследований в достаточной мере согласуются с полученными экспериментальными данными. Результаты, полученные в ходе выполнения работы, согласуются с результатами, опубликованными в независимых источниках по тематике исследования и прошли широкую апробацию в печати, на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

Реализация результатов исследований. Технологический процесс приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных силосных траншей

внедрен в производственную деятельность ведущего хозяйства Рязанского АПК - ООО «Авангард» Рязанского района, производственные испытания показали высокую эффективность применения мягких вакуумированных блоков при приготовлении силоса - получен силос 1 класса. Результаты научной работы по совершенствованию силосных траншей внедрены в ОАО Проектный институт «Рязаньагропромспецпроект».

Вклад автора в решение научно-технических задач состоит в разработке технологического процесса приготовления и хранения силоса, конструкции мягких вакуумированных блоков заглубленных силосных траншей, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обработке и интерпретации полученных результатов, написании научных статей и оформлении патентных заявок.

Апробация результатов. Основные положения диссертации докладывались, обсуждались и были одобрены на научно-практических конференциях МГОУ, МАМИ, РГАТУ (2011-14гг.), межвузовских научно-технических конференциях студентов, молодых ученых и специалистов «Новые технологии в учебном процессе и производстве», РИ(ф) МГОУ, Рязань, (2012-14гг.). Теоретические и экспериментальные положения диссертации обсуждались и докладывались автором в ФГБОУ ВПО РГАТУ; на 63-ей научно-практической конференции «Инновационные направления и методы реализации научных исследований в агроинженерии», международной научно-практической конференции «Мелиорация в России - традиции и современность» (Москва, 2012г., Университет природообустройства).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ объемом 10,52 п. л., в том числе авторских – 6,47 п. л., из которых 2 – в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 патента РФ на полезную модель, одна монография.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 155 наименований и приложений. Работа изложена на 142 страницах, содержит 49 рисунков, 9 таблиц, 18 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

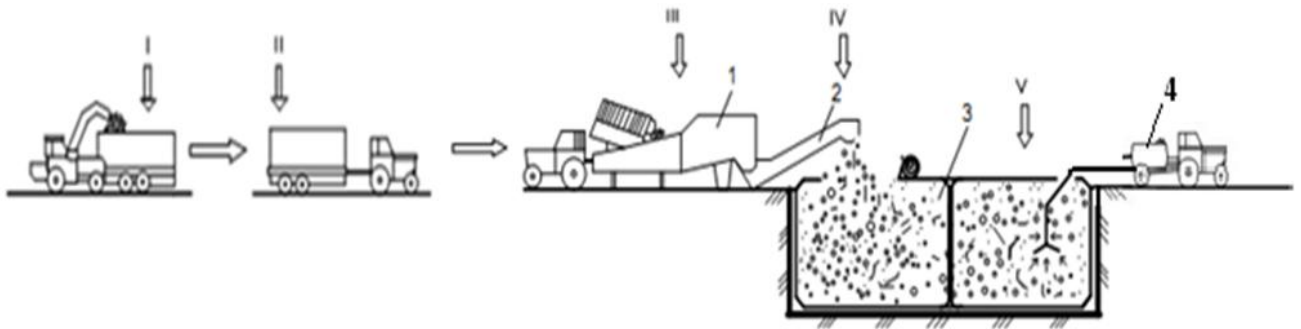
Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель исследования, научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе - «Анализ способов и средств приготовления и хранения силоса» - рассмотрены вопросы использования силоса в кормлении крупного рогатого скота; виды силоса и его основные физико-механические свойства; проведен анализ выполненных исследований по эффективному приготовлению и хранению силоса, причин потерь силоса из кукурузы. На основании выполненного анализа сформулированы **задачи исследований:**

- разработать технологический процесс приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных силосных траншей;
- теоретически и экспериментально обосновать параметры мягких вакуумированных блоков заглубленных силосных траншей;
- теоретически и экспериментально обосновать режим вакуумирования мягких блоков при приготовлении силоса;

- провести сравнительные исследования предлагаемого и существующего технологических процессов приготовления и хранения силоса в условиях производства;
- оценить технико-экономическую эффективность использования технологического процесса приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных силосных траншей.

Во второй главе «Теоретические исследования технологического процесса приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных силосных траншей» на основании анализа существующих технологий приготовления и хранения силоса нами разработан технологический процесс приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных силосных траншей, с использованием передвижной (рисунок 1) или стационарной вакуумных установок (рисунок 2).



I-уборка, измельчение и загрузка силосной массы в транспорт; II-транспортирование силосной массы к месту закладки; III- разгрузка силосной массы в питатель-дозатор; IV- загрузка силосной массы транспортером в мягкий вакуумный блок силосной траншеи; V- закрытие и герметизация мягкого вакуумного блока в силосной траншее; вакуумирование и уплотнение силосной массы вакуумным насосом прицепной вакуумной цистерны ПЦФ-4.

1 - питатель-дозатор; 2 - транспортер; 3- мягкий блок в силосной траншее; 4- передвижная вакуумная установка (прицепная вакуумная цистерна ПЦФ-4).

Рисунок 1- Схема загрузки силосной массы в мягкие вакуумированные блоки заглубленной силосной траншеи.

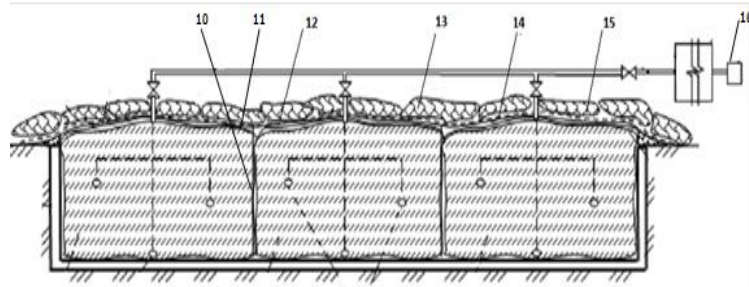
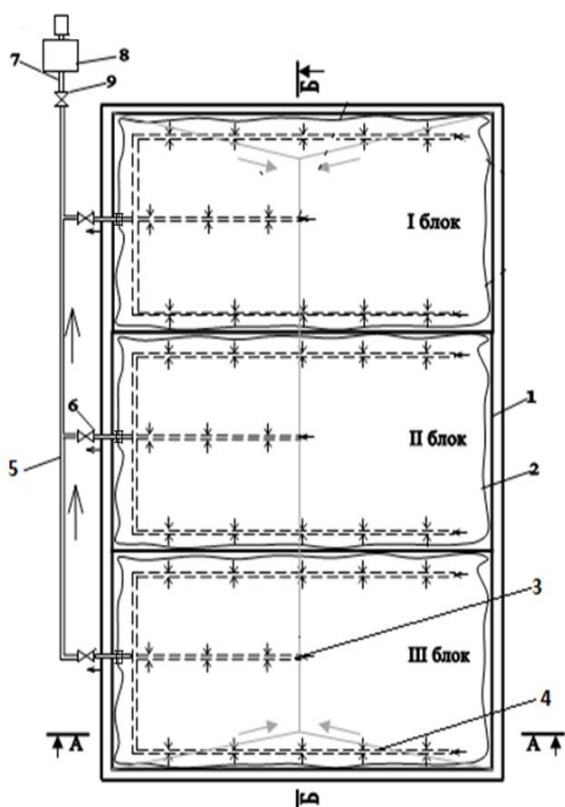
Скошенная и измельченная зеленая масса загружается в транспорт и транспортируется к силосной траншее, где выгружается в питатель-дозатор, откуда транспортером подается в траншею, в вакуумированный мягкий блок из синтетической пленки, и через его открытую верхнюю часть заполняется силосной массой с учетом ее уплотнения. После заполнения блок герметично закрывается. Уплотнение силосной массы, отвод силосного сока и воздуха в нем выполняются с помощью передвижной, прицепной вакуумной цистерны ПЦФ-4 (рисунок 1) или стационарной (рисунок 2) вакуумной установки. Атмосферное давление через мягкие стенки блока уплотняет силосную массу, то есть блок подвергается всестороннему объемному трехмерному сжатию от равномерно распределенной нагрузки давления. При этом мягкая оболочка блока из синтетической пленки при вакуумировании плотно обтягивает силосную массу по всей поверхности и доводит ее до плотности, необходимой для качественного приготовления и хранения силоса. Создается объемное трехмерное уплотнение силосной массы, которое происходит за счет устранения воздушных пор и пустот в ней и увеличения площади контактов между частицами силосной массы. При дальнейшем вакуумировании силосная масса

достигает необходимой степени уплотнения. Воздух и силосный сок из мягкого блока под действием создаваемого разряжения через обратный клапан выводится в цистерну, откуда направляется на переработку. При этом небольшая часть кислорода и сока оставляется для поддержания молочнокислого брожения и приготовления силосной массы. При необходимости возможно дополнительное вакуумирование. Таким образом, достигается оптимальная плотность силосной массы внутри мягких вакуумированных блоков в силосной траншее. Размеры, объем, и количество вакуумированных блоков в траншее могут быть различными и должны приниматься исходя из потребности в дифференцированном суточном кормлении крупного рогатого скота.

Для выемки силоса из блоков в траншее может быть использован способ блочной выемки консервированных кормов погрузчик консервированных кормов (В.Ф. Дубинин, И.М. Павлов, А.А. Толкалов).

Устройство силосной траншеи для приготовления и хранения силоса в вакуумированных блоках (вариант со стационарной вакуумной системой, патент РФ на полезную модель №136951). Заглубленная траншея 1 (рисунок 2) имеет форму прямоугольника, объем которого делится на несколько самостоятельных блоков, в каждом из которых с

помощью синтетической пленки 11 выполняется герметичный мягкий блок 2 для закладки в него силосной массы. После ее закладки мягкий блок закрывается и герметизируется. Соединение пленки может выполняться заклеивкой лентой-скотчем, свариванием сварочным аппаратом с горячим клином ТН-501 или герметичной двойной zip-lock застежкой.



1-траншея; 2-мягкий вакуумированный блок;
3-перфорированная труба для отвода сока;
4-перфорированная труба для отвода воздуха;
5-коллектор; 6-запорный вентиль трубопровода от

блока; 7-штуцер; 8- резервуар для сбора силосного сока; 9-вентиль коллектора; 10- щиты перегородки; 11-синтетическая пленка вакуумированного блока; 12-металлическая сетка; 13-мешки со щебнем; 14-известь-пушенка; 15-тюки соломы; 16- вакуумный насос.

Рисунок 2 – Схема устройства силосной траншеи для приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках (вариант со стационарной вакуумной системой) Между блоками предусмотрены временные деревянные щиты 10. Таким образом, в траншее формируются самостоятельные мягкие вакуумированные блоки с силосной массой, изготовленные из синтетической пленки, что создает возможности и условия

для отдельного уплотнения, приготовления и хранения силоса с использованием вакуума. Для создания вакуума на дно каждого блока, поверх пленки 2, уложены перфорированные трубы 3 для откачки сока, конец которых выведен из траншеи выше уровня грунта, запорный вентиль 6 и штуцер 7 для подсоединения к коллектору и вакуум-наосу 16 для отвода газожидкостной среды в резервуар 8 для сбора силосного сока. Перфорированные трубы 4 для откачки воздуха, расположены выше уровня сока и выводятся в тот же коллектор, отверстия в трубах закрыты мелкоячеистой синтетической сеткой для защиты от попадания измельченной зеленой массы. Уплотнение тракторами не производится, а выполняется за счет создания вакуума. Величина уплотнения силосной массы в блоке доводится до $750-850 \text{ кг/м}^3$, что выше нормативного уплотнения в $600-650 \text{ кг/м}^3$ в стандартной траншее, создаваемого гусеничным трактором массой 14 т. («Амкодор 352с-02» с массой 14,5 т). Контроль уплотнения производится с измерением температуры зеленой массы в блоке, которая не должна превышать $28-30^\circ\text{C}$. После этого в уплотненной и изолированной от наружного воздуха зеленой массе, начинается процесс молочнокислого брожения, сопровождающийся выделением небольшого количества сока, который при помощи насоса 16 откачивается из блока и сливается в резервуар 8 для сбора силосного сока. Отключается вакуумный насос 16 и происходит процесс отдельного холодного силосования силосной массы в отдельных мягких блоках заглубленной траншеи.

Разработанное комбинированное укрытие силосной траншеи (рисунок 2) состоит из синтетической пленки мягких блоков 11, поверх которой укладывается защитная металлическая сетка 12. Для этих же целей по ее поверхности рассеивается известь – пушенка 14. Сверху на сетку 12 уложены мешки со щебнем 13, для создания дополнительной статической нагрузки и удержания укрытия. Для защиты от промерзания силоса траншея укрывается тюками соломы толщиной 50 см.

В связи с приготовлением и хранением силоса в блоках из синтетической пленки исключается проникновение в них окружающих грунтовых вод, вытекание и разрушающее влияние силосного сока на бетонные стены и днище силосохранилища, тем самым обеспечивается экологическая безопасность окружающей среды и грунтовых вод. При дополнительной установке блоков с силосом в «биг-бэги» создается дополнительная прочность пленки блоков и возможность их длительного транспортирования автотранспортом.

Проведем теоретическое обоснование параметров мягкого вакуумированного блока заглубленных силосных траншей и режима вакуумирования. Блок вмещает суточную потребность фермы в силосе. На рисунке 3 а, б, в - показан мягкий вакуумированный блок из синтетической пленки и деление его формы на геометрические составляющие.

Начальный объем блока:

$$V_{Нб} = (\pi R^2 + ab) \cdot c = \pi R^2 c + abc; \quad (1)$$

где: a, b, c – размеры блока, м; R – радиус оболочки блока, м

Вакуумированный блок подвергается всестороннему сжатию от равномерно распределенного давления $\Delta P_{\text{вак}}$, равного разности между наружным атмосферным давлением $P_{\text{атм}}$ и создаваемым внутри мягкого блока остаточным давлением (разряжения) $P_{\text{ост}}$:

$$\Delta P_{\text{вак}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{ост}}$$

где $\Delta P_{\text{вак}}$ - давление уплотнения, кПа; $P_{\text{атм}}$ - атмосферное давление, кПа
 $P_{\text{ост}}$ - остаточное давление (разряжения) внутри блока, кПа

Объем блока после вакуумирования равен:

$$V_{B\delta} = [\pi(R - \Delta R)^2 + (a - \Delta a)(b - \Delta b)] \cdot (c - \Delta c); \quad (2)$$

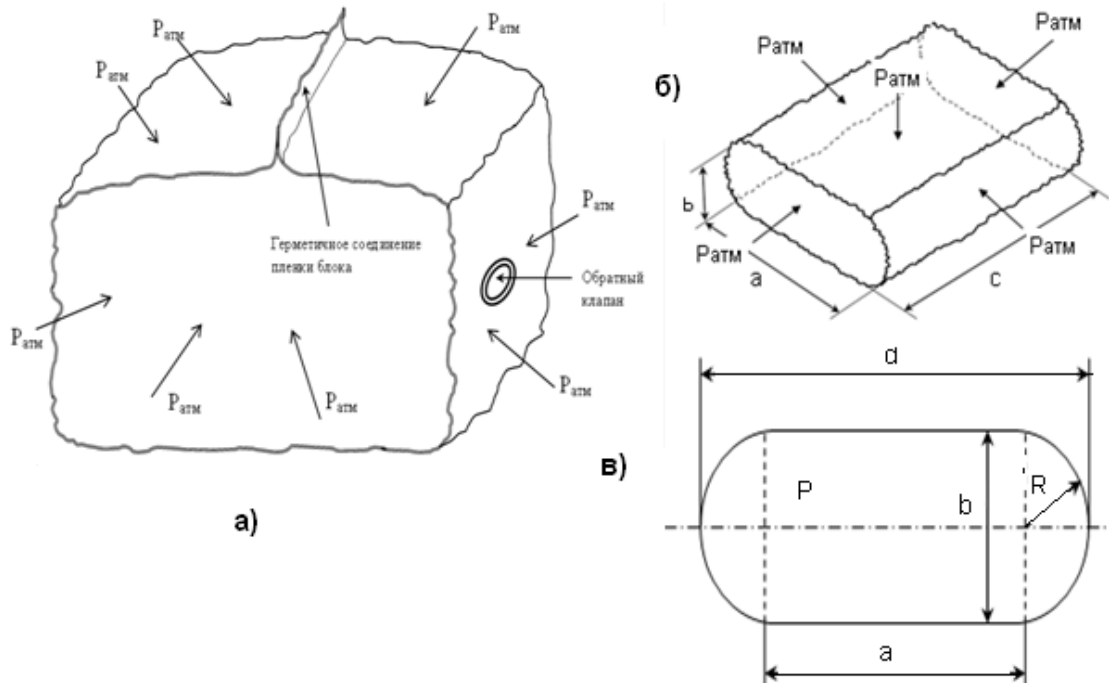


Рисунок 3а, б, в – Вакуумированный мягкий блок и его деление на геометрические составляющие

Уменьшение объема (усадка) составит:

$$\Delta V = V_{H\delta} - V_{B\delta}; \quad (3)$$

Где ΔV – уменьшение объема блока, м³; $V_{H\delta}$ – начальный объем блока, м³;

$V_{B\delta}$ - объем блока после вакуумизации, м³

Коэффициент усадки:

$$K_y = \frac{V_{H\delta}}{V_{B\delta}} = \frac{(\pi R^2 + ab) \cdot c}{[\pi(R - \Delta R)^2 + (a - \Delta a)(b - \Delta b)] \cdot (c - \Delta c)} \quad (4)$$

Исходя из обобщенного закона Гука, изменение (уменьшение размеров) мягкого блока в пределах упругих деформаций при вакуумировании составит:

$$\Delta a = a \cdot \frac{P_{\text{атм}}}{E} (1 - 2\mu), \quad (5)$$

$$\Delta b = b \cdot \frac{P_{\text{атм}}}{E} (1 - 2\mu), \quad (6)$$

$$\Delta c = c \cdot \frac{P_{\text{атм}}}{E} (1 - 2\mu), \quad (7)$$

$$\Delta R = R \cdot \frac{P_{\text{атм}}}{E} (1 - 2\mu), \quad (8)$$

где $P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, кПа; E – модуль упругости пленки; μ – коэффициент Пуассона.

Новый объем мягкого блока после вакуумирования и усадки:

$$V_{B\delta} = [\pi(R - \Delta R)^2 + (a - \Delta a)(b - \Delta b)] \cdot (c - \Delta c) \quad (9)$$

После математических преобразований:

$$V_{B\delta} = (\pi R^2 c + abc) \left(1 - 3 \frac{P_{\text{атм}}}{E} (1 - 2\mu) + 3 \left(\frac{P_{\text{атм}}}{E} (1 - 2\mu) \right)^2 - \left(\frac{P_{\text{атм}}}{E} (1 - 2\mu) \right)^3 \right)$$

Уменьшение объема (усадка) ΔV мягкого блока составит:

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_{H\delta} - V_{B\delta} = \pi R^2 c + abc - (\pi R^2 c + abc) = \\ &= \pi R^2 \cdot \left[1 - 3 \frac{P_{\text{атм}}}{E} (1 - 2\mu) + 3 \left(\frac{P_{\text{атм}}}{E} (1 - 2\mu) \right)^2 - \left(\frac{P_{\text{атм}}}{E} (1 - 2\mu) \right)^3 \right] = \\ &= (\pi R^2 c + abc) \left[3 \frac{P_{\text{атм}}}{E} (1 - 2\mu) - 3 \left(\frac{P_{\text{атм}}}{E} (1 - 2\mu) \right)^2 + \left(\frac{P_{\text{атм}}}{E} (1 - 2\mu) \right)^3 \right] \end{aligned} \quad (10)$$

Результирующая сила воздействия на стенку блока будет равна:

$$N = \Delta P_{\text{вак}} \cdot S; \quad S = (\pi R^2 + ab); \quad \text{тогда } N = (P_{\text{атм}} - P_{\text{ост}}) \cdot (\pi R^2 + ab)$$

Давление на днище мягкого блока определяется по формуле:

$$P_{\text{днища}} = (\gamma V + N), \quad (11)$$

где γ - объемная плотность силосуемой массы, кгс/м³;

V - высота от верха силосуемой массы до уровня днища блока (высота блока), м;

N - вакуумметрическое давление, кПа.

Давление на стенки мягкого блока определяется как:

$$P_{\text{стенки}} = P_{\text{днища}} K_{\text{д}} = (\gamma V + N) K_{\text{д}}, \quad (12)$$

где $K_{\text{д}}$ - коэффициент бокового давления силосуемой массы, определяемый по формуле:

$$K_{\text{д}} = \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (13)$$

где φ - нормируемый угол внутреннего трения силосуемой массы.

В соответствии с произведенными расчетами давлений на мягкий вакуумированный блок, необходимо отметить, что в процессе уплотнения происходит объемное трехмерное сжатие силосной массы внутри мягкого блока, в отличие от малоэффективного осевого сжатия (сверху вниз) силосной массы при трамбовании тракторами в стандартной силосной траншее.

Проведем обоснование прочности оболочки - синтетической пленки для мягкого вакуумированного блока. На рисунке 4 приведена оболочка мягкого вакуумированного блока и её расчетная схема. Рассмотрим мягкий вакуумированный блок, как оболочку цилиндрической поверхности радиуса R и толщиной h , находящуюся под действием уплотняющего давления (равного разнице постоянного наружного атмосферного $P_{\text{атм}}$ и внутреннего остаточного $P_{\text{ост}}$ давлений).

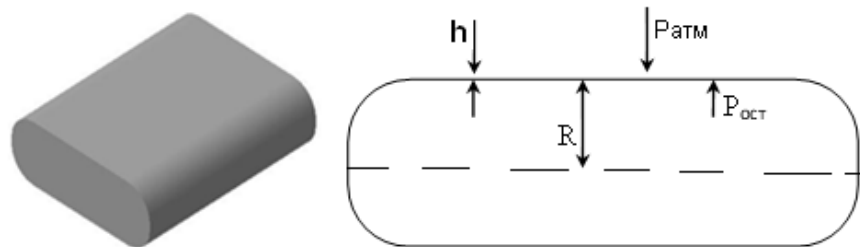


Рисунок 4 – Расчетная схема оболочки мягкого вакуумированного блока.

Отсекаем поперечным сечением часть оболочки (рисунок 5а, б, в) и составляем для нее уравнение равновесия:

$$\sigma_m 2\pi R h = \Delta P \quad (14)$$

где σ_m – меридиальное напряжение

Определяем напряжения в оболочке по безмоментной теории. Положим, задана поверхность F (рисунок 5 а), на которую действует равномерно распределенное давление P . Необходимо определить проекцию на ось x равнодействующей сил давления.

Проекция P_x будет равна: $P_x = P \int_F \cos\varphi \cdot dF$, где φ - угол между нормалью к поверхности и осью x . Площадь проекции элемента dF на плоскость X , перпендикулярную к оси x , равна $dF' = dF \cdot \cos\varphi$

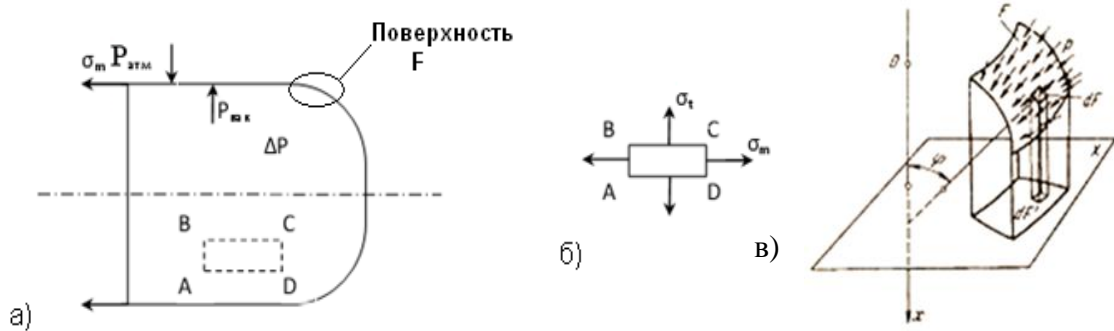


Рисунок 5 а, б, в – Отсеченная часть оболочки, элемент цилиндрической поверхности и схема действующего равномерно распределенного давления на поверхность F .

$$\text{Следовательно, } P_x = P \int_F dF' = pF'$$

Таким образом, для того чтобы определить проекцию равнодействующей сил давления на ось x , необходимо предварительно спроектировать поверхность на плоскость X , а затем умножить давление на площадь этой проекции.

Осевая составляющая сил давления будет равна:

$$\Delta P = \pi R^2; \quad \Delta P = \pi R^2 (P_{атм} - P_{осм})$$

Таким образом, уравнение равновесия (14) запишется в виде:

$$\begin{aligned} \sigma_m 2\pi R h &= \pi R^2 (P_{атм} - P_{осм}) \\ \sigma_m 2h &= R (P_{атм} - P_{осм}) \end{aligned}$$

Тогда меридиональное напряжение σ_m равно:

$$\sigma_m = \frac{R(P_{атм} - P_{осм})}{2h} \quad (15)$$

Для цилиндра радиус кривизны $\rho_m = \infty, \rho_t = R$. Поэтому из уравнения Лапласа:

$$\frac{\sigma_m}{\rho_m} + \frac{\sigma_t}{\rho_t} = \frac{p}{h} \quad (16)$$

где: ρ_m – радиус кривизны дуги меридиана ее срединной поверхности;
 ρ_t – второй главный радиус кривизны нормального сечения

Находим окружное напряжение σ_t :

$$\frac{\sigma_t}{R} = \frac{P_{атм} - P_{осм}}{h} \quad \text{или} \quad \sigma_t = \frac{R(P_{атм} - P_{осм})}{h} \quad (17)$$

Из формул 16 и 17 следует, что окружное напряжение σ_t вдвое больше меридианального σ_m . Рассмотрим элемент ABCD, выделенный из оболочки (рисунок 5 б). Элемент ABCD находится в двухосном напряженном состоянии:

$$\sigma_1 = \sigma_t; \quad \sigma_2 = \sigma_m; \quad \sigma_3 = 0.$$

В тонкостенных оболочках обычно величины σ_m и σ_t намного больше, чем интенсивность внутреннего давления p , и поэтому величиной σ_3 можно пренебречь. Для рассматриваемой оболочки эквивалентное напряжение находится по формуле:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_1 - k\sigma_3 = \frac{R(P_{\text{атм}} - P_{\text{осм}})}{h} \quad (18)$$

где: -отношение предела текучести при растяжении к пределу текучести при сжатии (согласно теории - круги Мора, если материал при растяжении и сжатии имеет одинаковые пределы текучести $k=1$)

Найдем максимальное напряжение с учетом коэффициента надежности n

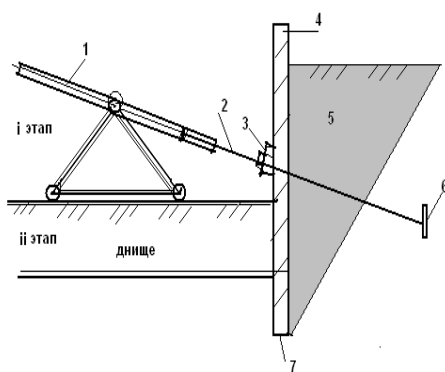
$$\sigma_{\text{max}} = n \cdot \frac{R(P_{\text{атм}} - P_{\text{осм}})}{h} \leq [\sigma] \quad (19)$$

Оптимальная толщина оболочки – пленки вакуумированного блока зависит от действующего вакуумметрического давления уплотнения, допускаемого напряжения $[\sigma]$, с учетом физико-механических свойств материала пленки, и коэффициента надежности n ,

равна:

$$h = n \cdot \frac{R \cdot (P_{\text{атм}} - P_{\text{осм}})}{[\sigma]} \quad (20)$$

При загрузке мягких вакуумированных блоков транспортер-загрузчик находится в непосредственной близости от стенок заглубленной силосной траншеи, что может привести к обрушению последних. Для обеспечения дополнительной прочности и устойчивости стен заглубленной силосной траншеи разработаны специальные анкерные крепления (патент РФ на полезную модель № 131748). Заглубленные в грунт анкеры служат для восприятия внешних выдергивающих и опрокидывающих усилий действующих на стены траншей. Грунтовый анкер - механическое устройство для передачи растягивающих нагрузок от закрепляемых стен траншеи на несущие, более прочные слои грунта. Основным элементом анкера – специальная пластина, которая после погружения в грунт разворачивается перпендикулярно действующим выдергивающим нагрузкам, перераспределяя их на себя. Характер деформации анкерной плиты зависит не только от глубины их заложения, но и от типа грунта, их сопротивления выдергиванию, наклона анкерной плиты к действующей нагрузке. Схема установки грунтовых анкеров приведена на рисунке 6.



1 - установка для перемещения анкеров; 2 - грунтовый анкер; 3 - крепление анкерной тяги на стене силосохранилища; 4 – стена; 5 - грунт; 6 - анкерная пластина;

7 - консольная часть стены, заглубленная в грунт.

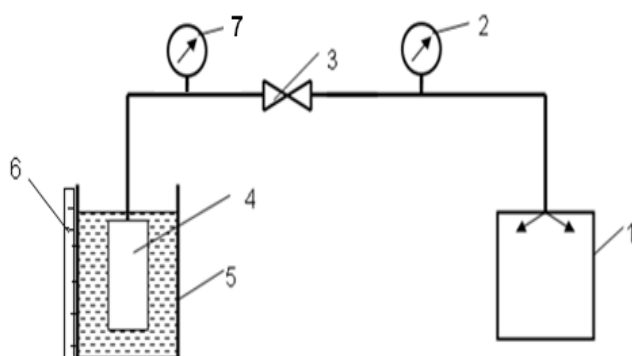
Рисунок 6 - Схема установки грунтовых анкеров.

Допускаемое усилие в анкере зависит, во-первых, от прочности материала анкерной тяги, а во-вторых, от несущей способности анкерной плиты в грунте.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований технологического процесса приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных силосных траншей». Разработана программа и методики проведения лабораторных исследований и производственных испытаний, которые необходимы для успешной реализации технологического процесса приготовления и хране-

ния силоса в мягких вакуумированных блоках. В связи с этим программа исследований включала методики: определения изменения объема и плотности силосной массы внутри мягкого блока от величины уплотняющего давления; определения расхода откачиваемого воздуха из мягкого блока с силосной массой; определения прочности синтетической пленки мягкого блока в зависимости от ее толщины и уплотняющего давления; определения несущей способности анкерных креплений стен силосной траншеи в процессе производственных испытаний.

Для определения изменяющихся объемов силосной массы внутри мягкого вакуумированного блока от действия различных уровней вакуумметрического давления (разряжения) использовался пикнометрический способ, в основе которого лежит закон Архимеда. Для проведения исследований разработана установка (рисунок 7).

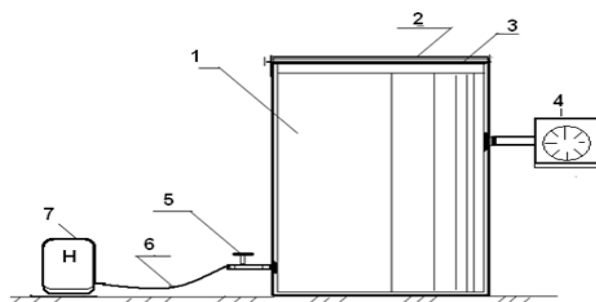


1- вакуумный насос; 2- вакуумметр;
3- кран; 4- мягкий блок с силосной массой;
5- емкость с водой; 6- градуированная шкала уровней жидкости в емкости; 7- счетчик расхода воздуха.

Рисунок 7 - Схема экспериментальной установки для измерения объема силосной массы и расхода воздуха внутри мягкого вакуумированного блока.

Разработана методика определения расхода откачиваемого воздуха из мягкого блока с силосной массой в зависимости от времени и величины вакуумметрического давления. Для проведения эксперимента по испытанию синтетических пленок создана лабораторная установка (рисунок 8). Пленка блока является границей между двух сред: атмосферного давления и остаточного давления разряжения внутри мягкого блока. Под влиянием разницы между этими давлениями - вакуумметрического давления, пленка растягивается и плотно облегает все неровности силосной массы. Разработанная методика лабораторного эксперимента по определению прочности синтетических пленок под действием вакуумметрического давления предусматривала определение их прочности на растяжение и разрыв. По итогам построены зависимости прочности синтетических пленок вакуумированных блоков на растяжение и разрыв от уплотняющего давления.

а)



б)



1-стальной корпус; 2- синтетическая пленка 3- крепежный хомут; 4- вакуумметр; 5-кран;
6 – вакуумопровод; 7- вакуумный насос

Рисунок 8 - Установка для испытания оболочки мягкого блока (синтетической пленки): а) схема установки; б) вид общий установки

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований технологического процесса приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных силосных траншеях», приведены результаты исследований.

По результатам проведенного эксперимента построены графические зависимости изменения объема и плотности силосной массы в мягком вакуумированном блоке от действия приложенного уплотняющего давления (рисунок 9 а, б). Как видно из приведенных графиков с вероятностью 0,9972, под влиянием вакуумметрического давления в 61,7 кПа в мягком вакуумированном блоке имеет место уменьшение объема силосной массы в 1,42 раза. Полученная при этом плотность силосной массы в мягком блоке составляет 869,74 кг/м³, что больше требуемой нормативной плотности силосной массы в 650-750 кг/м³ в стандартных силосных траншеях, получаемой уплотнением тракторами.

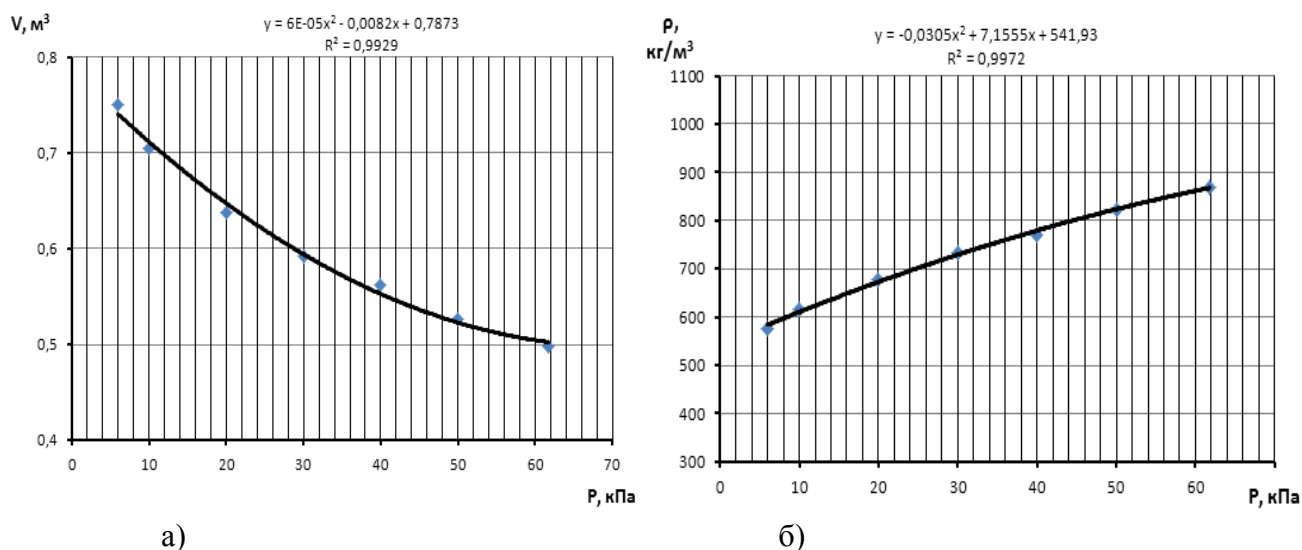


Рисунок 9 а,б – Графическая зависимость изменения: а) объема силосной массы; б) плотности силосной массы от действия уплотняющего давления.

Нами испытаны синтетические пленки толщиной 100, 150, 200 мкм. Построены зависимости прочности пленок на растяжение от действия давления вакуумирования (рисунок 10). Анализируя деформации в растянутой пленке, необходимо отметить, что удлинение в продольном направлении пленки сопровождается пропорциональным уменьшением ее поперечных размеров, появлением микротрещин, возникновением очага концентрации напряжений, который приводит к разрыву пленки.

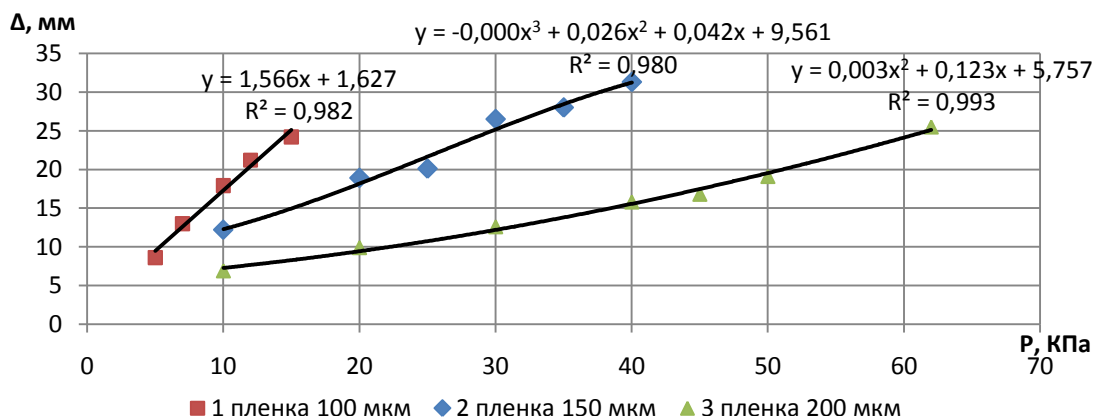


Рисунок 10 – Графические зависимости растяжения пленок от различных уровней уплотняющего давления

Нами рекомендуется пленка толщиной 200 мкм, так как она имеет большую стойкость на прокалывание. Мягкий вакуумированный блок в силосной траншее может надёжно сохранять силос при условии, что будут правильно выбраны его параметры: структура, состав и толщина плёнки, размеры блока. Проведенные эксперименты и полученные результаты подтверждают достоверность выполненных теоретических расчетов по эффективному уплотнению, приготовлению и хранению силоса в вакуумированных мягких блоках из синтетических пленок в силосных траншеях. Сходимость теоретических и экспериментальных данных составляет 3,1%.

В пятой главе «Производственные испытания и технико-экономическая эффективность использования технологического процесса приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных силосных траншей» приведены результаты испытаний. Испытания проводились в ОАО «Авангард» Рязанского района Рязанской области. При анализе полученных результатов сравнивалось качество силоса, приготовленного по разработанному технологическому процессу и силоса, хранящегося в той же силосной траншее хозяйства, заготовленного по стандартной технологии. Были изготовлены два мягких вакуумированных блока емкостью 2м³, в которые закладывалась измельченная кукурузная масса в стадии восковой спелости сорта «Родник 180 СВ»; влажностью 63,5%; средняя масса растения 538г; средний размер резки частиц силосной массы при уборке 25-30 мм. Исследования качества силоса проводились в лицензированной лаборатории Министерства сельского хозяйства РФ - испытательной лабораторией по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства ФГУ станцией агрохимической службы «Подвязьевская». В результате лабораторных испытаний силоса в мягких вакуумированных блоках, получен кукурузный силос 1 класса с содержанием массовой доли сухого вещества 29,1%, перевариваемого протеина 10,6г/кг, рН = 4,1ед, питательности 0,26 к. е. в одном килограмме с обменной энергией 2,95 МДж/кг.

Расчеты показывают, что на производство одной тонны силоса, приготовленного по разработанной технологии с хранением блоков в заглубленных траншеях, затрачено на 386 рублей меньше, чем в металлических вакуумированных контейнерах, установленных на складе. При годовом объеме производства 382,2 т силоса, разница в расходах составляет 147703 рублей без учета повышения продуктивности животных. Согласно выполненным расчетам рассматриваемый проект технологии окупается за 0,84 года.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ (ЗАКЛЮЧЕНИЕ)

1. Установлено, что существующие технологические процессы приготовления и хранения силоса в заглубленных траншеях имеют ряд недостатков, основными из которых являются потери в виде сока, угара и порчи силосной массы, составляющие от 10-14% до 45%, что связано с плохой герметизацией хранилищ, длительным сроком их заполнения, недостаточно эффективным уплотнением. Для исключения этих недостатков нами разработан технологический процесс приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных силосных траншей, содержащий: скашивание и измельчение зеленой массы, погрузку в транспортные средства; транспортирование и закладку в мягкие блоки из синтетической пленки, установленные в силосные траншеи;

их герметизацию, уплотнение и отвод силосного сока при помощи вакуума; укрытие блоков и силосной траншеи от атмосферных осадков и промерзания; хранение силоса в уплотненном состоянии в вакуумной среде до момента скармливания животным.

2. Теоретически и экспериментально обоснованы параметры мягких вакуумированных блоков для приготовления и хранения силоса в заглубленных силосных траншеях. Они должны быть выполнены из синтетической соэкструзионной пленки из полиэтилена высокого давления толщиной 200 мкм с пределом прочности на разрыв 63кПа при относительном удлинении 25,5 мм; барьерные свойства которой противодействуют проникновению кислорода извне в мягкие вакуумированные блоки и создают необходимую герметичность. Геометрические размеры мягкого блока определяются суточной потребностью в кормлении животных.

3. Теоретически и экспериментально обоснован режим вакуумирования мягких блоков при приготовлении силоса в заглубленных силосных траншеях. Рациональное давление вакуумирования в блоке должно составлять 65-70 кПа, при этом достигается плотность силосной массы до 870 кг/м³, что на 20-30% больше, чем при стандартном уплотнении тракторами при приготовлении силоса в траншеях.

4. В результате сравнительных испытаний предлагаемого и существующего технологических процессов приготовления и хранения силоса в условиях производства установлено, что в мягких вакуумированных блоках из синтетической пленки в заглубленных силосных траншеях можно заготовить без потерь силос первого класса из кукурузы восковой спелости, с содержанием массовой доли сухого вещества 29,1%, перевариваемого протеина 10,6г/кг, рН = 4,1 ед, питательности 0,26 к. е. в одном килограмме с обменной энергией 2,95МДж/кг.

5. Установлено, что при внедрении предлагаемого технологического процесса приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных силосных траншеях по сравнению с существующим технологическим процессом показали, что затраты на производство 1 тонны силоса на 386 рублей (на 54,2 %) меньше. При годовом объеме производства 382,2 т силоса разница в расходах составляет 147703 рубля, а окупаемость - 0,84 года.

Рекомендации. Предлагаемый технологический процесс приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках силосных траншей может быть рекомендован хозяйствам различных форм собственности для приготовления и хранения кормов для скота. Полученные результаты по анкерному креплению стен силосохранилищ могут быть использованы проектно-технологическими и конструкторскими организациями АПК для проектирования современных силосохранилищ кормов и их капитального ремонта, а также студентами, аспирантами и научными работниками.

Перспектива дальнейшей разработки темы: развитие теории, совершенствование технологического процесса и средств механизации вакуумного приготовления и хранения силоса для кормления крупного рогатого скота по принципу - каждый день свежий силос животным, с целью улучшения качества и сокращения потерь кормов в АПК России.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Статьи в ведущих изданиях, рекомендованных ВАК России

1. Ревич, Я. Л. Расчет нагрузок на стены заглубленных силосохранилищ с учетом свойств окружающих грунтов / В. Ф. Некрашевич, Я. Л. Ревич // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2014.– № 2. – С. 35-41(0,45 п. л., в. ч. автора 0,3).
2. Ревич, Я. Л. Блочно-вакуумное уплотнение и хранение силоса в мягких вакуумированных блоках из синтетических пленок / В. Ф. Некрашевич, Я. Л. Ревич, Н.А. Антоненко, К.С. Некрашевич // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2015.– № 2. – С. 65-68(0,25 п. л., в. ч. автора 0,1).

Патенты РФ

3. Пат.129768 Российская Федерация, МПК А23К 3/02. Устройство для силосования кормов / Некрашевич В. Ф., Антоненко Н. А., Ревич Я.Л.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО РИ (ф) МГОУ. – № 2013101376; заявл.14.01.2013; опубл.10.07.13, Бюл. №19. – 2 с.: ил.
4. Пат.136951 Российская Федерация, МПК А01F 25/16; А23К 3/02. Устройство для блочно - вакуумного силосования кормов / Ревич Я.Л., Антоненко Н. А. заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО РИ (ф) МГОУ. – № 2013136771; заявл.06.08.2013; опубл.27.01.14.Бюл. №3. – 2 с: ил.

Публикации в сборниках и других научных изданиях

5. Ревич, Я. Л. Расчет конструкций и оптимизация параметров заглубленных железобетонных силосохранилищ для фермерских хозяйств: монография / В. Ф. Некрашевич, Я. Л. Ревич. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2013. – 135 с. - ISBN 978-5-98660-119-9 (8,44 п. л., в т. ч. автора 4,5).
6. Ревич, Я.Л. Анализ конструкций и материалов траншейных силосохранилищ/ В. Ф. Некрашевич, Я. Л. Ревич. // Сб. науч. тр. преподавателей и аспирантов ФГБОУ ВПО РГАТУ– Рязань: РГАТУ. – 2012. – С.93-99 (0,44п.л., в т.ч. автора 0,22).
7. Ревич, Я. Л. Проектирование анкерных систем для крепления стен заглубленных и подземных сооружений / Я. Л. Ревич // Сб. науч. трудов Всероссийской науч. – практич. конф. Мин. обр. науки РФ, Правительство Ряз. Обл. Ряз. Институт (ф) МАМИ 6-7дек., 2013г. – Рязань: РИПД «Первопечатник Ъ», 2013. – С.163-176 (0,88п.л., в т. ч. автора 0,88).
8. Ревич, Я.Л. Экологические аспекты современного строительства и эксплуатации траншейных силосохранилищ / В.Ф. Некрашевич, Я.Л. Ревич //материалы Международной науч. - практич. конф. /ISBN 978-5-89231-425-1.Москва: ФГБОУ ВПО МГУП, 2013. –С. 262-270(0,56 п.л, в т.ч. автора0,28).
9. Ревич, Я.Л. Расчет потребности в силосе и параметров силосохранилищ для фермерских хозяйств / В. Ф. Некрашевич, Я. Л. Ревич. // Сб. науч. тр. преподавателей и аспирантов РГАТУ имени П.А. Костычева: мат. международ. науч.- практич. конф. – Рязань: РГАТУ. – 2013. – С. 86-91(0,38 п. л., в т. ч. автора 0,19).

Подписано в печать 26.10.2015 Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная, Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1

Тираж 100 экз. Заказ № 117

Отпечатано в Рязанский институт (филиал) МАМИ

390000, г. Рязань, ул. Право-Лыбедская, 26/53