

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Рязанский государственный агротехнологический университет
имени П.А. Костычева»

На правах рукописи



БОРОНТОВА МАРИЯ АЛЕКСАНДРОВНА

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ СИЛОСОВАНИЯ
КОРМОВ**

**ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени кандидата технических наук**

Специальность 4.3.1 – технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Ульянов Вячеслав Михайлович

Рязань, 2026

Содержание

Введение.....	6
Глава 1. Состояние вопроса. Цель и задачи исследования	12
1.1. Характеристика силосуемых кормов.....	12
1.2. Анализ средств механизации приготовления и хранения силоса.....	14
1.3. Анализ выполняемых исследований по приготовлению и хранению силоса с использованием вакуума.....	22
1.4. Анализ теоретических исследований в областях приготовления и хранения силоса	29
1.5. Цель работы и задачи исследования.....	33
Глава 2. Физико-механические свойства и размерные характеристики кукурузного сырья для силоса.....	35
2.1. Программа исследований.....	35
2.2. Методика определения.....	36
2.2.1 Методика определения влажности измельченной массы кукурузы	36
2.2.2 Методика определения пористости растительной массы.....	38
2.2.3 Методика определения объемной плотности силосуемой массы....	40
2.2.4 Методика определения коэффициента фильтрации	41
2.2.5 Определение массово-размерных характеристик стеблей кукурузы, початков и зерна в них.....	45
2.3 Результаты определения физико-механических свойства и размерных характеристики кукурузного сырья для силоса.....	46
2.3.1 Результаты определения влажности измельченной массы кукурузы	46
2.3.2 Результаты измерения объёмная плотность измельченной растительной массы кукурузы.....	47
2.3.3 Результаты определения пористости измельченной массы кукурузы.....	48

2.3.4 Результаты определения коэффициента фильтрации измельченной массы кукурузы.....	49
2.3.5 Результаты определения массово-размерных характеристик стеблей кукурузы, початков и зерна в них.....	50
Выводы по второй главе.....	51
Глава 3. Теоретическое обоснование параметров и режимов приготовления силосованного корма из переувлажненного сырья в мягком контейнере	52
3.1. Описание технологического процесса приготовления силоса в мягких контейнерах.....	52
3.2. Теоретическое обоснование процесса осушения силосуемой массы в мягких контейнерах посредством прокачивания воздуха.....	55
3.3. Определение скорости и расхода воздушного потока, необходимого для осушения силосуемой массы.....	57
3.3.1 Определение объема удаляемой жидкости из силосуемой массы...	57
3.3.2 Постановка и решение задачи о движении воздуха по порам силосуемой массы.....	58
3.3.3 Движение жидкости в силосуемой массе.....	63
3.4. Влияние величины вакуума на процесс осушения силосуемого материала в мягком контейнере.....	66
3.4.1 Определение расхода жидкости из мягкого контейнера с силосуемой массой.....	66
3.5. Определение времени вакуумирования мягкого контейнера при приготовлении силоса	73
3.6. Обоснование параметров коллектора мягкого контейнера.....	88
Выводы по третьей главе.....	92
Глава 4. Экспериментальное исследование приготовления силоса в мягких контейнерах	94
4.1. Программа исследований	94

4.2 Методика экспериментальных исследований	95
4.2.1 Лабораторная установка	95
4.2.2 Методика определения изменения объема и плотности силосуемой массой в мягком контейнере от вакуумметрического давления	96
4.2.3 Методика определения количества поверхностной воды на стеблях и листьях кукурузы после осадков	99
4.2.4 Методика определения количества жидкости при осушении при прокачивании воздушного потока через зеленую массу в контейнере	101
4.3 Результаты экспериментальных исследований	103
4.3.1 Результаты определения объема силосуемой массы внутри мягкого контейнера под влиянием вакуумметрического давления	103
4.3.2 Результаты исследования количества поверхностной воды на стеблях и листьях кукурузы после осадков	105
4.3.3 Результаты определения количества жидкости при осушении при прокачивании воздушного потока через зеленую массу в контейнере.....	107
4.4 Планирование многофакторного эксперимента.....	110
4.5 Сходимость теоретических и экспериментальных результатов проведенных исследований.....	116
Выводы по четвертой главе.....	118
Глава 5. Исследование технологического процесса приготовления силоса в мягких контейнерах с устройством для отвода жидкости в производственных условиях, внедрение и расчет экономической эффективности.....	120
5.1. Программа и методика исследований.....	120
5.2. Результаты исследований	122

5.3.	Внедрение в производство и экономическая эффективность.....	126
5.3.1.	Экономическая эффективность результатов внедрения.....	127
5.3.2.	Экономическая эффективность приготовления силосованного корма в железобетонных наземных траншеях.....	127
5.3.3.	Экономическая эффективность приготовления силосованного корма в мягких контейнерах с устройством отвода жидкости....	130
	Выводы по пятой главе.....	135
	Общие выводы и предложения производству.....	136
	Библиографический список.....	138
	Приложения.....	148

Введение

Актуальность темы исследований. Сельское хозяйство в России является важной отраслью экономики, обеспечивающей население страны продовольствием, а промышленность производственным сырьем. Львиная доля в этом отводится животноводству. Эффективность которого зависит от кормовой базы и качества кормления животных. Дальнейшее развитие животноводства невозможно без создания крепкой кормовой базы, особенно в молочном скотоводстве.

Силос является одной из важнейшей составляющей рациона сельскохозяйственных животных. Крупному рогатому скоту по массе в сутки скармливается от 20 до 40 кг. на одну голову [9, 40, 49, 70, 96, 97]. Поэтому важным является обеспечение сохранности заготовки влажного силоса. При силосовании кормов в дождливую погоду в измельчаемую зеленую массу попадает дождевая вода, которая снижает качество силосования и хранения силосованного корма. В связи с этим возникает создание актуальных технологических процессов уборки кукурузы в дождливую погоду, которые помогут снизить затраты на простой уборочной техники и обеспечить качество приготовленного силоса. Технология должна обеспечить необходимые условия процесса приготовления и хранения высококачественного силосованного корма, даже во время уборки кукурузы в дождливую погоду. Этого можно добиться при использовании технологии приготовления и хранения силоса в мягких контейнерах с устройством для отвода жидкости [64-68]. Основными силосохранилищами в России являются силосные траншеи. Зеленую массу в траншее закладывают в течение 3-5 дней, что не исключает попадания дождевой воды в силос. При соблюдении всех технологий приготовления и хранения силосованного корма, его потери составляют ~ 15%, а при нарушении технологии могут достигнуть 45% [3, 5, 8, 9, 12, 19, 30-34, 38, 41, 47, 51, 56, 74]. Это огромные материальные затраты. Поэтому нужна разработка способа приготовления силоса, осущененного от излишков жидкости – силосного сока и дождевой воды, при закладки зеленой массы это обеспечит повышение

качества получаемого силоса, снижение затрат на его производство и сокращение потерь продукции, обеспечить экологическую безопасность.

Разработанный нами способ приготовления и хранения силосованных кормов в мягких вакуумированных контейнерах не имеет указанных недостатков применяемыми стандартными технологиями приготовления и хранения силоса [7, 8, 47, 52, 53, 56, 59, 64, 65, 66, 87, 88, 89, 100].

Диссертация выполнена в рамках научно-исследовательской работы федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по теме: «Совершенствование энергосберегающих технологий, средств механизации и электрификации в животноводстве» подраздел «Разработка технологии приготовления силоса в мягких вакуумированных контейнерах» (№ гос. регистрации ААА-А16-116060910025-5).

Степень разработанности темы исследования. Огромный вклад в исследования технологических процессов силосования различных кормов внесли такие учёные, как П.С. Авраменко, Н.А. Антоненко, Л.Г. Боярский, С.Н. Борычев, Н.В. Бышов, В.П. Горячкин, В. М. Дринча, А.И. Завражнов, С.Я. Зафрен, Д.В. Иванов, А.П. Калашников, Д.Е. Каширин, М.Ю. Костенко, И.М. Павлов, Ю.Ф. Лачуга, В.Ф. Некрашевич, В.И. Особов, Я.Л. Ревич, Г.К. Ремболович, А.М. Семенихин, В.М. Ульянов, И.А. Успенский, В.Ю. Фролов, Ф.С. Хазиахметов, С.Н. Хохрин, Б.Г. Шарифянов и др. Научные основы силосования кормов принадлежат отечественному ученому профессору А.А. Зубрилину. Он и его сотрудники разработали «Теорию сахарного минимума» в 1935-1937г. Анализ работ показал, что по-прежнему актуальны вопросы сохранности и качества силосованного корма, улучшения герметизации силосохранилищ, использование вакуума при хранении кормов и заготовка кормов в дождливую погоду. Что и определило постановку цели и задачи диссертационного исследования.

Цель исследования - повышение эффективности приготовления силосованного корма из переувлажненного сырья в мягких вакуумированных контейнерах.

Для выполнения указанной цели сформулированы задачи:

- на основе анализа существующих технологий приготовления силосованных кормов, предложить усовершенствованный способ приготовления силоса из переувлажненного сырья в мягком вакуумированном контейнере, и разработать его конструктивно-технологическую схему;
- исследовать физико-механические свойства силосуемой массы кукурузы;
- теоретически и экспериментально обосновать параметры и режимы приготовления силосованного корма из переувлажненного сырья в мягком вакуумированном контейнере;
- провести проверку предложенных решений в условиях производства и определить экономический эффект от его применения.

Объект исследования – технологический процесс приготовления силосованного корма из переувлажненного сырья в мягких вакуумированных контейнерах.

Предмет исследования - закономерности технологического процесса приготовления силосованного корма из переувлажненного сырья в мягких вакуумированных контейнерах.

Научную новизну составляют:

- усовершенствованный процесс приготовления силоса в мягком контейнере с осушением силосной массы до герметизации и последующего вакуумирования путем просасывания через нее воздуха с попутным отводом свободной влаги;
- конструктивно-технологическая схема с обоснованием параметров мягкого вакуумированного контейнера и режимов для приготовления в нём силосованного корма из переувлажненного сырья;
- результаты экспериментальных исследований приготовления силосованного корма из переувлажненного сырья в мягких вакуумированных контейнерах.

Новизна технических решений подтверждена патентами Российской Федерации на изобретение № 2683521 «Способ приготовления и хранения силосованного корма» [65] и полезные модели № 183627 «Контейнер из воздухонепроницаемой плёнки для силосования кормов» [64], № 193070 «Контейнер для приготовления и хранения силосованного корма» [66].

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость исследуемой работы:

- разработан технологический процесс приготовления силосованного корма из переувлажненного сырья и мягкий контейнер для приготовления и хранения силоса;
- получены теоретические зависимости по осушению силосуемой массы путем просасывания через нее воздуха с попутным отводом свободной влаги.

Разработанный процесс позволяет приготавливать силосованные корма из переувлажненного сырья в мягком вакуумированном контейнере с дальнейшим хранением с получением качественного силоса.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований имеют практическую значимость конструкторских организаций и сельскохозяйственных предприятий.

Методология и методы исследований. Методологическую основу исследований составили методы системного и структурного анализа, математической статистики и сравнительного эксперимента. Аналитическое описание технологических процессов выполнялось с использованием методов гидравлики и гидротехники, теоретической механики, математического и компьютерного моделирования. Обработка результатов экспериментальных данных проводилась с использованием методов математической статистики с использованием программ Statistica, MS Excel, MathCad [4, 10, 22, 24, 39, 91, 98]. Экономическая эффективность предлагаемых разработок определялась по стандартной методике для научно-исследовательских работ и новой техники.

Положения, выносимые на защиту:

- усовершенствованный процесс приготовления силосованного корма из переувлажненного сырья в мягком вакуумированном контейнере с дальнейшим хранением с получением качественного силоса;
- конструктивно-технологическая схема вакуумированного мягкого контейнера;
- результаты теоретического и экспериментального обоснования параметров и режимов приготовления силосованного корма из переувлажненного сырья в мягком вакуумированном контейнере;
- результаты исследований в производственных условиях и экономических расчетов приготовления силосованного корма из переувлажненного сырья в мягком вакуумированном контейнере с последующим хранением с получением качественного силоса.

Реализация результатов исследований. Исследования по приготовлению силосованного корма из переувлажненного сырья в мягком вакуумированном контейнере с последующим хранением в производственных условиях проводили в ООО «Разбердеевское» Спасского района Рязанской области. В качестве исходного сырья для приготовления силоса использована кукуруза сорта «Родник-180» с початками в фазе восковой спелости, возделываемая в хозяйстве. Зеленый корм, подлежащий силосованию, прошел проверку на состав и питательность в лаборатории по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства федерального государственного бюджетного учреждения «Станция агрохимической службы «Рязанская».

Кроме того, полученные результаты диссертационных исследований используются в учебном процессе на кафедре технических систем в АПК инженерного факультета ФГБОУ ВО РГАТУ.

Степень достоверности результатов. При проведении экспериментальных исследований использовались современные методики, приборы, установки. Результаты теоретических исследований в достаточной мере согласуются с полученными экспериментальными данными. Сходимость результатов

теоретических и экспериментальных исследований составляет 95%. Результаты, полученные в ходе выполнения работы, согласуются с результатами, опубликованными в независимых источниках по тематике исследования прошли широкую апробацию в печати, на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и одобрены на научных и научно-практических конференциях ФГБОУ ВО РГАТУ (2015-2024 гг.). Теоретические и экспериментальные положения научно-квалификационной работы обсуждались и докладывались автором на заседаниях кафедры «Технические системы в АПК» инженерного факультета ФГБОУ ВО РГАТУ имени П.А. Костычева (2019 г.).

Вклад автора заключается в постановке задач исследований, в разработке способа приготовления и хранения силоса из переувлажненного сырья, конструкции мягких вакуумированных контейнерах с устройством для отвода жидкости, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обработке и интерпретации полученных результатов, написании статей и оформлении патентных заявок.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ объемом 9,88 п. л., в том числе авторских – 3,41 п. л., из которых 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК; 1 в международной глобальной базе Scopus; три патента РФ на 1 изобретение и 2 полезные модели.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 100 наименований и приложений. Работа изложена на 189 страницах, содержит 83 рисунка, 17 таблиц, 13 приложений.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Характеристика силосуемых кормов

Силосование – сложный микробиологический и биохимический процесс консервирования влажной растительной массы. ГОСТ 23153-78 «Кормопроизводство. Термины и определения» дает следующее определение: «Силос – корм из свежескошенной или подвязленной зеленой массы, законсервированный в анаэробных условиях органическими кислотами, образующимися в результате преимущественно молочнокислого сбраживания или законсервированный добавлением химических консервантов».

Основные требования к силосу из растений регламентирует стандарт ГОСТ Р 55986 - 2022. «Силос и силаж. Общие технические условия» [19]. Силосованный корм имеет от 60 до 80 % влажности, в которой присутствует большое количество биологически полезных органических и минеральных веществ, благодаря которым силос владеет общеукрепляющими качествами, а также способствует увеличению надоя молока.

Силосование – простой биологический способ консервирования различных трав, зеленых растений, а также некоторых кормов, подверженных молочнокислому брожению, то есть ацидоанабеозу, в тщательно созданной анаэробной изоляции силосуемой массы от воздуха [1, 3, 12, 19, 20, 21, 22, 23, 79, 81]. Силосованный корм производится из различных сельскохозяйственных растений, таких как кукуруза, горох, подсолнечник, озимый рапс, люпин и многие другие. Также для силосования можно использовать дикорастущие травы, за исключением ядовитых, а также вредных. В зависимости от того, с применением какого именно сырья произведен силос, он может относиться к разным видам. Так, к примеру, существует силос подсолнечного типа, силос кукурузного типа, силос, производимый из совокупности трав злакового и бобового характера, наконец, распространение приобрел комбинированный силос, производимый с применением максимально широкого количества культур [15].

Различные виды силоса значительно отличаются друг от друга по кормовой ценности и содержание сухих веществ.

Доля сухого вещества максимальна в силосе: в вико-овсяном — около 31%, в овсяно-гороховом — 29%, в клеверо-тимофеевом — 28%. В кукурузном силосе сухого вещества в среднем 25-35%. Высоким содержанием сырого протеина отличаются клеверный (в среднем 17%) и клеверо-тимофеевый силос (14%), клетчаткой наиболее богат силос из естественных трав (около 37%) [19-23, 74, 98].

Каждый корм, в том числе произведенный посредством силосования, характеризуется также наличием в нем клетчатки. Наличие которой в рационе кормления животных влияет на обеспечение надлежащего протекания процесса генерации жирных кислот низкомолекулярного типа [93].

В ходе полевых исследований, проводимых специалистами Самарской ГСХА, было выявлено, что концентрация клетчатки в силосе зависит прежде всего от такого показателя, как видовые характеристики травостоя [1, 2, 18-22, 51, 74, 79]. Меньше всего клетчатки содержалось в силосе, приготовленном с применением зеленой массы однородных посевов подсолнечника. В момент скашивания зеленой массы, подсолнечник в составе которого содержалось больше всего белка, только приступал к завершению фазы бутонизации. Таким образом, концентрации клетчатки в растениях оказывалось в диапазоне 22-24%. Когда начиналось время молочно-восковой спелости, то в кукурузной массе значение соответствующего показателя находилось в пределах диапазона 26-27% [72, 98].

В посевах бинарного типа, включавших в состав также амарант, концентрация клетчатки не превышала 25% (при введении в посев мальвы появлялась возможность увеличить значение соответствующего показателя до отметки 28%). Лучше в этом плане проявляла себя добавка сорго, где в среднем имелось по 29-30% клетчатки [14, 19].

При производстве силоса высокого по качеству, необходимо добиваться одновременно соблюдения нескольких условий. Во-первых, очень важно обеспечить то, чтобы бактерии молочнокислого типа в силосуемой массе

оптимально функционировали. А для этого в растениях должен быть достаточным уровень сахарных соединений для развития бактерий.

Еще один показатель, информирующий насколько та или иная культура пригодна для её силосования – это соотношение между сахарными соединениями и сырьем протеином в составе растений. Чтобы растительная масса хорошо подвергалась процессу силосования, необходимо нахождение данного показателя в диапазоне значений 0,75-1. Если же по каким-либо причинам значение этого показателя оказалось меньшим, то зеленая масса растений подвергается силосованию только ограниченным образом, молочнокислые бактерии интенсивно не развиваются [94]. Посредством применения такого приема, как смешивание разных сельскохозяйственных культур (подсолнечника, сорго, кукурузы и др.) можно добиться того, чтобы соотношение между сахарными соединениями и сырьем протеином был в допустимом пределе максимальной пригодности силосуемой массы для закладки силоса [73]. В противном случае необходимы химические консерванты (закваски) или переработка зеленой массы на другой корм [85].

1.2 Технологические приёмы и техническое обеспечение при приготовлении силоса

Типовая технология приготовления силоса включает операции: скашивание; измельчение; погрузка в транспортные средства; транспортировка зеленой массы до хранилища; выгрузка; трамбовка (уплотнение); герметизация уплотненной массы с целью создания анаэробной среды. Обычно первые три операции выполняются одновременно одной машиной [16, 17].

Чтобы обеспечивать выполнение указанных операций при приготовлении силоса применяется разнообразная сельскохозяйственная техника. В частности, это самоходные кормоуборочные комбайны, такие как КСК-100А, КСК-600, ДОН 680М, Jaguar-850, Полесье-FS80. При скашивании с одновременным измельчением с погрузкой кормовой массы могут быть использованы прицепные модели комбайнов, например, КПИ-2,4, Sterh 2000. При уборке небольших

площадей могут использоваться косилки-измельчители типа КИР-1,5Б. Перевозка измельченной массы где располагаются объекты инфраструктуры хранения осуществляется на тракторных прицепах или самосвальным автомобильным транспортом [3, 16, 31, 43, 45, 46, 54, 69, 83, 95].

В технологическом процессе приготовления силоса одними из важных являются операции скашивание и измельчение кормовой массы. Так в зависимости от исходной влажности зеленой массы зависит длина фракций измельченного продукта для исключения потерь сока при заготовке [92].

Для получения высококачественного силоса уборку кукурузы проводят в молочно-восковую или восковую спелость зерна силосоуборочными комбайнами такими как «ДОН 680М» (ОАО Ростсельмаш), КВК-800 «Палессе-FS80» (ОАО Гомсельмаш), «John Deere» серии WTS 9680, Jaguar 850 фирмы CLAAS и др. [99].

Самоходный кормоуборочный комбайн КВК-800 «Палессе-FS80» предназначен для скашивания как кукурузы, а также других высокостебельных культур, на силос с одновременным измельчением и погрузкой кормовой массы в транспортные средства, представлен на рисунке 1.1 [74].

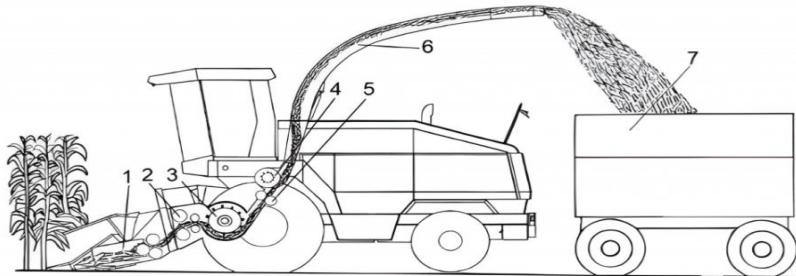


Рисунок 1.1 – Кормоуборочный комбайн КВК-800 «Палессе- FS80»

Кормоуборочный комбайн работает следующим образом. Кукуруза, подвергаться процессу измельчения, захватывается специальными зубьями роторной жатки скашивается и перемещается через уплотняющие вальцы к измельчающему аппарату барабанного типа и измельчается. На барабане имеется максимальное количество 40 ножей, но регулировкой можно задействовать лишь 20, что изменяет длину резки стеблей кукурузы. При измельчении кукурузы с

початками с зерном в восковой спелости кормовая масса проходит через доизмельчающий зубчатый вальцовый дробильный аппарат для разрушения зерна и далее перемещается по направлению, задаваемом силосопроводом в транспортное средство, перемещаемое по полю параллельно комбайну [26].

На рисунке 1.2 представлена технологическая схема кормоуборочного самоходного комбайна КВК-800.



1 – жатка для грубостебельных культур; 2 – аппарат питающий; 3 – аппарат измельчающий; 4 – ускоритель выброса массы; 5 – устройство доизмельчающее; 6 – силосопровод; 7 – транспортное средство [90].

Рисунок 1.2 - Схема технологического процесса работы комплекса.

Для перемещения измельченной растительной массы к месту закладки силоса используется различные самосвальные транспортные средства, как тракторные прицепы ПС-30 (45,60), ПСЕ-12,5, ПУС-15, ПТ-14С и другие. Часто кормовую массу транспортируют грузовыми автомобилями с дополнительно наращенными бортами.

Чтобы подвергнуть растительную массу, собранную с полей, процессу силосования, можно применять хранилища самых разных типов. Это, в частности, башенное, траншейное, а также пластиковое. В тех местах, где удаленность мест протекания подземной воды от поверхности почвы оказывается минимальной, можно проводить наземное силосование в специально предназначенных для этого курганах. Данный способ характеризуется таким преимуществом, как отсутствие потребности в специально создаваемом хранилище. При его применении необходимо быть готовым к тому, что утратится до трети всего собранного силоса [54, 68, 69].

Силосование в башнях. Когда осуществляется силосование с применением башен (рисунок 1.3), то можно добиться минимально возможных потерь силоса (при правильной организации процесса они не будут превышать 3%). Но при этом

придется столкнуться с существенными сложностями в процессе размещения массы, подвергаемой силосованию, в башне, выемке уже готового силоса из нее.

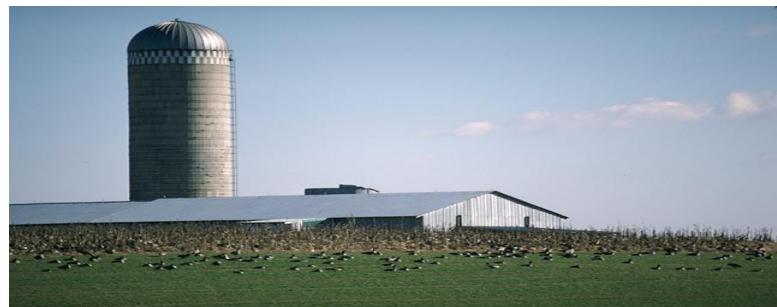
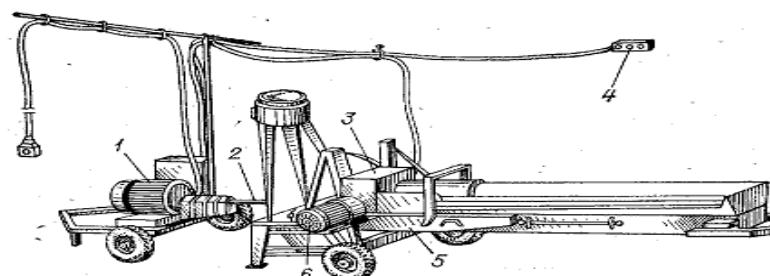


Рисунок 1.3 – Силосование в башнях

Кроме того, возведение башен – мероприятие, которое является затратным с материальной точки зрения. Для возведения башен применяются самые разные строительные материалы. Одна башня способна вместить в себя до 4,2 тысяч кубометров силоса. В промышленных целях чаще всего используется такая модель башни, как БС-9,15, которая более предназначена для сенажа. В комплекс ее поставки входят не только сама башня, но также и транспортер механического типа, используемый для перемещения силосованной массы, массовый распределитель вместо с разгрузчиком [13, 44].

Транспортер-загрузчик модели ТЗБ-30 (рис. 1.4) используется для погрузки из питателя предварительно измельченную кормовую массу в башню.



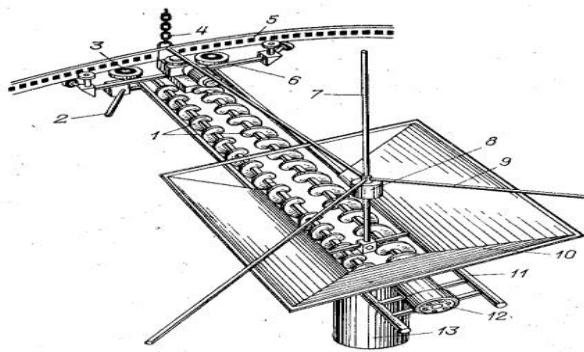
1 – электродвигатель; 2 – карданный вал; 3 – вентилятор-швырялка; 4 – пульт управления; 5 – транспортер; 6 – мотор-редуктор

Рисунок 1.4 – Транспортер-загрузчик башен



Рисунок 1.5 – Схема загрузки корма при силосовании в башнях

Массовый распределитель модели РМБ-9,15 используется для того, чтобы обеспечит равномерное нахождение зеленой массы, направляемой на силосование, в период ее пребывания в башне. Кроме того, массовый распределитель предоставляет возможность обеспечить приведение массовых характеристик силоса в соответствие с таким диапазоном, как 44-55%. Масса начинает поступать на распределяющее оборудование через дефлектор. Она оказывается на специальном перемещающемся лотке, а впоследствии пребывает на диске, осуществляющем разбрасывание. Этим обеспечивается веерообразное перемещение массы по всей поверхности инфраструктурного объекта, предназначенного для ее хранения.



1 – шнеки; 2 – рычаг датчика подъема машины; 3 – опорный ролик; 4 – цепь подвески кольца; 5 – подвесное кольцо; 6 – механизм поворота; 7 – центральный трос навески; 8 – тюкособъемник; 9 – приспособление для центрирования; 10 – приемный бункер; 11 – рама; 12 – привод; 13 – шахтообразователь

Рисунок 1.6 - Технологическая схема распределителя-разгрузчика

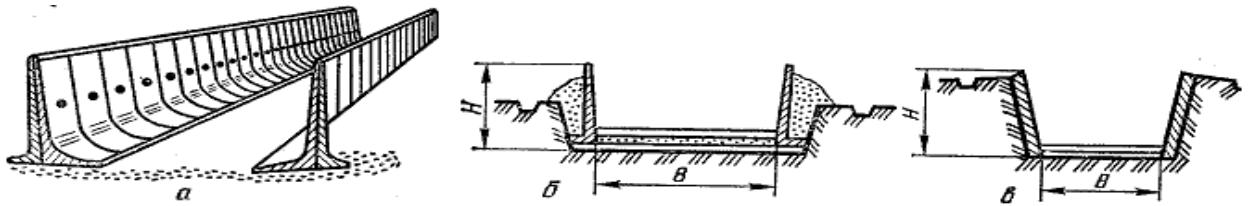
Разгрузчик башен верхний РВС-9,15 (рис. 1.6) используется для того, чтобы удалять силосованную массу из башен. В то время, когда производятся операции, связанные с загрузкой в башню силосуемого материала, разгрузчик поднят и находится на минимальном удалении от ее купола, чтобы не мешать данному процессу. Для того, чтобы выгрузить часть силоса из башни, то разгрузчик опускают на поверхность силоса и включают его в работу. Шнеки вращаясь, захватывают силосованную массу и перемещают в выгрузную трубу.

Силосование в траншеях. Приготовление силоса в траншеях (рис. 1.7) широко распространенный способ, отличающийся простотой, доступный и относительно недорогой по сравнению с хранением в башнях. При этом имеется возможность сокращать потери силоса, при соблюдении требований они не более 10%.



Рисунок 1.7 – Силосные траншеи

Траншеи (рис. 1.8) могут характеризоваться геометрическими параметрами следующего типа: ширина – от 15 до 18 метров, высота – от трех до четырех метров, протяженность – вплоть до 65-70 метров. Таким образом, среднестатистическая траншея способна вместить в себя до трех тысяч кубометров силосуемого материала. В целях облицовки траншей могут применяться разные материалы (наибольшее распространение приобрели такие, как бутовой камень, плиты из железобетона) [58, 74].



а – наземная; б – полузаглубленная; в – заглубленная; Н – высота траншеи; В – ширина траншеи

Рисунок 1.8 – Силосные траншеи

При использовании траншей для закладки силоса следует избегать заезд транспортного средства непосредственно в хранилище для исключения загрязнения силосуемой массы. Важно для того, чтобы получить качественный силос быстро заполнять траншею измельченной растительной массой. Быстрота заполнения траншеи сказывается на качестве получаемого корма. Её равномерно распределяют и трамбуют слоями 0,3-0,35 м с целью вытеснения воздуха. При этом, чтобы воздух не поступал в ранее уплотненную массу толщина ежедневно уложенного слоя в траншее должна быть в пределах метра. Трамбовка зеленой массы является важной операцией. При недостаточном уплотнении, увеличиваются потери питательных веществ из-за гнилостных процессов и самонагревании массы, а при сильном уплотнении, начинается выделение

большого количества сока, что тоже пагубно сказывается на качестве силоса, увеличивается содержание аммиака и уксусной кислоты, что приводит к снижению концентраций молочной кислоты и аминокислот [53]. Для выполнения уплотнения трамбовкой рекомендуются погрузчики типа «Амкодор–332С», а также «Амкодор–352С–02». Часто используют колесные энергонасыщенные тракторы типа К-744, К-701 (рис. 1.9) [58]. Но связи с тем, что они при неумелом их применении могут перевернуться, то кабину тракторов необходимо оборудовать дугами безопасности. Задача трамбовки обеспечить уплотнение силосуемой кукурузной массы до удельной плотности 750-850 кг/м³, при этом температура в ней при силосовании в загерметизированной полимерной пленкой траншеи не подымется более 35-37°C. Это оптимальный режим для развития молочнокислых бактерий при силосовании. Уплотнение силосуемой массы должно производиться по мере её поступления в хранилище. При уплотнении силосуемой массы в траншеях существует риск попадания атмосферных осадков, что негативно влияет на качество готового корма. [41, 43].



Рисунок 1.9 – Уплотнение силосуемой массы тракторами

После заполнения силосной траншеи, её немедленно герметизируют, путем укрытия целым полотном полимерной плёнки и придавливают грузами [79]. Созревание кукурузного силоса происходит через 4-6 недель после закладки в траншею.

Выемку силоса из траншеи производят различными погрузчиками. Соблюдение правил выемки кормов очень важно для предотвращения повторной ферментации, самонагревании массы, ухудшения качества корма. При вскрытии силосных траншей, возрастает скорость проникновения воздуха на поперечных

срезах, поэтому рекомендуется вынимать силос по всей ширине и высоте траншеи, слоями толщиной не менее 30 см в день [80].

Полимерные рукава применяются для хранения различных видов силосованных кормов [30, 37, 38]. В таких синтетических мешках (рис. 1.10) могут храниться следующие культуры и продукты их переработки: кукуруза, люцерна, цельное зерно, зерновая дранка, мезга и концентрированные корма [27]. Технология приготовления и хранения силосованного корма в полимерных руках является достаточно перспективным способом. Низкие потери питательных веществ и оптимальные условия консервирования достигаются моментальным прекращением доступа воздуху (холодное брожение), отсутствием потерь силоса в крайних и поверхностных пластинах силосной массы, а также благодаря надлежащему уплотнению силосной массы. При повторном брожении происходит поглощение силосного сока и уменьшение потерь питательных веществ [28].



Рисунок 1.10 – Силосование в рукав

Сущность технологии заготовки силоса в полимерные рукава заключается в следующем: масса доставляется к упаковочной машине (рис. 1.11), подается в ее бункер и уплотняется с помощью ротора, который нагнетает сырье в рукав. В результате достигается высокая плотность (до 850 кг/м³ для кукурузного силоса). Оборудование обладает производительностью до 90 т/ч, что в сочетании с мощными кормоуборочными комплексами и отлаженной логистикой позволяет заготавливать за сутки от 500 до 1000 тонн корма.



Рисунок 1.11 – Машина для силосования в рукав Manitoba 1500

Наряду с положительными сторонами силосования в полимерных рукавах технология имеет и существенные недостатки:

- требуются дополнительные площадки для размещения кормов;
- происходит большой расход пленки и возникают проблемы для её утилизации;
- рукава не защищены от грызунов и птиц;
- опасность промерзание силосованного корма в морозы;
- высокая стоимость оборудования;
- зависимость от иностранных компаний в техническом обслуживании, из-за отсутствия отечественного оборудования.

В качестве упаковочного материала используется полимерный многослойный рукав диаметром 2,7 м и длиной 60-75 м стоимостью от 32000 рублей [30].

Для хозяйств (не менее 1000 голов КРС), которые уже имеют силосохранилище и обладают современными кормоуборочными машинами, лучше всего хранить основную массу силоса в траншеях. Для тех, у кого нет таких хранилищ, выгоднее приготавливать и хранить силос в малогабаритных контейнерах, изготовленных из полимерных материалов.

1.3 Обзор исследований по приготовлению и хранению силоса с использованием вакуума

Анализ технологий приготовления силоса и проведенных исследований показывают, что в традиционных технологиях приготовления силоса в траншеях значительные затраты энергии занимает уплотнение с помощью тяжелых тракторных агрегатов, а также потери силоса при хранении [3, 9, 12, 13, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 43, 44, 58, 68, 69, 79, 80, 81, 82, 83, 90, 96].

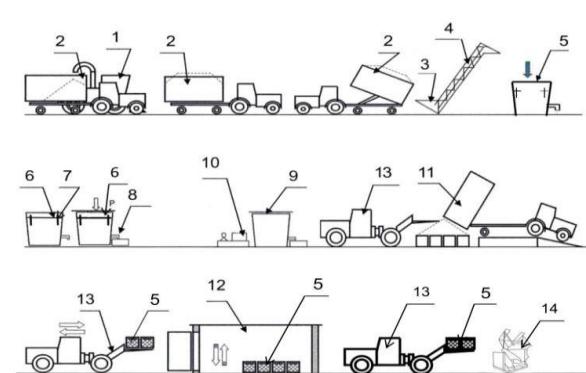
В связи с этим продолжаются работы, связанные с совершенствованием приготовления и хранения силоса. В новых технологиях стали широко применяться современные полимерные материалы, а также нашли отражение процессы с применением вакуума, которые позволяют снизить как энергозатраты при приготовлении, а также и потери при хранении корма [5, 6, 29, 76, 78].

Рассмотрим несколько технологических схем приготовления силоса с применением с использованием вакуума.

Разработанная В.Ф. Некрашевичем и Н.А. Антоненко технология приготовления с последующим хранения силосованного корма (рис. 1.12) предусматривает осуществление следующей совокупности операций [5, 61, 62, 63]:

- «скашивание зеленой массы с ее измельчением и с одновременной погрузкой транспортные средства;
- транспортировка измельченной кормовой массы на площадку силосования;
- выгрузка зеленой массы в накопительный бункер конвейера с дальнейшей загрузкой в специализированный контейнер;
- уплотнение загруженной зеленой массы в контейнер до требуемой плотности необходимой для её силосования;
- герметизация контейнера с кормовой массой для осуществления молочнокислое брожение и получения силоса;
- перемещение контейнеров с силосом для дальнейшего хранения в объектах специально предназначеннной инфраструктуры;
- перемещение силоса к месту его использования по мере возникновения потребности в нём» [5].

«При реализации технологического процесса [5], представленного на рисунке 1.12, авторами предлагается применять контейнер, выполненный из металла с антикоррозионным покрытием для возможности неоднократного его использования. Для уплотнения кормовой массы в контейнере предлагается использовать вакуум. Для этого необходима передвижная вакуумная установка.



Возможно применение подобного оборудования стационарного типа.

1 – силосоуборочный комбайн; 2 – транспортное средство; 3 – бункер-накопитель; 4 – транспортер;
5 – контейнер; 6 – уплотняющая пластина; 7 – нагружочные винты; 8 – емкость для сбора сока; 9 – крышка контейнера; 10 – вакуумный насос; 11 – транспортное средство; 12 – хранилище; 13 – погрузчик; 14 – опрокидыватель контейнеров.

Рисунок 1.12 – Схема приготовления и хранения силоса в контейнерах» [5]

«Контейнер, в котором приготавливают силос с последующим его хранением в нём включается емкость 1 (рис. 1.13), закрываемый герметичной крышкой 2. В верхней части ёмкости 1 контейнера располагается патрубок 3 с вентилем 4. В нижней части емкости 1 располагается патрубок 7 для удаления избытка выделившегося сока, при этом дно ёмкости 1 контейнера выполнено V-образного типа для сбора и свободного течения клеточного сока. Ниже крышки 2 располагается пластина 9 для уплотнения силосуемой массы для создания её оптимальной плотности. Посредством вентиля 4 контейнер подключается к вакуумной системе. Которая включает вакуумметр 5, вакуумный насос 6, вакуумный баллон 11, а также глушитель 10. Когда уплотнение силосной массы завершается, в контейнере обеспечивается поддержание вакуума с последующим консервацией и хранением. По завершению процесса молочно-кислого закисления и созревания силоса его можно применять, то он достается из контейнера» [5].

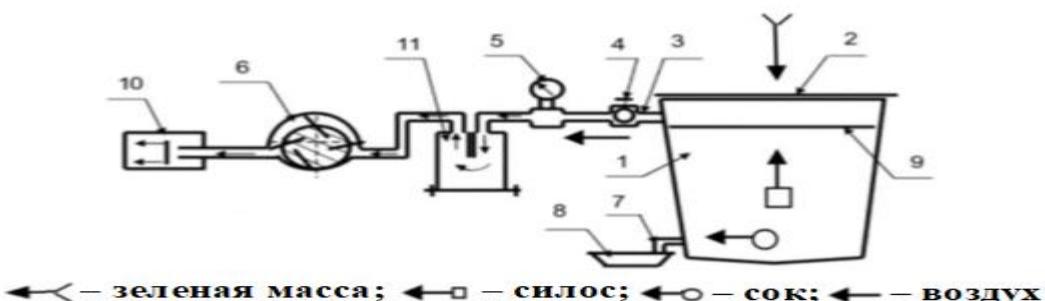


Рисунок 1.13 – Схема контейнера с вакуумной установкой для приготовления силоса (позиции в тексте)

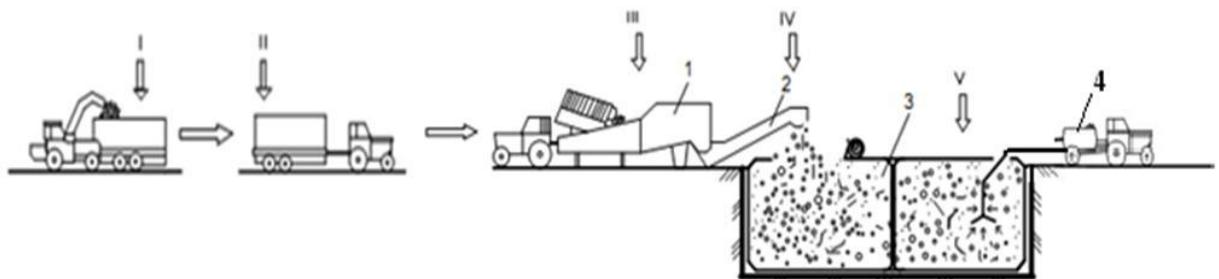
«По мнению разработчиков, применение рассмотренного способа приготовления и хранения силоса предоставляет возможность сократить его потери, которые могли бы быть обусловлены такими процессами, как распространение плесени, а также угар» [5]. Получающийся силос соответствует требованиям, предъявляемым к первому классу продукции (по ГОСТ Р 55986-2022) [19]. Вызывает определенный вопрос применение контейнера из металла для приготовления и хранения силоса.

Усовершенствование рассмотренного выше способа предлагает Я.Л. Ревич, который разработал способ приготовления и хранения силоса с применением вакуумированных блоков мягкого типа [55, 76].

«Технологический процесс приготовления силоса (рис. 1.14) включает следующие операции:

- скашивание, измельчение зеленой массы с погрузкой в транспорт и её доставка на площадку силосования;
- выгрузка силосуемую массу в питатель-дозатор;
- перемещение транспортером зеленой массы в вакуумированный блок мягкого типа;
- удаление воздуха и клеточного сока из силосуемой массы» [76].

«При проведении вакуумирования происходит такой процесс, как повышение плотности силоса. Протекание данного процесса обуславливается перепадом в давлении. Одновременно происходит обтягивание всей массы силоса блоковой оболочкой. Повышение плотности силоса происходит благодаря тому, что из нее удаляется воздух и измельченные частицы сближаются. Воздух совместно с свободным соком посредством воздействия со стороны появляющегося разряжения, перемещаются в вакуумированную цистерну.



I-уборка, измельчение и загрузка силосной массы в транспорт; II-транспортирование силосной массы к месту закладки; III- разгрузка силосной массы в бункер питателя-дозатора; IV- загрузка силосной массы транспортером в мягкий вакуумный блок силосной траншеи; V- закрытие, герметизация мягкого вакуумного блока в силосной траншее, вакуумирование и уплотнение силосной массы, отвод воздуха и силосного сока из силосной массы через обратный клапан блока передвижной вакуумной установкой.

1 – питатель-дозатор; 2 – транспортер; 3 – мягкий блок в силосной траншее; 4 – передвижная вакуумная цистерна

Рисунок 1.14 – Технологическая схема производства силоса в вакуумированных блоках мягкого типа» [76]

«Геометрические характеристики блоков вакуумированного типа рассчитываются в зависимости от того, какой объем скармливания силоса производится на ферме ежесуточно» [76].

«На рисунке 1.15 представлена схема траншеи для силоса с размещением вакуумированных блоках мягкого типа в них. Траншея 1 прямоугольной формы поделена на несколько блоков, каждый из которых отделен от всех остальных временными деревянными щитами 10. Блок 2 для загрузки в него силосуемой массы выполнен из синтетической пленки 11. Внизу блока на пленку помещена труба 3 с отверстиями для удаления накопившего сока. Для удаления воздуха

установлена перфорированная труба 4, расположенная выше трубы 3. Имеющиеся в этих трубах отверстия изначально находятся в закрытом положении, для предотвращения попадания зеленої массы, они укрыты металлической сеткой 12» [76].

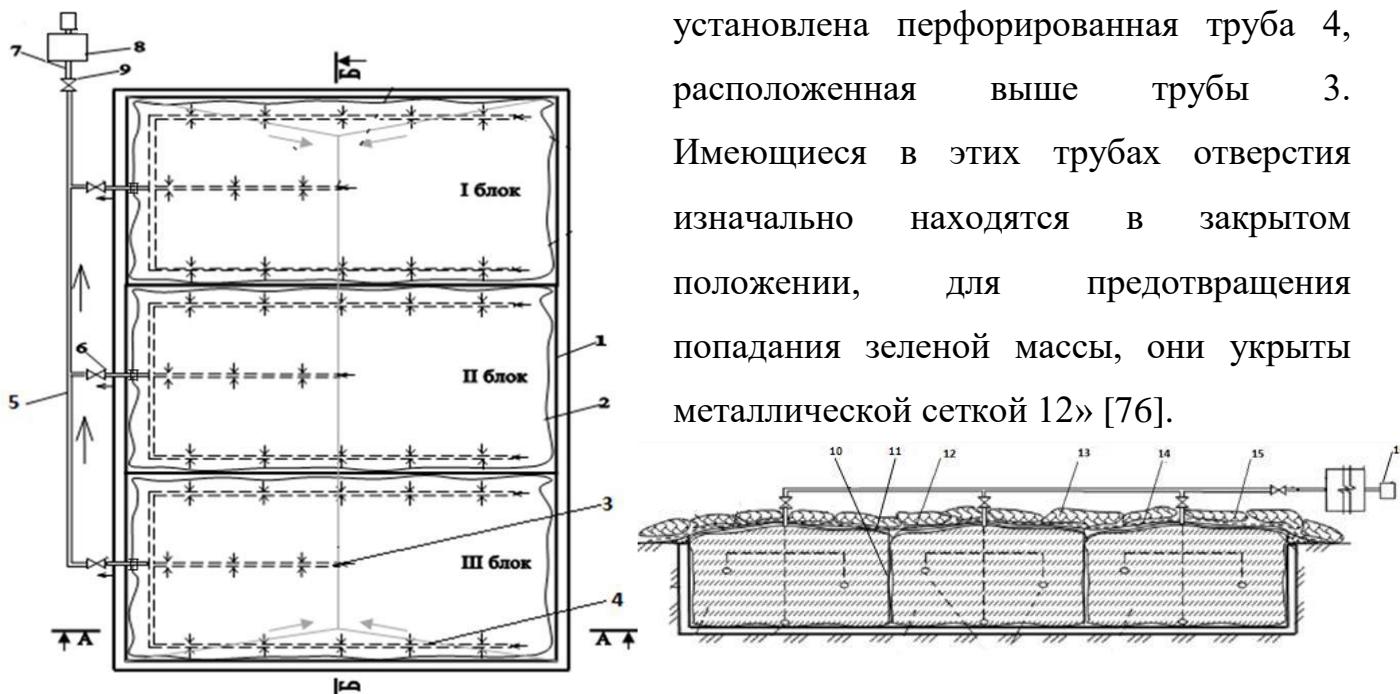


Рисунок 1.15 – Схема силосной траншеи с применением специальных вакуумированных блоках мягкого типа (позиции в тексте)

«Трубы 3 и 4 входят соединены с коллектором 5 через специальный запирающий вентиль 6. Для защиты силосной траншеи от негативного воздействия грызунов, по ее поверхности укладывается специальная защищающая сетка, выполненная из металлического материала 12.

После герметизации блоков с силосуемой массой производится укрытие траншеи соломенными тюками от промерзания в холодное время года.

Использование рассмотренного процесса приготовления и хранения силоса, по мнению авторов, позволяет:

- не допустить того, чтобы силос в траншее был излишне уплотненным;
- не допустить того, чтобы в силосной массе присутствовала поверхностная жидкость;

- избавиться от негативного разрушающего влияния силосного сока на бетонную поверхность траншеи основного силосохранилища;
- уменьшить временные затраты, требуемые на приготовление силоса;
- сократить потери при приготовлении, хранение, а также выемке силоса;
- обеспечить качество готовой продукции» [76].

Предлагаемое разработчиками решение усложняет и удорожает производство силоса. При этом возникают вопросы по организации процесса: методика герметизации заполненных блоков перед откачкой воздуха не раскрыта, как и технология их дегрузки для устранения пустот после проседания массы.

«Более применима в практическом плане является технология приготовления силоса путем использования вакуума при уплотнении в компактных мягких контейнерах, разработанная сотрудниками Казахского национального аграрного университета. Для проведения сравнительной оценки удельных энергозатрат при приготовлении и хранении силоса, в качестве прототипа было выбрано силосохранилище траншейного типа» [78].

«Предложенная технология приготовления силоса (рис. 1.16) по сравнению традиционной технологией имеет отличительные особенности. Основные операции приготовления выполняются в полевых условиях непосредственно на транспортном средстве. Перечень технологических процессов и операций, входящих в технологию, выглядит следующим образом:

- скашивание растительной массы, измельчение и загрузка в контейнер;
- вакуумирование силосной массы в мягкие контейнеры на передвижном агрегате;
- выгрузка из матрицы и загрузка мягких контейнеров в транспортное средства для перевозки;
- транспортировка мягких контейнеров с силосной массой в хранилище;
- разгрузка мягких контейнеров с силосной массой из транспорта и складирование в хранилище.



Рисунок 1.16 – Операции, входящие в технологию приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных контейнерах путем вакуумирования» [78]

«Выгрузка из матрицы и загрузки мягких контейнеров в транспортное средства для перевозки выполнялась с помощью агрегата трактор с погрузчиком типа МТЗ 82.1.

Процесс вакуумирования силосной массы в мягких контейнерах на передвижном агрегате включает операции: продувки после загрузки контейнеров; подготовка горловины контейнера путем выпрямления и зажима; термическая сварка аппаратом загрузочной горловины контейнера аппаратом типа DBF-900W мощностью 0,52 кВт; отсос воздуха из контейнера вакуумным насосом ZYBW-60F мощностью 3,0 кВт. Для выполнения данного процесса в качестве источника энергии используется электрический генератор типа Mateus 6500GFE3 мощностью 6,5кВт.

Для определения эффективности разработанной технологии приготовления силоса с технической точки зрения выполнена сравнительная оценка классической технологией энергетических затрат на выполнения в каждой операции. В результате сравнительных испытаний энергозатрат предлагаемой и существующей технологий приготовления и хранения силоса в условиях производства имеет порядка 35–40% ниже по сравнению с традиционной технологией силосования в условиях траншеи. Это связано отсутствием энергоемкой техники в предлагаемом варианте» [78].

При реализации рассмотренной технологии не совсем ясно как обеспечивается синхронизация непрерывного процесса загрузки измельченной зеленою массой кормоуборочным комбайном мягких контейнеров, расположенным в передвижном агрегате. При этом не понятно, что такое матрица и как осуществляется при движении агрегата

вакуумирование мягких контейнеров. Также не предусмотрено удаление свободной жидкости из мягких контейнеров при их вакуумировании.

1.4 Анализ теоретических исследований в областях приготовления и хранения силоса

Одной из важнейших проблем в сельскохозяйственном производстве, является кормление животных. Этим вопросом на протяжении многих лет занимаются ученые всего мира. Существенный вклад в развитие теоретических представлений по вопросам, непосредственно связанным с формированием силоса, внесли такие отечественные специалисты, как А. Зубрилин, а также С. Зафрен [31, 34]. В частности, А. Зубрилин в середине 1930-х годов разработал теорию «сахарного минимума», которая сегодня и положена в основу всех современных технологий по производству силоса. Как считает А. Зубрилин, «сахарный минимум – это такое содержание сахара в растении, при котором pH силоса достигает значения 4,2» [34]. В соответствии с мнением, которого придерживается разработчик концепции «сахарного минимума», все растения должны быть поделены на различные категории в зависимости от того, какой способностью к силосуемости они характеризуются. Одним из самых ярких представителей такой категории растений, как легкосилосующиеся, является кукуруза. Большое количество теоретических и практических исследований позволило сформировать совокупность разнообразных способов производства силосных масс из множества видов растений. В результате проведения таких исследований было установлено, в частности, то, что качественные характеристики силоса во многом зависят от того, в каких объемах в общей массе силоса присутствует сухое вещество [12].

Несколько подробно остановимся на исследованиях с применением вакуума при приготовлении и хранении силоса. В 2013 году доцентом Н.А. Антоненко была разработана технология приготовления силосованного корма в вакуумированных контейнерах многоразового использования [5]. «В данной работе были произведены исследования и сравнения показателей качества силосуемой массы при различных методах приготовления силосного корма. В разработанной

технологии, предлагается использование металлического контейнера, который может быть применен неоднократно, в целях уменьшения затрат на материалы. Были произведены теоретические расчеты днища и стенок контейнера для приготовления и хранения силоса.

Требуемая толщина стенки контейнера была рассчитана по формуле:

$$h \geq \sqrt[6]{\frac{(\gamma \cdot g)^2 \cdot H^8 (1-\mu^2) \sqrt{(1+\mu^2-\mu) \cdot \gamma_m}}{8E \cdot R_b \gamma_c}}, \quad (1.1)$$

где γ – коэффициент надёжности по нагрузке; H – высота контейнера, (м); g – расчетная нагрузка, ($\text{кг}/\text{м}^2$); μ – коэффициент Пауссона материала основания; γ_m – коэффициент надежности работы по материалу; E - модуль общей упругости стали; R_b – предел прочности материала пластины, (Мпа); γ_c – коэффициент условий работы конструкции [5].

Необходимая толщина крышки контейнера вычислена по формуле:

$$h \geq \sqrt[6]{\frac{kq^2 \cdot (1+\mu)(1-\mu)^2 \sqrt{(1+\mu^2-\mu)}}{R_b \gamma_c (1-\mu) + E \alpha T \sqrt{(1+\mu^2-\mu)}}}, \quad (1.2)$$

где k – коэффициент пористости; q – равномерно-распределенная нагрузка от воздействия силосной массы; α – коэффициент температурного расширения; T – температура.

Толщину днища контейнера с учётом температурных перепадов, рассчитывали по формуле:

$$h \geq \sqrt[3]{\frac{9(ab)^2 \gamma_m (1-\mu) \cdot (q-q^2) \cdot (ab)^2 \sqrt{(ab)^2 (4\mu-\mu^2-1) (1+\mu^2-\mu)}}{32(a^4+b^4) \cdot R_b \gamma_c (1-\mu) + E \alpha T \sqrt{1+\mu^2-\mu} \cdot \gamma_m}}, \quad (1.3)$$

где a – ширина днища контейнера, (м); b - длина днища контейнера, (м)» [5].

«В работе из теоретических расчетов, были сделаны выводы, что толщина днища, стенок и крышки контейнера зависит от прочностных характеристик материалов, используемых для его изготовления. Таким образом предлагается использовать металлический контейнер с размерами 1,25x1,25x1,25м для приготовления и хранения силоса» [5].

В 2015 году доцентом Я.В. Ревичем был разработан технологический процесс приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных

силосных траншей [55, 61, 62, 63, 76]. «В работе провели теоретическое обоснование параметров мягкого вакуумированного блока, был определен начальный объём блока:

$$V_{H6} = (\pi R^2 + ab)c, \quad (1.4)$$

где, a, b, c – размеры блока, (м); R – радиус оболочки блока, (м).

Определили объём блока после вакуумирования:

$$V_{B6} = [\pi(R-\Delta R)^2 + (a-\Delta a)(b-\Delta b)] \cdot (c-\Delta c) \quad (1.5)$$

Так же в работе было установлено, что толщина (h) плёнки мягкого блока зависит от вакууметрического давления внутри блока и физико-механических свойств материалов, используемых для ее изготовления, и рассчитывалась по формуле:

$$h = n \cdot \frac{R \cdot (P_{\text{атм}} - P_{\text{ост}})}{[\sigma]} \quad (1.6)$$

где $P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, (кПа); $P_{\text{ост}}$ – остаточное давление (разряжение) внутри блока, (кПа); $[\sigma]$ – допустимое напряжение; n – коэффициент надежности» [76].

«В работе теоретически и экспериментально обосновали параметры предлагаемого мягкого вакуумированного блока и установили, что толщина плёнки для изготовления блока подойдет 200 мкм, а геометрические размеры мягкого блока определяются, в зависимости от суточной потребности в кормлении животных» [76].

В 2022 году рядом ученых предложено исследование уплотнения кормов вакуумом [78]. «Для проведения опытов исследования была взята кукуруза, как наиболее распространённая культура в сельскохозяйственном производстве. Коллективом авторов, предлагалось произвести силосование в контейнере из воздухонепроницаемой пленки путем вакуумирования. В процессе исследования была определена сила трения F :

$$F = f P_6 \Pi dX, \quad (1.7)$$

где f – коэффициент трения материала о стенки контейнера; P_6 – боковое давление распора материала от собственного веса; Π – периметр поперечного сечения контейнера; dX – толщина материала.

Определили боковое давление, возникающее под действием собственного веса:

$$P_6 = P_x \xi, \quad (1.8)$$

где ξ – коэффициент бокового распора; P_x – осевое давление от собственного веса сверху.

Получено уравнение равновесия слоя материала в проекции на вертикальную ось контейнера, с необходимыми преобразованиями:

$$\frac{dP_x}{P_x} = -\frac{f \xi \Pi dX}{S}, \quad (1.9)$$

где S – площадь поперечного сечения контейнера.

Величину вакууметрического давления P_v , определяли по формуле:

$$P_v = P_a - P_o, \quad (1.10)$$

где P_a – атмосферное давление; P_o – остаточное давление воздуха в контейнере.

Давление на нижнюю грань куба, определяли по формуле:

$$P_{об\ n} = P_v - q g a e^{-4f\xi}, \quad (1.11)$$

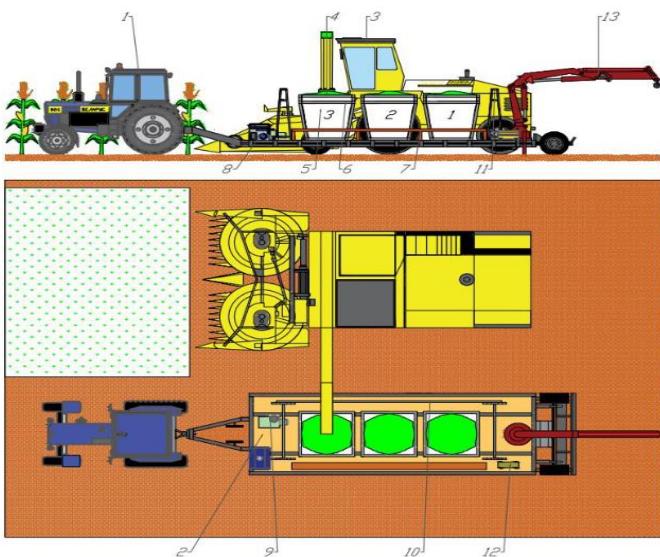
где q – плотность материала; g – ускорение свободного падения.

Определили давление на боковые грани:

$$P_{об} = P_v - q g a \xi e^{-4f\xi}. \quad (1.12)$$

Авторы теоретически выявили, что уплотнение силосуемой массы можно осуществлять как за счет собственного веса, так и при помощи вакуума» [57].

«Казахскими учеными в 2024 году предложено приготовление силоса путем вакуумирования зеленой массы в мягких контейнерах с использованием низкоразмерного прицепа, показано на рисунке 1.17» [78].



«1 – трактор,
 2 – специализированный прицеп,
 3 – кормоуборочный комбайн,
 4 – измельченная зеленая масса 5 –
 мягкий контейнер, 6 – кассета-матрица для
 мягкого контейнера,
 7 – подножка для передвижения
 оператора, 8 – генератор, 9 – вакуумный
 насос, 10 – рельс для передвижения
 сваривателя, 11 – стойка для передвижения
 сваривателя,
 12 – свариватель, 13 – кран-
 манипулятор.

Рисунок 1.17 – Расположение оборудования мобильного низкорамного агрегата для приготовления силоса в вакуумированных контейнерах из воздухонепроницаемой пленки, загрузка измельченной зеленой массы в мягкие контейнеры» [78]

«Проведенные исследования казахскими учеными, показывают, что предлагаемый ими способ силосования с использованием трех кассет на платформе низкоразмерного прицепа более эффективен, нежели просто вакуумирование измельченной массы. Так же предлагается установить на прицеп кран-манипулятор, для перегрузки вакуумированных контейнеров на мобильное транспортное средство» [78].

Анализ теоретических исследований показывает, что недостаточно еще проработаны вопросы по применению вакуума при приготовлении и хранении силоса. Так не рассмотрены теоретические аспекты по удалению свободной влаги из контейнеров при приготовлении в нём силоса с последующей его герметизацией. Поэтому научные исследования в этом направлении весьма актуальны.

1.5 Цель работы и задачи исследования

Проведенный обзор и анализ технологий приготовления силоса и проведенных исследований показывают, что в нашей стране наиболее распространена традиционная технологическая схема приготовления силоса в траншеях. Основные недостатки такой технологии значительные энергетические затраты на уплотнение с помощью тяжелых тракторных агрегатов, а также дальнейшие потери силоса при хранении.

В связи с этим продолжаются работы, связанные с совершенствованием приготовления и хранения силоса. Одним таким направлением является применение вакуума при приготовлении и хранение силоса в мягких контейнерах. Это позволяют снизить как материальные затраты на строительство хранилищ траншейного типа, так и энергозатраты при приготовлении с последующим хранением силоса. При этом до конца не решен вопрос с заготовкой силоса в неблагоприятный по осадкам осенний период года, когда частое выпадение дождей, что делает переуважненным сырье для приготовления силоса.

Целью проведения настоящей работы - повышение эффективности приготовления силосованного корма из переуважненного сырья в мягких вакуумированных контейнерах.

Для выполнения указанной цели сформулированы задачи:

- на основе анализа существующих технологий приготовления силосованных кормов, предложить усовершенствованный процесс приготовления силоса в мягком вакуумированном контейнере, и разработать его конструктивно-технологическую схему;
- исследовать физико-механические свойства силосуемой массы кукурузы;
- теоретически и экспериментально обосновать параметры и режимы приготовления силосованного корма из переуважненного сырья в мягком вакуумированном контейнере;
- провести проверку предложенных решений в условиях производства и определить экономическую эффективность от его применения.

2 ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И РАЗМЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КУКУРУЗНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ СИЛОСА

Предлагаемый нами технологический процесс должен обеспечить повышение эффективности приготовления силосованного корма из переувлажненного сырья кукурузы в мягких вакуумированных контейнерах.

Физико-механические свойства кукурузы определяют технологическую сторону процесса приготовления силоса, измельчения зеленой массы, её уплотнение с удалением воздуха и жидкости, также геометрические размеры мягкого контейнера.

К основным физико-механическим свойствам, влияющим на процесс приготовления силоса из переувлажненного сырья с последующим хранением в мягком контейнере, относятся объемная масса и влажность материала, коэффициенты пористости и фильтрации, сопротивление измельченных частиц сжатию, также размерные характеристики кукурузы.

Физико-механические свойства измельченной массы кукурузы являются немаловажным фактором, влияющим на качество силосования. Знание их позволяет во многом обосновать конструктивные параметры мягкого вакуумированного контейнера.

В современной литературе имеется немало работ, посвященных определению физико-механических свойств кукурузы [3, 12, 18, 19, 20, 25, 31, 32, 33, 34]. Однако приготовление кукурузного силоса из переувлажненного сырья в мягких вакуумированных контейнерах требует дальнейшего исследования и уточнения физико-механических свойств и характеристик силосуемой массы.

2.1 Программа исследований

Программа исследований предусматривала:

- определение влажности измельченной массы кукурузы;
- определение насыпной плотности измельченной массы кукурузы;
- определение пористости измельченной массы кукурузы;

- определение коэффициента фильтрации измельченной растительной массы;
- определение массово-размерных характеристик стеблей кукурузы, початков и зерна в них.

2.2 Методика определения

2.2.1 Методика определения влажности измельченной массы кукурузы

Относительная влажность является важной физическим свойством зелёного корма. Она влияет на объёмную массу, величину жидкости в измельченном сырье и другие показатели.

Влажность растительной массы определяют по методике, приведенной в ГОСТе 27548-97. Корма растительные. Методы определения содержания влаги. Сущность метода заключается в высушивании продукта до постоянной массы при температуре (105 ± 2) °С в сушильном шкафу (рис. 2.1). Метод распространяется на все виды растительных кормов. Во взвешенную тару помещают навеску испытуемой пробы массой для сенажа или зеленых кормов — 25,0-50,0 г. Взвешивание тары, пробы, а также тары с высушенной пробой при массе навески более 10 г — с погрешностью не более 0,01 г.

Открытые бюксы с навеской исследуемого продукта и крышки от них помещают в сушильный шкаф, предварительно нагретый до температуры 105 °С.



Рисунок 2.1. – Сушильное оборудование

Метод распространяется на все виды растительных кормов. Во взвешенную тару помещают навеску испытуемой пробы массой для сенажа, сенажа или зеленых кормов — 25,0-50,0 г. Взвешивание тары, пробы, а также тары с высушенной пробой при массе навески более 10 г — с погрешностью не более 0,01 г.

Открытые бюксы с навеской исследуемого продукта и крышки от них помещают в сушильный шкаф, предварительно нагретый до температуры 105 °С.

Высушивание проводят до постоянной массы, считая с момента установления температуры 100 °С. При определении влажности использовались 5 проб, весом по 30 г. Пробы кукурузы для лабораторных исследований измельчались до фракции в пределах 5-10 мм и укладывались в тару (бюксы).

Массовую долю влаги W , % в испытуемой пробе определяли по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} \cdot 100\% \quad (2.1)$$

где m_1 – масса бюксы с навеской до высушивания, г; m_2 – масса бюксы с навеской после высушивания и охлаждения, г; m – масса пустой бюксы, г.

В исследованиях по определению влажности использовались измельченная зелёная масса кукурузы в двух фазах вегетации: начало молочно-восковой и восковой спелости.

Однако данный способ требует значительных временных затрат, поэтому его использовали как поверочный прибора ВАЙЛ 26 (WILE 26) (производство Финляндии). Далее определение влажности производили с помощью прибора – влагомера сена, сенажа и силоса WILE 26. Для измерения влажности зеленой массы и силоса используется датчик с параболической чашей Wile 253 (рис. 2.2).

Данный метод позволяет измерить влажность зеленой массы и силоса как в рассыпном, так и в уплотненном виде за время не более 20 секунд. Для контроля температуры к влагомеру подключается внешний термодатчик в виде щупа 90 см. Разъем для датчика находится в нижней части корпуса влагомера. Таким образом, температура и влажность массы измеряется одновременно.



Рисунок 2.2 – Общий вид влагомера сена, сенажа и силоса ВАЙЛ 26 (WILE 26)

Измерение влажности с помощью влагомера Wile 26. Перед началом измерений проводили калибровку Wile 26 в режиме «Silage» с использованием стандартных образцов (сертифицированные смеси с известной влажностью). Проверяли работоспособность датчика на контрольной пробе с влажностью около 70%, измеренной методом высушивания.

Пробу помещали в мерный контейнер. Датчик прибора плотно прижимали к поверхности пробы, избегая воздушных зазоров. Фиксировали показания влажности на дисплее прибора. Для каждой пробы выполняли три параллельных измерения, результаты усредняли.

Для каждой пробы силосной массы измеряли влажность с использованием Wile 26 и термовесовым методом.

Отклонение (ΔW) между результатами рассчитывали по формуле:

$$\Delta W = |W_{\text{Wile}} - W_{\text{ГОСТ}}| \quad (2.2)$$

Достоверность различий оценивали с использованием t -критерия Стьюдента ($p < 0,05$).

Коэффициент вариации (CV) рассчитывали для оценки воспроизводимости метода:

$$CV = \frac{\sigma}{x} \cdot 100\% \quad (2.3)$$

2.2.2 Методика определения пористости растительной массы

Пористость исследуемого сырья определяется в процессе лабораторных исследований. При определении пористости измельченной зеленой массы необходимо учитывать объём пор, заполненных воздухом и жидкостью. В общем случае пористость определяется по формуле [88]:

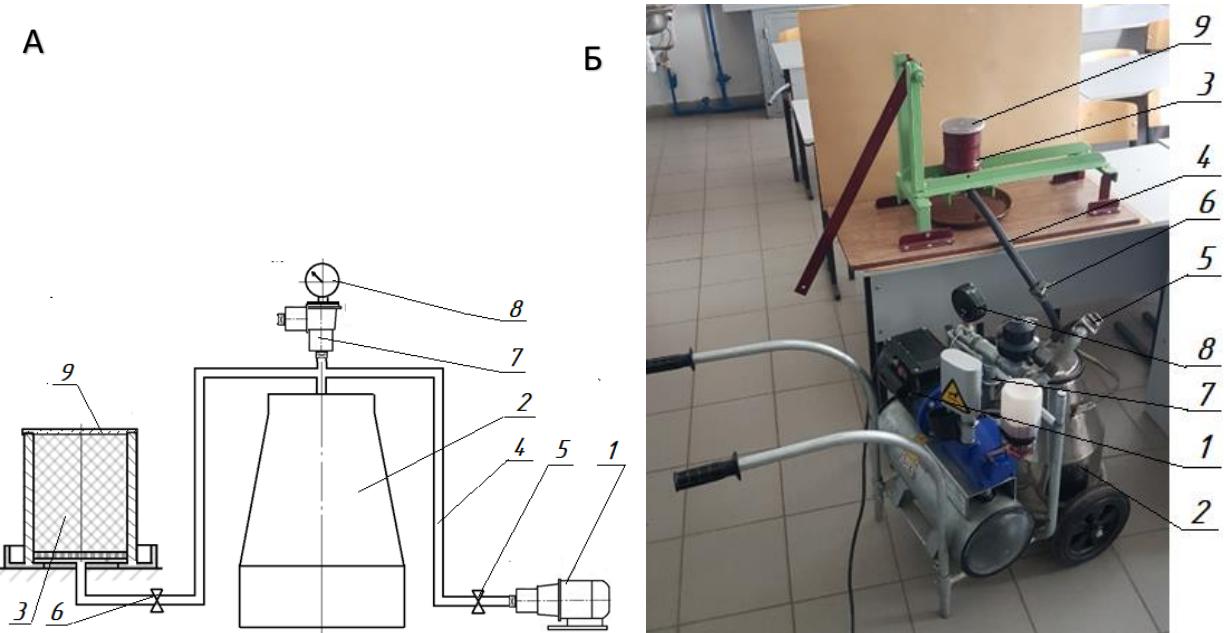
$$\Pi = \frac{V_{\text{возд}} + V_{\text{вода}}}{V} \quad (2.4)$$

где $V_{\text{возд}}$, $V_{\text{вода}}$ – соответственно объём в пробе зеленой массы занятый воздухом и водой, м^3 ; V – полный объём пробы, м^3 .

В эксперименте практически невозможно учесть раздельно количество воздуха, заключенного между частицами сырья, и воздуха скрытого

(окклюдированного) в стеблях резки растений. Проще, с некоторым допущением, такой объём воздуха не учитывать.

Экспериментальное определение пористости можно провести на установке, схема которой представлена на рисунке 2.3.



1 – вакуумная установка; 2, 3 – сосуд; 4 – трубопровод; 5, 6 – кран; 7 – регулятор вакуума; 8 – вакуумметр; 9 – крышка; 10 – исследуемый материал

Рисунок 2.3 – Лабораторная установка для определения пористости силосуемой массы: А – схема, Б – общий вид.

Установка состоит из двух герметичных сосудов 2 и 3, соединенных трубопроводом 4 с вакуумным насосом 1. Сосуд 2 в опыте служит источником вакуума, а в сосуде 3 помещается пробы исследуемого материала. На трубопроводе 4 размещены краны 5 и 6 и вакуумметр 7. В качестве трубопровода 4 в установке использовался резиновый шланг.

Методика проведения опытов следующая. Вначале целесообразно определить плотность исследуемого материала. Затем в сосуд 3 помещают пробу. Закрыв кран 6 и открыв кран 5, откачивают воздух насосом 1 из сосуда 2 до определенного давления, затем закрывают кран 5, отключают насос и записывают значение вакуума по прибору 7 в системе P_1 . После чего открывают кран 6 и снова записывают показание вакуумметра P_2 .

Пористость материала определяют (Π) по отношению давлений по формуле

$$\Pi = \left(1 - \frac{P_2}{P_1} \right) 100\% \quad (2.5)$$

где P_1 , P_2 – вакуумметрическое давление в сосудах, Па.

Пористость кормового материала связана с его плотностью, уменьшается по мере увеличения плотности.

2.2.3 Методика определения объемной плотности силосуемой массы

Объёмная масса (насыпная плотность) кукурузного сырья ρ_0 зависит от влажности, размера измельченных частиц. Лабораторные исследования проводились на зелёной массе кукурузы влажностью 69-72 % молочно-восковой и восковой спелости. Ставилась задача определение зависимости насыпной плотности измельчённой зелёной массы кукурузы от длины частиц резки. Предварительно определяли размер фракций измельченной кукурузной массы. Для исследование фракционного состава зеленой массы кукурузы проводили по стандартным методикам по ГОСТ 34265-2017, ГОСТ Р 55986-2022. Силосную массу насыпали в решётный классификатор с 4-мя ситами с квадратными ячейками, крышкой и поддоном. Размер ячеек сит брали 10x10 мм, 15x15 мм и 20x20 мм. Таким образом, учитывались четыре фракции: менее 10 мм, от 10 до 15 мм, от 15 до 20 мм и свыше 20 мм. Для расчета были приняты частицы по средним размерам ячеек, соответственно: 7,5; 12,5; 17,5; 22,5 мм. Опыты выполнялись в трехкратной повторности. Разный размер фракций использовали для определения объемной массы сырья. В качестве прибора исследований использовали пурка литровая ПХ-1. В качестве мерной ёмкости, у которой цилиндрический сосуд объёмом 0,001 м³. Взвешивание производилось на весах пурки.



1 – весы пурки; 2 – мерный цилиндр; 3 – набор разновесов; 4 – решётный классификатор
Рисунок 2.4 – Лабораторное оборудование для определения объемной плотности силосуемой массы

При опытах мерная емкость с дополнительным цилиндром заполнялся определенным размером фракции зеленой массы. Отсекателем отрезался объем 0,001 м³, снимался дополнительный цилиндр с избытком продукта и взвешивали. Насыпную плотность определяли как отношение массы продукта к объему мерной ёмкости:

$$\rho_0 = \frac{m}{V} \quad (2.6)$$

где m – масса испытываемого материала, кг; V – объем мерной ёмкости, м³.

Аналогично проводились исследования с различными фракциями зеленой массы. Опыты проводились в трехкратной повторности.

Коэффициент уплотнения (K) характеризует степень уменьшения объема измельченной растительной массы под действием нагрузки и рассчитывается как отношение конечной плотности к начальной:

$$K = \frac{\rho_{\text{нач}}}{\rho_{\text{кон}}} = \frac{V_{\text{кон}}}{V_{\text{нач}}}, \quad (2.7)$$

где $\rho_{\text{нач}}$, $\rho_{\text{кон}}$ – плотность до и после уплотнения, кг/м³; $V_{\text{нач}}$, $V_{\text{кон}}$ – соответствующие объемы до и после уплотнения, м³.

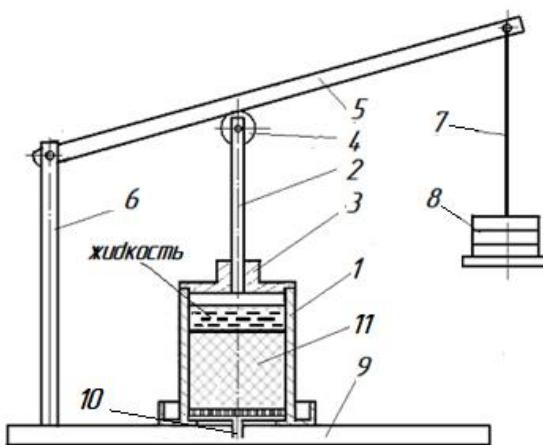
Изменение объема измельченной растительной массы оценивалось по высоте перемещения поршня внутри цилиндра. Проводили серию опытом, изменяя длину резки и осевую нагрузку на растительный материал при помощи грузов.

2.2.4 Методика определения коэффициента фильтрации

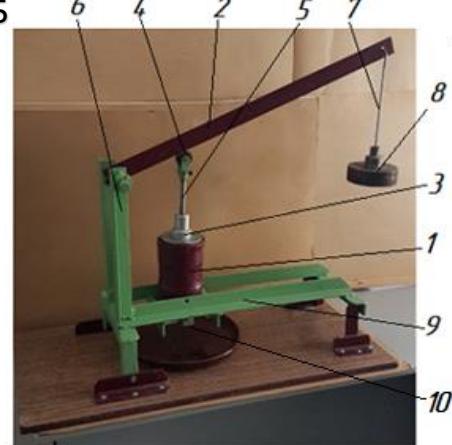
Коэффициент фильтрации является комплексным показателем осушаемой массы, он зависит от пористости и свойств самой жидкости.

Для определения коэффициента фильтрации измельченной растительной массы была разработана лабораторная установка (рис. 2.5).

A



Б



1 – камера; 2 – рычаг; 3 – направляющая; 4 – ролик; шланг; 5 – поршень; 6 – стойка; державка; 8 – груз; 9 – рама; 10 – растительный материал.

Рисунок 2.5 – Лабораторная установка: А. – схема, Б – общий вид.

Установка состоит из камеры 1 цилиндрической формы с перфорированным дном (рис. 2.6) с кожухом со сливным патрубком 10. В камеру 1 (рис. 2.5) сверху установлены направляющая 3 и поршень 2 с герметичным уплотнением (рис. 2.6). На верхнем конце, штока поршня 2 (рис. 2.5) установлен шарнирно ролик 4 контактирующий с рычагом 5. Один конец которого закреплен шарнирно на стойке 6, а на другом установлена державка 7 для грузов 8. Камера 1 и стойка 6 неподвижно зафиксированы на раме 9.

Определение коэффициента фильтрации осуществляли следующим образом. У измельченной растительной массы определяли влажность и укладывали в камеру 1, предварительно сняв направляющую с поршнем. Перед закладкой в цилиндрическую камеру проба растительной массы 10 взвешивалась на лабораторных весах ВЛТК-500-М с точностью $\pm 0,01$ грамм и измерялся объем сырья в камере. Затем вставляли направляющую с поршнем в камеру и на державку устанавливали груз. От чего поршень, перемещаясь вниз, уплотнял растительную массу до её стабилизации. После чего вынимали направляющую с поршнем, измеряли его перемещение и заливали в камеру определенный объем воды, затем снова вставляли поршень с направляющей и через рычаг 2, воздействующий на ролик 4, передавали на шток поршня 2 осевую нагрузку от установленного на державки 7 груза 8. Так как поршень герметично входит во внутреннюю полость камеры, то жидкость под воздействием давления фильтруется через слой

растительной массы и перфорации дна стекает в кожу и через сливной патрубок 10 в мерную емкость.

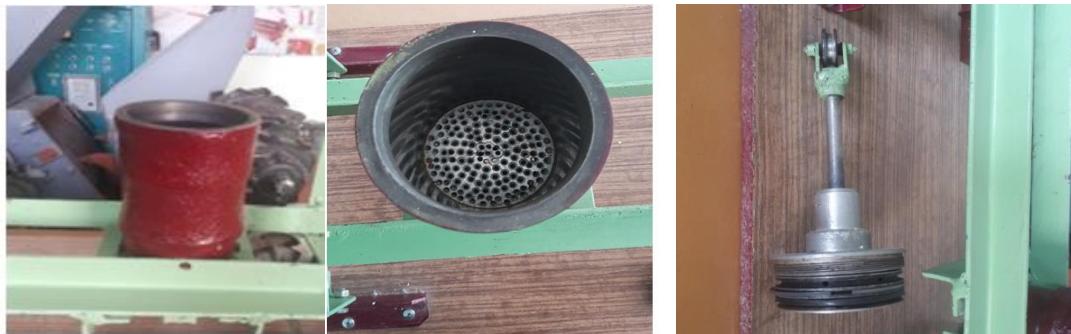


Рисунок 2.6 – Цилиндрическая камера с поршнем

В процессе эксперимента плотность растительной массы увеличивалась под воздействием нагрузки, при этом измерялись объем выделяющейся жидкости за определенный промежуток времени и изменение объема измельченной массы. Изменение объема силосуемой массы оценивалось по высоте перемещения поршня внутри цилиндра. Проводили серию опытов, изменения длину резки и осевую нагрузку на растительный материал при помощи грузов.

Для определения усилия давления на поршень, представим расчетную схему лабораторной установки (рис. 2.7).

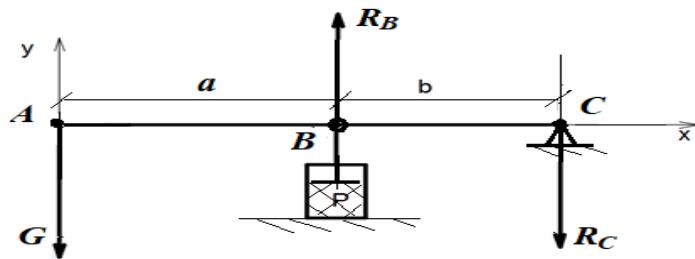


Рисунок 2.7 – Расчетная схема

Составим уравнения проекций всех сил на ось Y

$$\sum F_Y = 0 \quad R_B - R_C - G = 0; \rightarrow R_C = R_B - G; \quad (2.8)$$

Сумму моментов относительно точек A и C:

$$\sum m_A = R_B \cdot a - R_C \cdot (a + b) = 0; \quad (2.9)$$

$$\sum m_C = G \cdot (a + b) - R_B \cdot b = 0; \quad (2.10)$$

Решая совместно уравнения (2.8) и (2.9), получаем

$$R_B = G \frac{a+b}{b} = G \cdot A, \text{ при этом постоянная } A = \frac{a+b}{b}, \text{ а силы } R_B = P.$$

При заданных и постоянных значениях плеч моментов а и b ($a=0,56$ м, $b=0,16$ м), изменения силу тяжести $G=mg$, изменяется осевая нагрузка на поршень в камере. Тогда $P = G \cdot A = 4,5G$. Диаметр камеры в установке составлял 0,1 м с рабочей высотой 0,12 м.

Таблица 2.1 – Силовые параметры прибора

Масса груза, кг	Сила тяжести, Н	Сила от поршня, Н	Давление поршня на растительную массу, Н/м ² (кПа)
2	19,62	88,29	11247,1 (11,2471)
4	39,24	176,58	22494,2 (22,4942)
6	78,48	353,16	44988,5 (44,9885)
8	156,96	706,32	89977,1 (89,9771)

Коэффициент фильтрации определялся как мера способности жидкости проходить через пористую структуру измельченной растительной массы под действием заданного давления. Для этого анализировались зависимости объема выделившейся жидкости от времени и действующая нагрузка, что позволило оценить скорость фильтрации и эффективность осушения.

Коэффициент фильтрации определяли из закона Дарси по формуле:

$$v = k_{\phi} \frac{H_1 - H_2}{h} \quad (2.11)$$

где v – средняя скорость фильтрации, м/с; k_{ϕ} – коэффициент фильтрации, м/с; H_1 – напор жидкости в верхнем сечении слоя массы, м; H_2 – напор жидкости в нижнем сечении слоя массы, м; h - толщина слоя массы, м.

Средняя скорость фильтрации определяется по формуле:

$$v = \frac{V}{F \cdot t} \quad (2.12)$$

где V – объем отфильтрованного сока с жидкостью за промежуток времени, м³; F – площадь поперечного сечения слоя материала, через которую проходит жидкость, м²; t – продолжительность фильтрования, с.

Так как истечение жидкости происходит при атмосферном давлении, то $H_2=0$. Напор жидкости определяют по формуле:

$$H_1 = \frac{P_{\text{ж}}}{\rho \cdot g} \quad (2.13)$$

где $P_{\text{ж}}$ – давление жидкости, Н/м²; ρ – плотность жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

Учитывая все вышеприведённые соотношения, коэффициент фильтрации определяется из формулы:

$$k_{\phi} = \frac{V \cdot h \cdot \rho \cdot g}{F \cdot t \cdot P_{ж}} \quad (2.14)$$

2.2.5 Определение массово-размерных характеристик стеблей кукурузы, початков и зерна в них

Массово-размерные характеристики кукурузы определялись замерами и взвешиванием отдельных частей кукурузы: стебля, початков. Замеры производились с помощью измерительной ленты. Замерялись стебли кукурузы (рис. 2.8). Определялись размеры початка в обвертке (рис. 2.9) и без обвертки (рис. 2.10).



Рисунок 2.8 – Измерение стебля кукурузы



Рисунок 2.9 – Измерение початка в обвертке



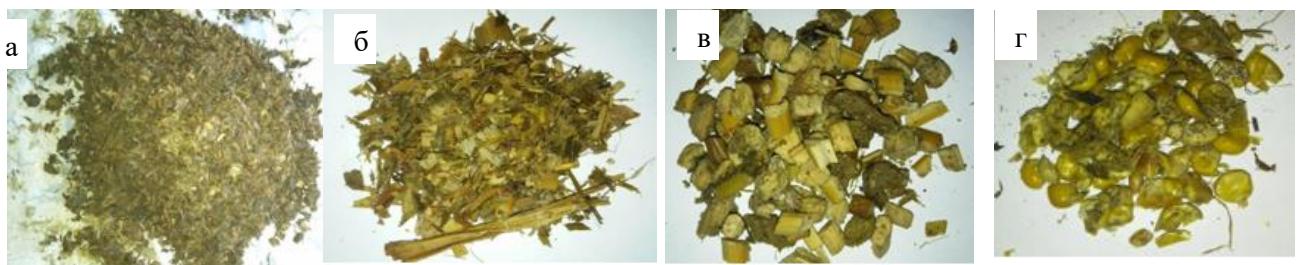
Рисунок 2.10 - Початок без обвертки

Замерялся поперечный срез початка по окружности (рисунок 2.11) и производился подсчет зерна [47].



Рисунок 2.11 - Поперечный срез початка по окружности

Так же производился разбор проб измельченной массы кукурузы, взятой из под комбайна (рис. 2.12 а) [47]. Измельченная масса кукурузы была разобрана на: листовую часть, стебельную часть, кукурузное зерно и стержни кукурузных початков (рис. 2.12 б, в, г – 2.13).



а - проба измельченной массы кукурузы; б - листовая часть; в - стебельная часть;
г - кукурузное зерно

Рисунок 2.12 - Измельченная масса кукурузы



Рисунок 2.13 - Стержни кукурузных початков

2.3 Результаты определения физико-механических свойства и размерных характеристики кукурузного сырья для силоса

2.3.1 Результаты определения влажности измельченной массы кукурузы

Для анализа влажности измельчённой массы кукурузы использовались образцы, заготовленные в условиях лабораторного моделирования. Пробы отбирались и измельчались с помощью ножниц с нержавеющей сталью до размера частиц ≤ 1 см. Измерения влажности растительной массы проводили двумя методами: 1. По методике приведенной в ГОСТе 27548-97; 2. Быстрый метод с использованием влагомера Wile 26 (производитель: Wile Instruments Ltd., Финляндия) в режиме «Silage».

Проведенные нами лабораторные исследования влажности силосной массы показали следующие результаты (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Сравнение значений влажности, полученных разными методами

Влажность W_{wile} , %	Влажность $W_{\text{гост}}$, % [по ф. 2.1]	Отклонение, % [по ф. 2.2]	Коэффициент вариации (CV), %. [по ф. 2.3]
60,1	59,4	0,7	0,08
70,7	70,2	0,5	0,07
80,5	79,7	0,8	0,06

Исходное сырье измельченная кукуруза с початками в восковой спелости зерна, длина резки стеблей 10-15 мм, частицы зерна – 5 мм, масса проб до сушки по 30 гр., масса бюксы до сушки 50 гр., масса бюксы с пробами после сушки: 62,15; 59,05; 56,2 гр.

Методика измерения влажности силосной массы кукурузы с помощью влагомера Wile 26 позволяет получить результаты за 1–2 минуты с погрешностью, не превышающей 0,5% при корректной калибровке и подготовке пробы. Это делает его пригодным для оперативного контроля влажности при проведении экспериментов, в том числе и в полевых условиях. Однако для лабораторных исследований рекомендуется периодически проводить сравнение с ГОСТ-методом.

2.3.2 Результаты измерения объёмная плотность измельченной растительной массы кукурузы

За результат испытания принимали среднеарифметическое значение результатов трех параллельных измерений (Приложение А). Полученные результаты были обработаны с помощью компьютерной программы MS Exel.

Таблица 2.3 – Результаты по определению объёмной плотности измельченной кукурузы

Наименование	Длина резки l , мм			
	7,5	12,5	17,5	22,5
Насыпная плотность ρ , кг/м ³	456	404	383	376

На рисунке 2.14 показана зависимость насыпной плотности от гранулометрического состава измельчённой растительной массы кукурузы.

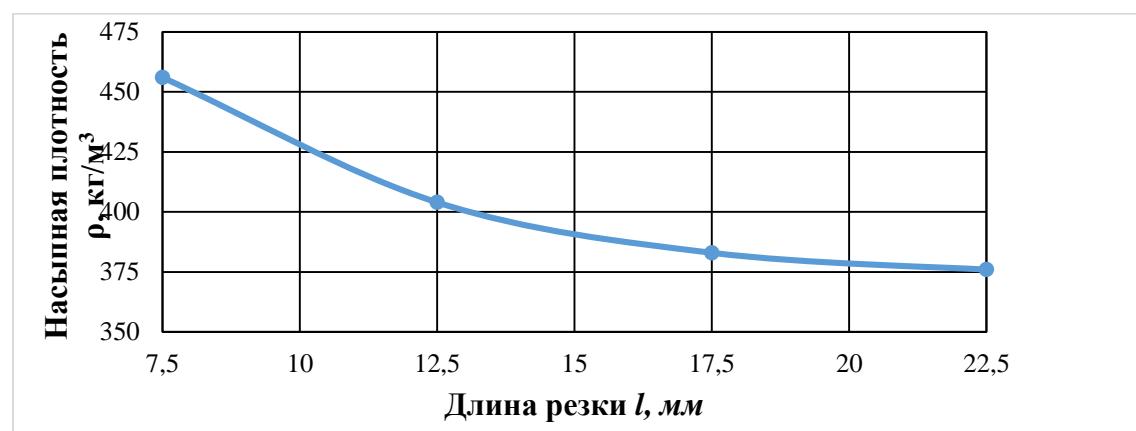


Рисунок 2.14 – Графическая зависимость объёмной плотности растительной массы кукурузы ρ от её гранулометрического состава l

Графическая зависимость объёмной плотности растительной массы кукурузы аппроксимируется ($R^2=0,9963$) формулой

$$\rho_0 = 0,45l^2 - 18,72l + 570,24 \quad (2.15)$$

Как следует из графика при влажности измельченной массы кукурузы около 70,6% насыпная плотность её при изменении частиц резки от 7,5 до 22,5 мм уменьшается 456 до 376 кг/м³. Если рассматривать, что для приготовления силоса исходное сырье в виде измельченной кукурузы с початками в восковой спелости зерна. Влажностью сырья будет в пределах 70%, длина резки стеблей должна 10-15 мм, тогда насыпная плотность растительной массы для расчетов будет составлять около 400 кг/м³.

2.3.3 Результаты определения пористости измельченной массы кукурузы

За результат испытания принимали среднеарифметическое значение результатов трех параллельных измерений (табл.) (Приложение А). Полученные результаты были обработаны с помощью компьютерной программы MS Exel. Результаты по среднеарифметическим значениям представлены в таблице.

Таблица 2.4 – Результаты по определению пористости измельченной кукурузы

Наименование	Длина резки l , мм			
	7,5	12,5	17,5	22,5
Величина вакуума P_1 , кПа	51	51	51	51
Величина вакуума P_2 , кПа	28	26	23	20
Пористость Π , %	45	49	55	61

На рисунке 2.15 показана зависимость пористости от гранулометрического состава измельчённой растительной массы кукурузы.

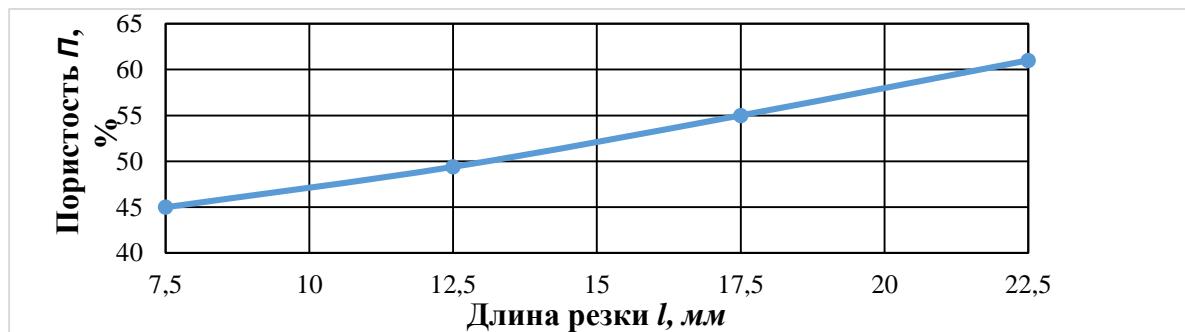


Рисунок 2.15 – Графическая зависимость пористости растительной массы кукурузы Π от её гранулометрического состава l

Графическая зависимость пористости растительной массы кукурузы аппроксимируется ($R^2=0,999$) формулой

$$\Pi = 0,016l^2 + 0,592l + 39,62 \quad (2.16)$$

Как следует из графика при влажности измельченной массы кукурузы около 70,6% пористость её при изменении частиц резки от 7,5 до 22,5 мм увеличивается с 45 до 61%. Если рассматривать, что для приготовления силоса исходное сырье в виде измельченной кукурузы с початками в восковой спелости зерна при длине резки стеблей должна 10-15 мм, тогда пористость растительной массы для расчетов будет составлять в пределах 49-53%.

2.3.4 Результаты определения коэффициента фильтрации измельченной массы кукурузы

Полученные результаты по определения коэффициента фильтрации измельченной массы кукурузы (Приложение А) были обработаны с помощью компьютерной программы MS Excel.

Результаты по среднеарифметическим значениям представлены в табл. 2.5.

Таблица 2.5 – Результаты по определению коэффициента фильтрации измельченной массы кукурузы

Наименование	Длина резки l , мм			
	7,5	12,5	17,5	22,5
Внешнее давление P , кПа	44,99	44,99	44,99	44,99
Толщина слоя измельченной кукурузы, мм	57	64	68	70
Коэффициент фильтрации $K_f \times 10^{-4}$, м/с	1,240	1,346	1,455	1,593

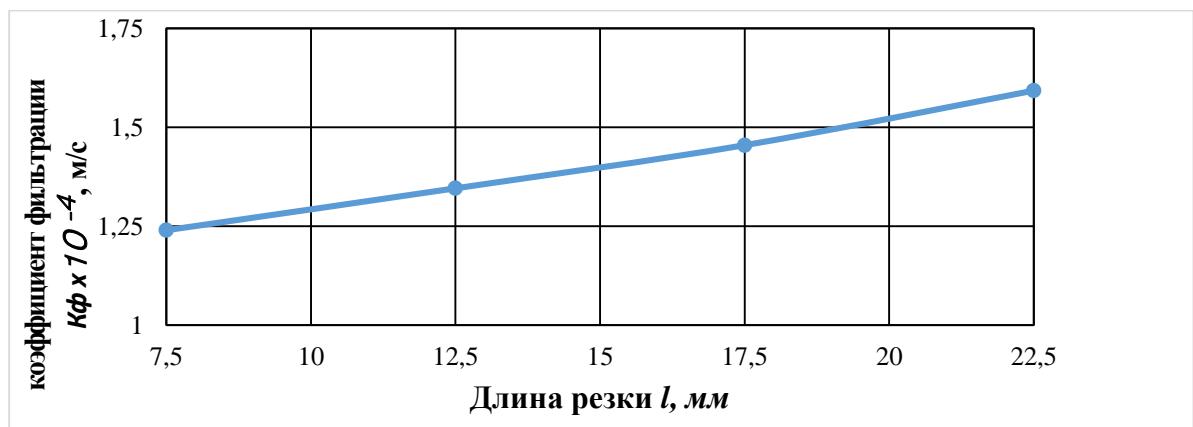


Рисунок 2.16 – Графическая зависимость коэффициента фильтрации растительной массы кукурузы K_f от её гранулометрического состава l

Графическая зависимость пористости растительной массы кукурузы аппроксимируется ($R^2=0,999$) формулой

$$K_{\phi} = 0,0003l^2 - 0,0138l + 1,1201 \quad (2.17)$$

Как следует из графика коэффициент фильтрации не является величиной постоянной. При исходной влажности измельченной массы кукурузы около 70,2% коэффициент фильтрации увеличивается с $1,24 \cdot 10^{-4}$ до $1,593 \cdot 10^{-4}$ м/с при изменении частиц резки от 7,5 до 22,5 мм. Это происходит в связи с более пористой структурой измельченной растительной массы при увеличении её длины резки. Если рассматривать, что для приготовления силоса исходное сырье в виде измельченной кукурузы с початками в восковой спелости зерна при длине резки стеблей должна 10-15 мм, тогда коэффициент фильтрации растительной массы для расчетов будет составлять в пределах $(1,18-1,68) \cdot 10^{-4}$ м/с.

2.3.5 Результаты определения массово-размерных характеристик стеблей кукурузы, початков и зерна в них

Характеристика состава стеблей в среднем по 10 растениям (Приложение Б). Стебли были отобраны из разных мест участка поля в хозяйстве ООО «Авангард» село Мушковатово, где проводилась уборка урожая [52].

Результаты измерений показали, что в среднем длина стебля – 174,8 см., диаметр стебля по низу – 2,26 см., масса стебля с початком – 0,302 кг., масса стебля без початка – 0,162 кг., длина початка в обвертке – 18,79 см., диаметр початка в обвертке по низу – 4,82 см., масса початка в обвертке – 0,14 кг., длина початка без обвертки – 13,7 см. диаметр початка без обвертки по низу – 4,05 см. (рисунок 2.7), масса початка без обвертки – 0,11 кг., количество целых зерен в початке – 223,1 шт., количество испорченных зерен в початке – 15 шт., количество не развившихся зерен в початке – 125,9 шт., количество зерен в поперечном разрезе по окружности початка – 12,9 шт [52, 94].

Выводы по второй главе

В ходе исследований были определены необходимые физико-механические свойства и размерные характеристики кукурузного сырья для приготовления силоса в мягких контейнерах:

относительная влажность, насыпная плотность, пористость, коэффициент фильтрации и массово-размерные характеристики (стебли, початки, зерно).

Исследования проводились на кукурузном сырье, выращенном в хозяйствах Рязанской области.

Использовалась сырье молочно-восковой спелости и восковой спелости кукурузы с початками. Влажностью сырья в пределах 60-73%.

При изменении частиц гранулометрического состава измельченной растительной массы от 7,5 до 22,5 мм насыпная плотность её уменьшается 456 до 376 кг/м³, пористость и коэффициент фильтрации соответственно увеличиваются с 45 до 61% и с $1,24 \cdot 10^{-4}$ до $1,593 \cdot 10^{-4}$ м/с.

При влажности кукурузного сырья для силоса в пределах 70%, длина резки стеблей должна 10-15 мм, тогда для расчетов насыпная плотность растительной массы составит около 400 кг/м³, её пористость 49-53%, а коэффициент фильтрации в пределах $(1,18-1,68) \cdot 10^{-4}$ м/с.

3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СИЛОСОВАННОГО КОРМА ИЗ ПЕРЕУВЛАЖНЕННОГО СЫРЬЯ В МЯГКОМ КОНТЕЙНЕРЕ

3.1 Описание технологического процесса приготовления и хранения силоса в мягких контейнерах

Технологический процесс приготовления и хранения силосованного корма, включает в себя скашивание с измельчением зеленой массы кукурузы, загрузку в мягкие контейнеры, выполненные из воздухонепроницаемой пленки, герметизацию контейнеров, их вакуумирование и доставку к местам хранения и скармливания. После загрузки измельченной массы в мягкие контейнеры для силосования осуществляется её осушение, путём прокачивания через измельченную массу воздушного потока с отводом сока и свободной жидкости перед вакуумированием. Причём ускорение осушения силосуемой массы, закладываемой в контейнер, от жидкости – сока, росы и дождевой воды, осуществляется путём сужения сечения зауженной горловины контейнера.

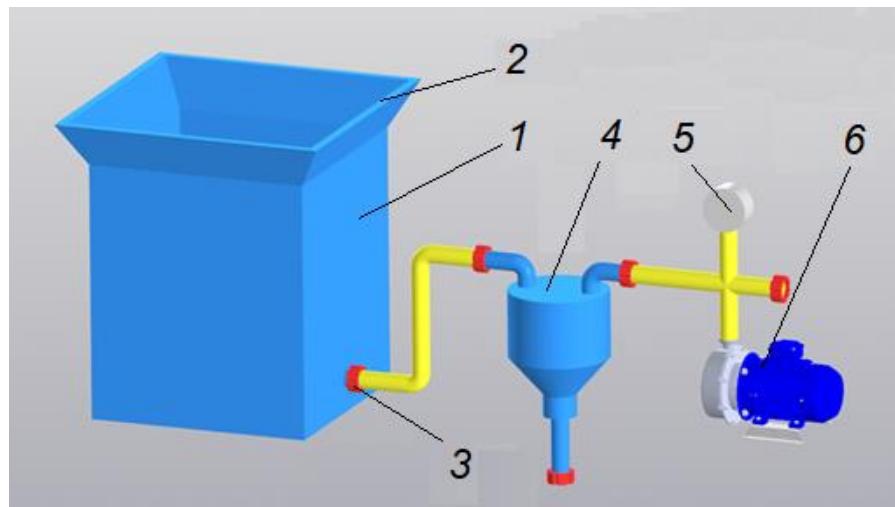
Из закладываемой массы для силосования удаляется сок, образовавшийся при скашивании и измельчении растений и возможно дождевая вода, при уборке кукурузы в ненастную погоду и при её транспортировке.

Для ускорения осушения измельчённой кормовой массы от свободной жидкости и образовавшегося сока, воздух прокачивается перед вакуумированием, через зауженную горловину контейнера с изменяемым сечением. Скорости прохода воздуха через измельченную массу способствует увеличению отделения капель дождевой воды и сока от измельченной массы для силосования.

Для повышения качества силосованного корма, сохранения его в течение длительного времени, а также транспортировки силоса к местам хранения и скармливания сельскохозяйственным животным силосуемая масса закладывается в отдельные контейнеры, где и силосуется. Закладка силосуемой массы в контейнеры может осуществляться либо на стационарной площадке, либо в полевых условиях. Если контейнеры с жёсткими стенками, то они прямо гружаются

на транспортные средства и перевозятся к местам хранения и скармливания, а, если с мягкими стенками (например, из пленки), то тогда контейнеры перевозятся к местам хранения и скармливания в транспортных мешках. При этом исключаются потери в процессе закладки, транспортировки и хранения силоса [60].

На рисунке 3.1 представлена схема оборудования для приготовления кукурузного силоса в мягких контейнерах с удалением жидкой фракции.



1 – контейнер; 2 – горловина; 3 – клапан; 4 – вакуумный баллон; 5 – вакуумметр;
6 – вакуумный насос.

Рисунок 3.1 – Схема оборудования для приготовления силоса

Усовершенствованный процесс приготовления и хранения силоса в мягком вакуумированном контейнере содержит следующее оборудование: контейнер 1 для силосуемой массы, снабженный загрузочной горловиной 2 и клапаном 3, вакуумную систему, включающую вакуумный баллон 4 для стабилизации разряжения и сбора жидкой фракции, вакуумметр 5 для контроля за величиной вакуума и вакуумный насос 6.

В контейнер 1 через открытую горловину 2 загружается переувлажненная силосуемая масса и к клапану 3, установленному у дна контейнера 1, при помощи вакуумпроводов подсоединяются последовательно вакуумный баллон 4, вакуумметр 5 и вакуумнасос 6.

При включенном вакуумном насосе 6 сначала отсасывается воздух из вакуумного баллона 4, затем через клапан 3 из силосуемой массы и окружающей среды. Попутно с воздухом отсасывается жидкость, которая накапливается в вакуумбалоне 4. Для ускорения осушения силосной массы от жидкой фракции

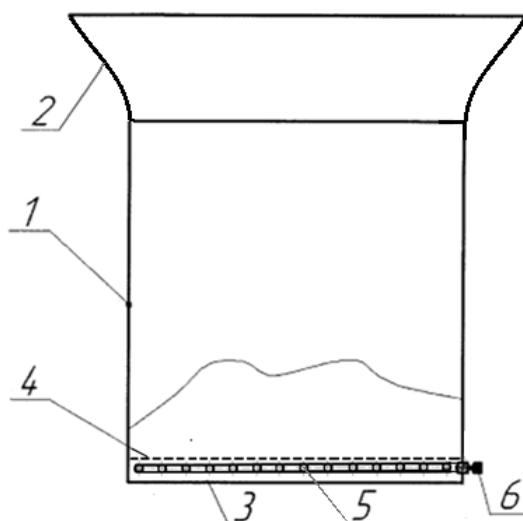
горловину 2 сужают, увеличивая тем самым скорость воздушного потока, что способствует отделению капель жидкости – дождевой воды, образовавшегося сока из силосуемой массы. После осушения кормовой силосной массы контейнер 1 герметизируют, а затем вакуумируют до величины вакуума 50 - 60 кПа. Процесс силосования осуществляется без жидкой фракции, вызывающей закисление силоса. В контейнере вакуумная среда позволяет получить и сохранить качественный силосованный корм высокого качества.

Новизна рассмотренного решения подтверждена патентом РФ на изобретение № 2 683 521 «Способ приготовления и хранения силосованного корма» (Приложение В) [65].

Обычно силос из кукурузы заготавливают в сентябре месяце, когда дождливых дней примерно 10-12 из 30. Закладку одной траншеи ведут примерно 5 дней, а весь период силосования длится 15-20 дней. Поэтому не исключается попадание значительные количества дождевой воды в силосуемую массу.

Практические опыты показывают, что на удаление дождевой воды и образовавшегося сока из мягкого контейнера со свежезагруженной кормовой массой требуется всего несколько минут с использованием вакуумного агрегата.

На рисунке 3.2 представлена схема контейнера из воздухонепроницаемой пленки с раскрытым горловиной и с жесткой вставкой в нижней части для ввёртывания снаружи клапана и присоединения внутри коллектора.



1 – контейнер; 2 – горловина; 3 – дно; 4 – перегородка; 5 – коллектор; 6 – клапан
Рисунок 3.2 – Схема контейнера из воздухонепроницаемой пленки

Стенки контейнера 1 выполнены из воздухонепроницаемой плёнки. В верхней части имеется загрузочная горловина 2, а у дна 3 контейнера расположен трубчатый коллектор 5, через вставку в боковой стенке контейнера герметично соединен с клапаном 6, установленном снаружи. Сверху над коллектором, по размеру всей площади дна контейнера, установлена перфорированная перегородка из не корродирующего материала. Размеры отверстий в перегородке должны быть меньше размера частиц силосуемой массы. Коллектор 5 охватывает площадь дна и выполнен из труб, в боковой поверхности которых имеются отверстия для захода жидкости и воздуха.

Контейнер изготовлен из специального рукава, применяемого для силосования сельскохозяйственных культур. Чтобы мягкие контейнеры было удобно вставлять в транспортные мешки, необходимо сварить четыре ребра по высоте до уровня горловины, что ориентирует расположение контейнера при заполнении силосуемой массой и улучшит доступ к патрубку с клапаном при вакуумировании [65]. При этом с целью снижения затрат в качестве контейнера для силосуемой массы могут быть использованы мягкие контейнеры типа «Биг-Бэги» с внутренним герметичным вкладышем и наружным прочным чехлом. Которые следует снабдить фильтрующей перегородкой и коллектором для отвода воздуха и жидкости.

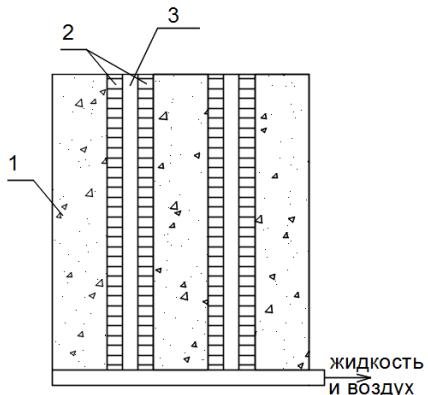
Техническая новизна контейнера для приготовления и хранения силосованного корма подтверждена патентами РФ на полезную модель №183 627 и №193970 (Приложение Г, Д) [64, 66].

3.2 Теоретическое обоснование процесса осушения силосуемой массы в мягких контейнерах посредством прокачивания воздуха

Пористой средой является измельченная масса кукурузы с початками. В этой среде находится свободная, механически удерживаемая жидкость, которую необходимо удалить до определённого процентного содержания.

Для осушения силосуемой массы, упакованной в мягкий контейнер, снизу производится откачка воздуха, схематично показано на рисунке 3.3. В результате

этого допускаем, что образуется вертикальный поток воздуха сверху вниз через массу силосуемого корма. Поток воздуха увлекает за собой частицы жидкости вниз и удаляет её из мягкого контейнера.



1- частицы силосуемой массы; 2 – вода; 3 – воздух

Рисунок 3.3 – Схема осушения силосуемой массы в контейнере

Для механического описания этого процесса необходимо принять приближенную адекватную модель пористой среды и механизм взаимодействия жидкости, находящийся на частицах силосуемой массы с потоком воздуха, проходящего через поры в них [71].

Путь, по которому движется воздух, очень сложен и неизвестен. Но поскольку его движение происходит в призматическом объеме сверху вниз, то допускаем его прямолинейным и вертикальным.

При решении вопросов фильтрации методами гидродинамического анализа приходится пользоваться упрощенными моделями строения пористой среды.

Одной из таких моделей является «идеальная» пористая среда, у которой капиллярные каналы, составлены из пор, образующихся частицами среды, принимаются цилиндрическими и параллельными между собой (рисунок 3.3) [48]. Поэтому, к разработанному нами способу осушения силосуемой массы вполне применима модель «идеальной» пористой среды.

В ненасыщенном состоянии силосуемой массы, жидкость не может перемещаться под действием силы тяжести, так как притягивается к частицам массы силами электрической природы. Часть этой жидкости находится вочно связанном состоянии, а часть в свободно связанном и механически удерживаемом состоянии.

Прочно связанную жидкость можно удалить только высушиванием, что нецелесообразно, а свободно связанную жидкость можно оторвать и перемещать вниз силами её взаимодействия с потоком воздуха [88].

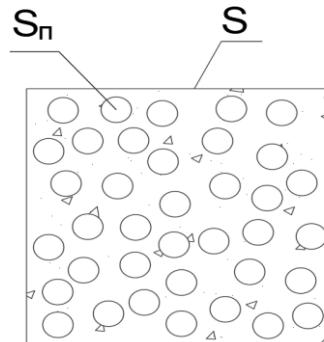
Экспериментально эта задача решена и получен результат, вполне удовлетворяющий условиям хранения силоса.

Необходимо теоретически обосновать этот процесс и определить его оптимальные параметры.

3.3 Определение скорости и расхода воздушного потока, необходимого для осушения силосуемой массы

3.3.1 Определения объема удаляемой жидкости из силосуемой массы

Для простоты теоретического обоснования представим весь объем материала в контейнере в виде сплошной силосуемой массы и трубок по которым движется воздух (рисунок 3.4).



S_n – площадь пор; S – площадь всего сечения контейнера

Рисунок 3.4 – Поперечное сечение силосуемой массы в контейнере

Весь объём сырья в контейнере состоит из частиц силосуемой массы – V_t и объёма пор между частицами V_n . Часть объёма пор заполнено жидкостью объёмом V_b . Объем жидкости можно установить через влажность W силосуемой массы, которая определяется известным весовым методом $W = \frac{g_b}{g_t}$, тогда

$$V_b = \frac{g_t}{\gamma_b} \cdot W, \quad (3.1)$$

где g_b – масса жидкости в объёме V , кг; g_t – соответственно масса высушенного измельченного сырья, кг; γ_b – объёмная масса жидкости, м^3 ;

Объёмный вес силосуемой массы определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{g}{V}, \quad (3.2)$$

где g – масса материала объёма V силосуемой массы, кг.

Тогда объёмная масса скелета силосуемой массы (объём частиц измельченной кукурузы и пор)

$$\gamma_{\text{ск}} = \frac{g_{\text{T}}}{V} = \frac{g - g_{\text{B}}}{V} = \gamma - \frac{(g_{\text{B}}) \cdot g_{\text{T}}}{(V) \cdot g_{\text{T}}} = \gamma - W \cdot \gamma_{\text{ск}}, \text{ отсюда выражаем}$$

$$\gamma_{\text{ск}} = \frac{\gamma}{1+W}; \quad (3.3)$$

Выразим объём жидкости, находящийся в силосуемой массе.

Согласно формуле (3.1) объем жидкости можно вычислить по формуле:

$$V_{\text{B}} = W \cdot \frac{g_{\text{T}}}{\gamma_{\text{B}}} = W \cdot \frac{g_{\text{T}}}{V} \cdot \frac{V}{\gamma_{\text{B}}} = \frac{W \cdot \gamma_{\text{ск}}}{\gamma_{\text{B}}} \cdot V; \quad (3.4)$$

С учетом равенства (3.3), получим

$$V_{\text{B}} = V \cdot \frac{\gamma \cdot W}{\gamma_{\text{B}} \cdot (1+W)}; \quad (3.5)$$

Если $W_{\text{опт}}$ – оптимальная влажность силосуемого материала, то можно определить количество жидкости, которую необходимо удалить, чтобы он соответствовал этой влажности. Для этого надо из всего объёма жидкости вычесть остаточный объём жидкости

$$V_{\text{отк}} = V_{\text{B}} - V_{\text{ост.}}$$

Тогда в соответствии с формулой (3.5) имеем

$$V_{\text{отк}} = V \cdot \frac{\gamma}{\gamma_{\text{B}}} \cdot \left[\frac{W_0}{1+W_0} - \frac{W_{\text{опт}}}{1+W_{\text{опт}}} \right] = V \cdot \frac{\gamma}{\gamma_{\text{B}}} \cdot \frac{W_0 - W_{\text{опт}}}{(1+W_0) \cdot (1+W_{\text{опт}})} \quad (3.6)$$

или

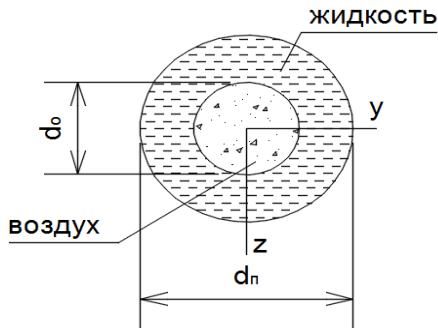
$$V_{\text{отк}} = V \cdot \frac{\gamma_{\text{ск}}}{\gamma_{\text{B}}} (1 + W_{\text{опт}}),$$

где W_0 – начальная влажность силоса.

3.3.2 Постановка и решение задачи о движении воздуха по порам силосуемой массы

Как уже отмечалось, движение воздуха происходит в стесненных условиях (в контейнере призматической формы). Поэтому движение воздуха происходит преимущественно вертикально вниз.

Вода в ненасыщенном состоянии обволакивает частицы силосуемой массы, образуя просвет в котором находится воздух, показано на рисунке 3.5. Будем считать, что просветы образуют вертикальные трубы, по которым движется воздух. Диаметры этих трубок малы, поэтому движение воздуха по трубкам будем считать одномерным со средней скоростью – v_x .



d_n, d_o – диаметры пор и пустоты

Рисунок 3.5 – Вид трубы сверху

Кроме этого движение воздуха в трубке будем считать ламинарным, адиабатическим, изотермическим, а сам воздух баротропным.

Движение воздуха при сделанных допущениях описывается уравнениями Навье-Стокса [39].

При одномерном движении составляющие вектора скорости $v_y = v_z = 0$, а уравнение Навье - Стокса в проекциях на оси y, z принимают вид

$$0 = -\frac{\partial P}{\partial y}, 0 = \frac{\partial P}{\partial z}.$$

Из них следует, что давление зависит от времени и координаты x . Тогда уравнение движения воздуха в проекции на ось x будет следующим:

$$\left(\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v^2}{\partial x} \right) = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial y} + g + \mu \Delta v \quad (3.7)$$

$$v_y = v_z = 0$$

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} = - \cdot \frac{\partial P}{\partial x} + \rho g + \mu \Delta v$$

где v – скорость движения частицы воздуха, м/с; P – давление, Па; ρ – плотность воздуха, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; μ – коэффициент вязкого трения между слоями воздуха; $\Delta v = \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа,

примененный к скорости частицы воздуха; x – координата частицы по вертикали; y, z – её координаты в горизонтальной плоскости.

Слагаемое $\mu \Delta v$ определяет силу трения между вертикальными слоями воздуха.

Дальнейшее упрощение уравнения Навье - Стокса состоит в том, что если поддерживать перепад давления постоянным во времени, то скорость движения частиц воздуха вдоль линий тока не будет зависеть от времени. Это означает, что частная производная по времени от скорости частиц воздуха в (3.7) равна нулю.

К выражению (3.7) необходимо добавить уравнение неразрывности (сохранения массы)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \cdot (\rho v) = 0 \quad (3.8)$$

и уравнение состояния для баротропной среды

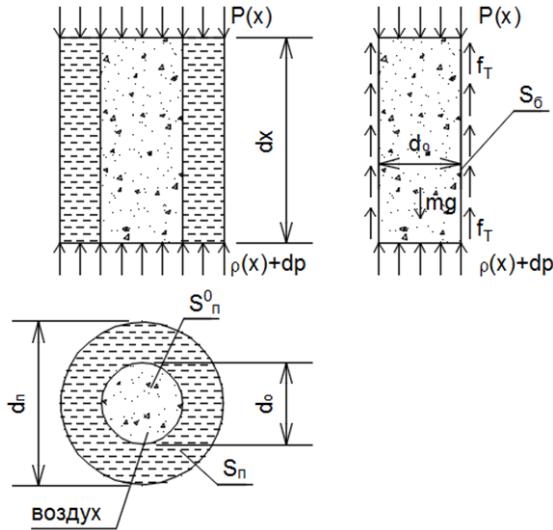
$$P = P(\rho) \quad (3.9)$$

Система уравнений ((3.7) – (3.9)) представляет собой полную систему трёх уравнений относительно трёх функций v, P, ρ .

Из уравнения (3.7) следует, что движение воздуха создается градиентом давления и силой тяжести. Этому движению препятствует сила трения воздуха о жидкость, окружающую частицы силосуемой массы. В свою очередь, сила трения воздуха о жидкость будет перемещать механически связанную жидкость вниз, и удалять ее из силосуемой массы.

Поскольку нас интересует сила взаимодействия между воздухом и жидкостью, то удобно получить уравнение движения всего столба воздуха заключенного в просвете образованного жидкость.

Для этого рассмотрим бесконечно малый столб жидкости и воздуха высотой dx в одной трубке (рисунок 3.6).



d_p – диаметр поры; d_o – диаметр столба воздуха; S_p – площадь поперечного сечения поры;

S_p^0 – площадь просвета; f_T – сила трения по боковой поверхности столба воздуха о воду, приходящаяся на единицу площади боковой поверхности; S_6 – площадь боковой поверхности столба воздуха

Рисунок 3.6 – Бесконечно малый элемент столба воздуха и жидкости

Согласно принципа Д'Аламбера, сумма проекций всех активных сил и сил инерции на ось x равна нулю, т.е.

$$-dP \cdot S_p^0 - f_T \cdot S_6 + mg - ma = 0 \quad (3.10)$$

где m – масса столба воздуха, кг; a – ускорение движения частицы воздуха, м/с².

Величины входящие в (3.10), равны:

$$m = \rho \cdot S_p^0 \cdot dx, \quad a = \frac{dv}{dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial x} \cdot v = \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v^2}{\partial x} \quad (3.11)$$

$$S_6 = \pi \cdot 2r_o \cdot h, \quad S_p^0 = \frac{\pi r_o^2}{4}$$

Подставив (3.11) в (3.10) и сокращая на $S_p^0 dx$, придем к уравнению

$$\rho \cdot \left(\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v^2}{\partial x} \right) + \frac{\partial P}{\partial x} + f_T \cdot \frac{2}{r_o} - \rho g = 0 \quad (3.12)$$

где $r_o = d_o/2$ – радиус трубки, зависящий от влажности силосуемого материала или от количества воды в нем.

Уравнение (3.12) совпадает с уравнением (3.7), где силе трения $\mu \Delta v$ соответствует сила $f_T \cdot \frac{2}{r_o}$. Уравнение неразрывности (3.8) сохраняет свой вид.

Уравнение состояния (3.9) для воздуха примем в виде (3.13)

$$P(\rho) = P_0 \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^\gamma \quad (3.13)$$

где P_0 и ρ_0 – давление и плотность воздуха в естественном состоянии, вверху мягкого контейнера; показатель степени γ для воздуха заключается в пределах[2]: $1 \leq \gamma \leq 1,4$.

Процесс движения будем считать установившимся, т.е. независящим от времени, следовательно, частные производные по времени равны нулю:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad (3.14)$$

Тогда уравнения (3.8) и (3.12) упрощаются и будут следующими:

$$\rho v \cdot \frac{dv}{dx} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g - f_t \cdot \frac{2}{r_{0(t)}} \quad (3.15)$$

$$-\frac{f_t}{r_{0(t)}} \cdot \frac{2}{r_{0(t)}} = \mu \Delta v$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial x} = 0, \quad (3.16)$$

где ρ, v, P зависят только от x .

К уравнениям (3.15), (3.16) необходимо добавить граничные условия:
при $x=0, P=P_0, \rho=\rho_0$

при $x=h, P=P_b, v=v_b$, (3.17)

где P_0, ρ_0 – атмосферное давление и плотность воздуха в естественном состоянии;
 P_b, v_b – давление и скорость воздуха внизу контейнера.

Из уравнения (3.16) и граничных условий (3.17), следует равенство:

$$\rho v = \rho_0 v_0 \quad (3.18)$$

Из уравнения (3.13) выразим плотность

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{P}{P_0} \right)^{1/\gamma} \quad (3.19)$$

и подставим (3.18) и (3.19) в уравнение (3.15)

$$\rho_0 v_0 \cdot \frac{dv}{dx} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho_0 P_0^{-\frac{1}{\gamma}} \cdot P^{\frac{1}{\gamma}} \cdot g - \frac{2f_t}{r_0} \quad (3.20)$$

Далее примем допущение о линейном законе изменения давления по высоте контейнера

$$P(x) = P_0 - \frac{P_0 - P_b}{h} \cdot x \quad (3.21)$$

Применяя равенства (3.18) и (3.21), уравнение (3.15) примет вид:

$$\rho_0 v_0 \cdot \frac{dv}{dx} = \frac{\Delta P}{h} + \rho_0 \cdot \left(1 - \frac{\Delta P}{P} \cdot \frac{x}{h}\right)^\lambda \cdot g - f_0, \quad (3.22)$$

где $\Delta P = P_0 - P_b$, $f_0 = \frac{2f_t}{r_0}$, $\lambda = \frac{1}{\gamma}$.

Интегрируя уравнение (3.22) по x , получим

$$v_x = v_0 + \frac{1}{\rho_0 v_0} \cdot \left(\frac{\Delta P}{h} - f_0\right)x - \frac{g}{v_0} \cdot \frac{P_0 h}{\Delta P} \cdot \frac{1}{1+\lambda} \left[\left(1 + \frac{\Delta P}{P_0 h} x\right)^{\lambda+1} - 1 \right] \quad (3.23)$$

При $x=h$ получим скорость выхода воздуха из коллектора:(в нижней части контейнера):

$$v_B = v_0 + \frac{1}{\rho_0 v_0} \cdot (\Delta P - f_0 h) + \frac{g}{v_0} \cdot \frac{P_0 h}{\Delta P} \cdot \frac{1}{1+\lambda} \left[\left(1 - \frac{P_B}{P_0}\right)^{\lambda+1} \right] \quad (3.24)$$

Умножая левую и правую части уравнения на v_0 , придем к квадратному уравнению:

$$v_0^2 - v_0^2 v_B + F = 0, \quad (3.25)$$

относительно v_0

$$\text{где } F = \frac{1}{\rho_0} (\Delta P - f_0 h) + \frac{1}{1+\lambda} g \frac{P_0 h}{\Delta P} \left[1 - \left(\frac{P_B}{P_0} \right)^{\lambda+1} \right] \quad (3.26)$$

Используя равенства (3.18) и (3.19), выразим v_0 через v_B :

$$v_0 = v_B \left(\frac{P_B}{P_0} \right)^\lambda \quad (3.27)$$

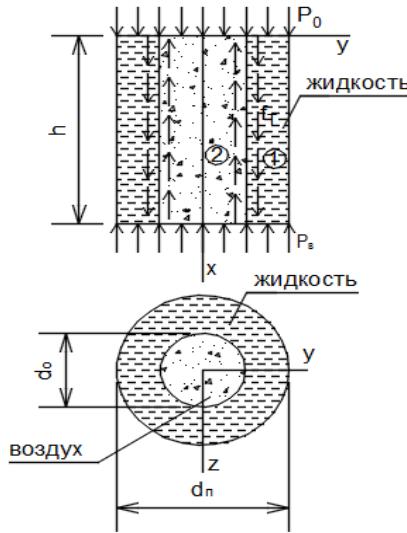
Подставляя (3.27) в (3.25) и учитывая (3.26), выразим f_t :

$$f_t = \frac{r_0}{2h} [\Delta P - \rho_0 (P_1 - P_2)] \quad (3.28)$$

$$\text{где } P_1 = \frac{1}{1+\lambda} g \frac{P_0 h}{\Delta P} \left[1 - \left(\frac{P_B}{P_0} \right)^{\lambda+1} \right], P_2 = v_B^2 \left(\frac{P_B}{P_0} \right)^\lambda \left(1 - \left(\frac{P_B}{P_0} \right)^\lambda \right).$$

3.3.3 Движение жидкости в силосуемой массе

Расчётная схема для описания движения жидкости в связи с принятыми допущениями имеет вид, рисунок 3.7.



P_0, P_b – давление в сечении слоя материала сверху и снизу; h – высота силосуемой массы

Рисунок 3.7 – Расчёчная схема для описания движения жидкости

Одномерное движение жидкости описывается уравнениями (3.7), (3.8).

Поскольку рассматриваем установившееся движение жидкости и жидкость считаем несжимаемой, то

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0, \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0, \quad (3.29)$$

т.е. скорость движения и плотность жидкости в каждой точке линий тока остаются величинами постоянными с течением времени. Из уравнения (3.8) с учётом (3.29) следует, что

$$\frac{\partial v}{\partial x} = 0, \quad (3.30)$$

т.е. скорость движения жидкости не зависит от координаты x . В результате уравнения (3.7) принимает вид:

$$\frac{\partial P}{\partial x} - \rho g = \mu \Delta v \quad (3.31)$$

В пределах одной трубы движения жидкости является осесимметричным. Поэтому удобно воспользоваться цилиндрической системой координат, в которой с учётом (3.31) оператор Лапласа имеет вид:

$$\Delta v = \frac{d^2 v}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dv}{dr}, \quad (3.32)$$

а уравнение (3.31)

$$\frac{\partial P}{\partial x} - \rho g = \mu \left(\frac{d^2 v(r)}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dv(r)}{dr} \right) \quad (3.33)$$

К системе уравнений (3.30), (3.33) надо добавить граничные условия.

Скорость воды на поверхности поры равна нулю (условие прилипания), т.е.

$$v(x, r_{\Pi}) = 0 \quad (3.34)$$

На границе раздела между воздухом и водой (рисунок 3.8) со стороны воздуха на воду действует сила трения f_T , которая вызывает касательные напряжения в воде, при этом $f_T = \tau$

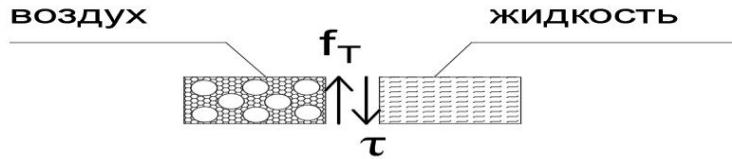


Рисунок 3.8 – Действующие силы между воздухом и водой

В механике вязкой жидкости определяют по закону Стокса:

$$\tau = \mu \left(\frac{\partial v_r}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial r} \right), \quad (3.35)$$

где $\frac{\partial v_r}{\partial x} = 0$, в силу одномерного движения воды, таким образом, вторым граничным условием будет равенство (при $r = r_0$):

$$\frac{dv_x}{dr} = \frac{f_T}{\mu} \quad (3.36)$$

где μ – коэффициент вязкости воды.

В результате интегрирования по x от 0 до h уравнения (3.33) получим уравнение:

$$\frac{P_B - P_0}{1} - \rho g = \mu \Delta v \quad (3.37)$$

Учитывая равенство (3.32), уравнение (3.37) представим в виде:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \left(r \frac{dv}{dr} \right) = -F \cdot \frac{1}{\mu}, \quad (3.38)$$

где $F = \frac{P_0 - P_e}{h} + \rho_B g$.

Проинтегрируем (3.38) по r . В результате получим:

$$\frac{dv}{dr} = -\frac{1}{2\mu} F \cdot r + \frac{c_1}{r} \quad (3.39)$$

Удовлетворяя граничному условию (3.36), получим уравнение относительно c_1 :

$$\frac{f_T}{\mu} = -\frac{1}{2\mu} F \cdot r_0 + \frac{c_1}{r_0} \quad (3.40)$$

Из (3.40) находим:

$$c_1 = \frac{f_t \cdot r_0}{\mu} + \frac{1}{2\mu} F \cdot r_0^2 \quad (3.41)$$

Интегрируя (3.39) по r , получим:

$$v(r) = -\frac{1}{4\mu} F \cdot r^2 + c_1 \ln r + c_2 \quad (3.42)$$

Подчиним (3.42) условию (3.34):

$$0 = -\frac{1}{4\mu} F \cdot r_{\pi}^2 - \left(\frac{f_t \cdot r_0}{\mu} + \frac{1}{2\mu} F \cdot r_0 \right) \ln r_{\pi} \quad (3.43)$$

Из (3.43), учитывая (3.41), находим:

$$c_2 = \frac{1}{4\mu} F \cdot r_{\pi}^2 - \left(\frac{f_t \cdot r_0}{\mu} + \frac{1}{2\mu} F \cdot r_0 \right) \ln r_{\pi} \quad (3.44)$$

Полученные выражения (3.41) и (3.44) подставим в (3.42):

$$v(r) = -\frac{1}{4\mu} F \cdot r^2 + \left(\frac{f_t \cdot r_0}{\mu} + \frac{1}{2\mu} F \cdot r_0^2 \right) \ln r + \frac{1}{4\mu} F \cdot r_{\pi}^2 - \left(\frac{f_t \cdot r_0}{\mu} + \frac{1}{2\mu} F \cdot r_0 \right) \ln r_{\pi}$$

Приводя подобные, получим:

$$v(r) = \frac{F}{4\mu} (r_{\pi}^2 - r^2) + \frac{1}{\mu} \left(f_t \cdot r_0 + \frac{1}{2} F \cdot r_0^2 \right) \ln \frac{r}{r_{\pi}} \quad (3.45)$$

где f_t определяется по формуле (3.28).

3.4 Влияние величины вакуума на процесс осушения силосуемого материала в мягком контейнере

3.4.1 Определение расхода жидкости из мягкого контейнера с силосуемой массой

При прокачивании воздуха через силосуемую массу удаляется механически удерживаемая жидкость из неё. Часть порового пространства материала остаётся заполненной жидкостью, скорость движения которой, в процессе прокачивания равна нулю.

Обозначим через r_k радиус активных (эффективных) пор – радиус от центра поры до жидкости оставшейся неподвижной и подставим его в выражение скорости (3.45) вместо r_{π} :

$$v(r) = \frac{F}{4\mu} (r_k^2 - r^2) + \frac{1}{\mu} \left(f_t \cdot r_0 + \frac{1}{2} F \cdot r_0^2 \right) \ln \frac{r}{r_k} \quad (3.46)$$

В гидродинамике пористых сред вводят вместо истинной скорости в поровых трубках среднюю скорость по сечению трубы:

$$v_{cp} = \frac{2}{r_k^2 - r_0^2} \int_{r_0}^{r_k} v(r) r dr \quad (3.47)$$

Подставим в (3.47) выражение скорости (3.46) и проинтегрируем. В результате придем к выражению

$$v_{cp} = \frac{2Fr_k^4}{4\mu(r_k^2 - r_0^2)} \left[\left(1 - \frac{r_0^2}{r_k^2}\right)^2 + \left(1 + \frac{q_0}{F}\right) \frac{r_0^2}{r_k^2} \left(-\frac{r_0^2}{r_k^2} \ln \left(\frac{r_0}{r_k}\right) - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{r_0^2}{r_k^2}\right) \right) \right], \quad (3.48)$$

где $q_0 = \frac{1}{h} [\Delta P - \rho_0 (P_1 - P_2)]$.

Расход воды через одну активную поровую трубку равен

$$Q_0 = \pi (r_k^2 - r_0^2) \cdot v_c$$

или учитывая (3.48)

$$Q_0 = \frac{\pi Fr_k^4}{2\mu} U \left(\frac{r_0}{r_k} \right), \quad (3.49)$$

где

$$U \left(\frac{r_0}{r_k} \right) = \left(1 - \frac{r_0^2}{r_k^2}\right)^2 + \left(1 + \frac{q_0}{F}\right) \frac{r_0^2}{r_k^2} \left(-\frac{r_0^2}{r_k^2} \ln \left(\frac{r_0}{r_k}\right) - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{r_0^2}{r_k^2}\right) \right) \quad (3.50)$$

Расход воды через все поры равен, м³/с:

$$Q = NSQ_0$$

Или с учетом (3.49)

$$Q = \frac{NS\pi r_k^4 F}{2\mu} U \left(\frac{r_0}{r_k} \right) \quad (3.51)$$

где N – число пор, приходящихся на единицу площади поперечного сечения контейнера; S – площадь поперечного сечения мягкого контейнера.

Коэффициент активной пористости с учётом того что не вся жидкость в порах приходит в движение равен:

$$n = \frac{V_{np}}{V} \quad (3.52)$$

где V_{np} – объем просветности силосуемой массы в мягком контейнере;

$V = S \cdot h$ - объем силосуемой массы в мягком контейнере.

Объем просветности силосуемой массы в мягком контейнере

$$V_{\text{пп}} = N\pi r_{\kappa}^2 \cdot Sh \quad (3.53)$$

Подставляя равенство (3.53) в (3.52), получим для активной пористости выражение:

$$n = N\pi r_{\kappa}^2 \quad (3.54)$$

С учётом (3.54) формула (3.51) для расхода жидкости из силосуемой массы в мягком контейнере принимает вид

$$Q = \frac{n \cdot S \cdot r_{\kappa}^2 F}{2\mu} U\left(\frac{r_0}{r_{\kappa}}\right) \quad (3.55)$$

В насыщенной пористой среде все поры полностью заполнены жидкостью, поэтому в них $r_0 = 0$, а как следует из (3.49) $U(0) = 1$, т.к. $\lim_{r_0 \rightarrow 0} r_0^2 \ln r_0 = 0$.

С другой стороны расход воды в насыщенной среде по закону Дарси [4]

$$Q = \frac{SF}{\rho g} k, \quad (3.56)$$

где k – коэффициент фильтрации насыщенной среды. Сравнивая выражения (3.55) и (3.56), приходим к равенству

$$\frac{n \cdot r_{\kappa}^2}{2\mu} = \frac{k}{\rho g}. \quad (3.57)$$

Подставив (3.57) в (3.55), получаем формулу для расхода жидкости через поперечное сечение мягкого контейнера

$$Q = \frac{SF}{\rho g} k U\left(\frac{r_0}{r_{\kappa}}\right) \quad (3.58)$$

В выражении (3.58) величину $k U\left(\frac{r_0}{r_{\kappa}}\right)$ можно рассматривать, как переменный коэффициент фильтрации зависящий от влажности силосуемой массы.

Установим зависимость функции $U\left(\frac{r_0}{r_{\kappa}}\right)$ от объема жидкости в силосуемой массе. Для этого выразим объем жидкости через размеры активной поровой трубы:

$$V_{\text{B}}(t) = \pi(r_{\kappa}^2 - r_0^2(t))hNS \text{ или } V_{\text{B}}(t) = \pi r_{\kappa}^2 N \left(1 - \frac{r_0^2(t)}{r_{\kappa}^2}\right) V \quad (3.59)$$

Воспользовавшись равенством (3.54), придем к выражению

$$V_{\text{B}}(t) = nV \left(1 - \frac{r_0^2(t)}{r_{\kappa}^2}\right) \quad (3.60)$$

Из (3.60) находим

$$\frac{r_0^2}{r_k^2} = 1 - \frac{V_b(t)}{nV} = 1 - u(t) \quad (3.61)$$

где $u(t) = \frac{V_b(t)}{nV}$ – содержание жидкости по отношению к объему активных пор;

$V_p = nV$ – объем активных пор в силосуемой массе.

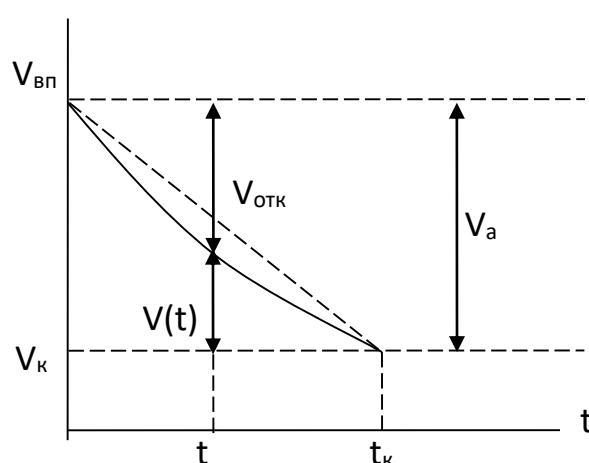
Подставив (3.61) в (3.50) получим зависимость $U\left(\frac{r_0}{r_k}\right)$ от объема жидкости в силосуемой массе

$$U(u(t)) = \frac{1}{4} \left[u^2 - \left(1 + \frac{q_0}{F}\right) (1-u) \left(\ln \sqrt{1-u} (1-u) + \frac{1}{2}u \right) \right] \quad (3.62)$$

Объем откаченной жидкости из мягкого контейнера за время t

$$V_{отк}(t) = \int_0^t Q(t) dt = \frac{kSF}{\rho g} \int_0^t U(u(t)) dt \quad (3.63)$$

Чтобы вычислить интеграл в (3.62) необходимо иметь аналитическую зависимость текущего объема жидкости в силосуемой массе от времени откачивания. Графически процесс откачивания можно представить в виде графика, показанного на рисунке 3.9.



V_{bp} – объем жидкости до откачивания; V_k – объем жидкости оставшейся в силосуемой массе; $V(t)$ – текущий объем жидкости в силосуемой массе сверх оставшегося; $V_{отк}(t)$ – откаченный объем жидкости из силосуемой массы в момент времени t ; V_a – активный объем жидкости – объем жидкости поддающийся откачиванию

Рисунок 3.9 - График зависимости текущего объема жидкости в силосуемой массе от времени её откачивания

Кривую зависимость $V(t)$ можно аппроксимировать различными функциями, например, линейной функцией по времени (в нулевом приближении) (рисунок 3.10 – штриховая линия)

$$V(t) = V_a \left(1 - \frac{t}{t_k}\right) + V_k, \quad (3.64)$$

где $V_a = V_{\text{вп}} - V_{\text{к}}$.

Рассмотрим случай линейной аппроксимации (3.64). Переайдём от интегрирования по t к интегрированию по $u(t)$. Выразим из (3.64) t через объём $t = \frac{V_{\text{вп}} - V(t)}{V_a} \cdot t_k$, тогда дифференциал $dt = -\frac{t_k}{V_a} dV(t)$. Из (3.64) находим

$$V(0) = V_{\text{вп}}, \text{ при } t=t \quad V(t) = V_{\text{вп}} - V_a \frac{t}{t_k}, \text{ а интеграл}$$

$$\int_0^t U(t) dt = -\frac{t_k}{V_a} \int_{V_{\text{вп}}}^{V(t)} U(V) dV. \quad (3.65)$$

От интегрирования по V переайдём к интегрированию по $u(t) = \frac{V(t)}{V_{\text{вп}}}:$ $dV = V_{\text{вп}} du, u(t) = \frac{1}{V_{\text{вп}}} \left(V_{\text{вп}} - V_a \frac{t}{t_k} \right) = G - G1 \cdot \frac{t}{t_k}$, где $G = \frac{V_{\text{вп}}}{V_{\text{вп}}}, G1 = \frac{V_a}{V_{\text{вп}}}$.

В итоге, согласно (3.65) имеем:

$$\int_0^t U(t) dt = -\frac{t_k}{G1} \int_G^{u(t)} U(u) du \quad (3.66)$$

Выражение (3.63) для откаченного объёма за время t принимает вид:

$$V_{\text{отк}}(t) = -\frac{t_k}{G1} \cdot \frac{kSF}{\rho g} \int_G^{u(t)} U(u) du \quad (3.67)$$

Интеграл в (3.67) от функции $U(u)$ в виде (3.62) можно вычислить, в результате чего придем к выражению

$$\begin{aligned} \int_G^u U(u) du &= \frac{1}{18} (u^3 - G^3) - \frac{1}{12} \left(1 + \frac{q_0}{F} \right) \left[(1-u)^3 \ln \sqrt{1-u} - (1-G)^3 \ln \sqrt{1-G} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{24} [(1-u)^3 - (1-G)^3] \right] + \frac{1}{16} (u^2 - G^2) \end{aligned} \quad (3.68)$$

Интеграл в (3.67) можно вычислить в вычислительном комплексе MathCad.

Опыт проводился при параметрах: объемный вес воды $\gamma v=10$ кН/м³, атмосферное давление $P_0=101,385$ кПа, плотность воздуха $\rho_0=1,225$ кг/м³, давление в коллекторе $P_v=40,3$ кПа, коэффициент пористости силосуемой массы $n=0,55$, коэффициент фильтрации $k = 1,346707 \cdot 10^{-4}$ м/с, объём воды в силое $V_{\text{вп}}=19 \cdot 10^{-3}$ м³, объём откаченной воды $V_{\text{отк}} = 4,3 \cdot 10^{-3}$ м³, время откачивания $t_k = 10$ мин, скорость воздуха на выходе в коллекторе $v_k = 1,2$ м/с (Приложение Е).

Расчет с этими данными проводился по формулам (3.67), (3.68). В результате построен график зависимости $V_{\text{отк}}(t)$ в комплексе MathCad.

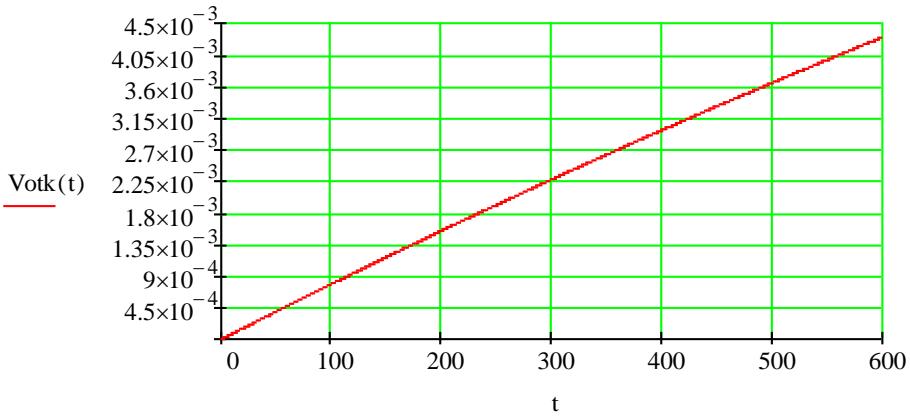


Рисунок 3.10 – График зависимости объема откаченной воды от времени откачивания

Теоретический объем откаченной воды составил $4,61 \cdot 10^{-3}$ м³ за время t_k .

Сравнивая полученный результат с опытным значением, приходим к выводу, что данная математическая модель хорошо согласуется с результатами опыта.

Пусть нам требуется откачать жидкость до определенного значения V_k – объем определяемый оптимальной влажностью (3.4, 3.5). Тогда, зная начальный объем жидкости $V_{вп}$ в силосуемой массе, из равенства

$$V_{вп} - V_k = V_{отк}(t_k) \quad (3.69)$$

Из равенства (3.67) можно определить время откачивания жидкости

$$t_k = \frac{(V_{вп} - V_k) \cdot G \cdot \gamma_b}{k \cdot S \cdot F \cdot I(t_k)}, \quad (3.70)$$

$$\text{где } I(t_k) = \frac{1}{18} ((G - G1)^3 - G^3) - \frac{1}{12} \left(1 + \frac{q_0}{F}\right) \left[(1 - (G - G1)^3) \ln \sqrt{1 - G + G1} - (1 - G)^3 \ln \sqrt{1 - G} - \frac{1}{24} [(1 - G + G1)^3 - (1 - G)^3] \right] + \frac{1}{16} [(G - G1)^2 - G^2] \quad (3.71)$$

Полученная математическая модель процесса откачивания жидкости из силосуемой массы позволяет выполнить обоснование оптимальных размеров мягкого контейнера [88].

При обосновании размеров мягкого контейнера будем считать, что начальное и конечное количество жидкости в силосуемой массе пропорционально объему контейнера, физические свойства силосуемой массы одинаковы независимо от объема контейнера.

Если $W_{\text{опт}}$ оптимальная влажность силосуемой массы, то из выражения (3.5) можно определить количество жидкости соответствующее этой влажности в силосуемой массе:

$$V_k = V_{\text{вп}} \frac{W_{\text{опт}} \cdot \gamma_{\text{опт}}}{\gamma_b (1 + W_{\text{опт}})}, \quad (3.72)$$

где $\gamma_{\text{опт}}$ – объемная масса силосуемого материала с оптимальной влажностью, кг/м³.

При известных $V_{\text{вп}}$ и V_k по формуле (3.69) найдем время откачивания жидкости от объема $V_{\text{вп}}$ до объема V_k .

При увеличении объема контейнера, из которого откачивается воздух, увеличивается время для создания предельного вакуума, являющегося характеристикой вакуумного насоса. Чтобы обеспечить откачуку жидкости при определенном перепаде давления надо перекрывать верхнюю горловину контейнера, до тех пор, пока вакуум достигнет расчетного значения. Тогда при обосновании параметров контейнера можно использовать один и тот же перепад давления при различных размерах поперечного сечения мягкого контейнера.

Имеющиеся опытные данные относятся к контейнеру, высота которого равна 0,8 м и площадь квадратного поперечного сечения $S = 0,5 \times 0,5 \text{ м}^2$.

Рассмотрим контейнеры одинаковой высоты $h = 1 \text{ м}$ с разными площадями поперечного сечения.

Для контейнера с площадью основания $S = 1 \times 1 \text{ м}^2$ начальный объем воды равен:

$$V_{\text{вп}} = \frac{S \cdot 19 \cdot 10^{-3}}{0.5 \cdot 0.5 \cdot 0.8} = \frac{1 \cdot 19 \cdot 10^{-3}}{0.25 \cdot 0.8} = 95 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Конечный объем воды:

$$V_k = \frac{14,7 \cdot 10^{-3}}{0,25 \cdot 0.8} = 73.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

При одинаковых параметрах силосуемой массы, по формуле (3.70) находим время откачивания $t_k=600$ сек.

Объем откаченной жидкости увеличивается пропорционально площади поперечного сечения контейнера. Однако, если пропорционально увеличить производительность насоса, то при разной площади поперечного сечения

контейнеров и одинаковой их высоте время откачивания при осушении переувлажненной силосуемой массы будет практически равной.

3.5 Определение времени вакуумирования мягкого контейнера при приготовлении силоса

Предлагаемый способ приготовления и хранения силосованного корма включает заготовку зеленой массы растений с их измельчением, загрузку в контейнеры, осушение, герметизацию и вакуумирование с последующей доставкой к местам хранения и скармливания. Силосуемое сырье представляет собой измельченная растительная масса кукурузы с початками молочно-восковой или восковой спелости зерна. Осушение силосной массы воздушным потоком в контейнере, если в этом есть необходимость (наличие свободной влаги), производится до его герметизации путем прокачивания через нее воздуха с попутным отводом сока и дождевой воды. В качестве вакуумной системы целесообразно использовать агрегат доильный типа АИД-1 [23, 75], к которому в котором есть все необходимые элементы, в том числе вакуумный насос, регулятор вакуума и емкость для сбора жидкости в виде доильного ведра. При этом удаляется свободная влага перед герметизацией контейнера, что исключает интенсивность развития гнилостных бактерий с получением качественного силоса. После воздушного осушения силосуемой массы от свободной жидкости проводится герметизация полиэтиленового вкладыша мягкого контейнера. Она производится вручную, при помощи обвязывания шнуром. Проще это выполнять следующим образом горловина полиэтиленового вкладыша расправляется и закручивается. Затем в основании получившейся скрутки вкладыш перевязывается шнуром. Для большей надежности оставшийся сверху завязки конец вкладыша перегибается и повторно обвязывается шнуром. Завязанная горловина вкладыша фиксируется под наружной прочной оболочкой Биг-бега [89].

Для выявления режимов процесса приготовления силоса в деформирующих контейнерах направлены теоретические исследования, приведенные ниже.

После герметизации мягкого контейнера силосуемую массу уплотняют, для чего к его клапану, расположенному у дна, подключают вакуумную систему и включается вакуумный насос. Который обеспечивает откачку из силосуемой массы воздуха и создание разрежения с остаточным давлением p_o . Снаружи на мягкий контейнер действует атмосферное давление p_a . В результате создаваемого рабочего вакуума ($p_h = p_a - p_o$) внутри контейнера он подвергается всестороннему сжатию. Ввиду того, что на дне вкладыша контейнера расположен сборный коллектор, а над ним перфорированная перегородка, несмотря на объёмное уплотнение, контейнер в большей степени будет уменьшаться в вертикальном направлении, оставляя форму своего основания неизменной [87]. Происходит усадка мягкого контейнера за счет удаления воздуха и сближения частиц резки силосуемой массы, которая удерживается от воздействия вакуума в уплотнённом, сжатом состоянии. Определим время откачки вакуумной установкой воздуха для обеспечения вакуумирования мягкого контейнера при подготовлении в нём силоса с конечной плотностью ρ_c . За это время с помощью вакуумного насоса (рис. 3.11) с отсасывающей способностью Q_1 в контейнере объемом V давление понижается от начального p_a до конечного p_o . Рассмотрим в какой-то промежуточный момент времени t , когда текущее давление в контейнере p будет ниже p_a , но не достигло значения p_o . Примем в качестве пространственного контура саму внешнюю оболочку контейнера и запишем баланс газа по объему для элементарного времени dt . Приход в контур газа будет нулевым, так как контейнер загерметизирован, уход соответственно $Q_1 dt$, остаток примет dV . В целом баланс газа составит:

$$0 - Q_1 dt = dV \quad (3.73)$$

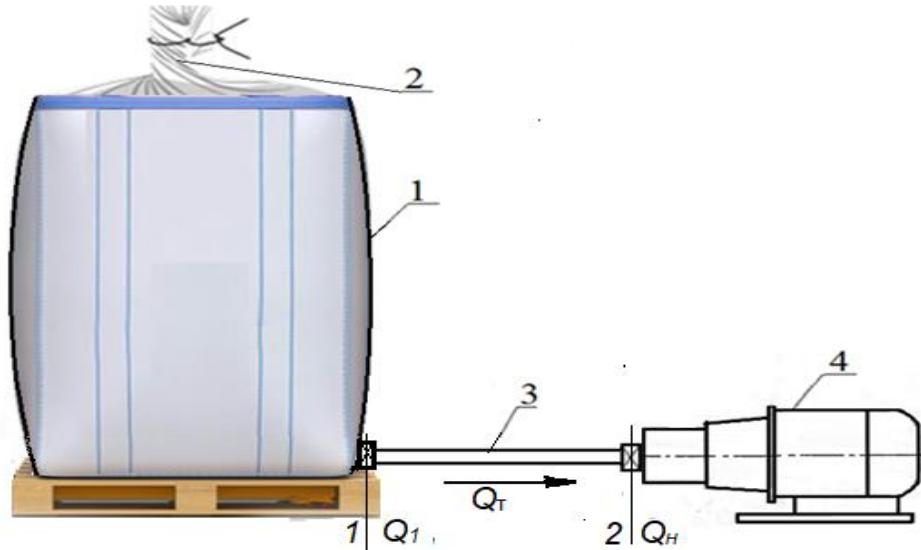
или

$$dt = -\frac{dV}{Q_1}$$

Проинтегрируем время в пределах от 0 до t_0 и соответственно объем от V_0 до V_k , при этом, чтобы избавиться от знака минус, поменяем местами пределы интегрирования, получаем:

$$t_0 = \frac{V_0 - V_k}{Q_1} \quad (3.74)$$

где: V_0 , V_k – соответственно начальный и конечный (после сжатия) объём контейнера, м^3 .



1 – контейнер; 2 – горловина; 3 – вакуумпровод; 4 – вакуумный насос.

Рисунок 3.11 – Схема к расчету вакуумирования контейнера

Учитывая, что при откачивании воздуха из контейнера он деформируется и своей оболочкой сжимает силосуемую массу, используя формулу $V = \frac{m}{\rho}$ произведем замену объема, имеем:

$$t_0 = \frac{m}{Q_1} \left(\frac{\rho_c - \rho_0}{\rho_c \rho_0} \right) \quad (3.75)$$

где m – масса силосуемого корма, кг; ρ_0, ρ_c – соответственно плотность силосуемой массы начальная и конечная (после уплотнения), $\text{кг}/\text{м}^3$.

С учетом того, что масса корма в контейнере не будет изменяться, можно записать $m = V_0 \rho_0$, а первоначальный объем контейнера $V_0 = Sh_0$, тогда:

$$t_0 = \frac{Sh_0 \rho_0}{Q_1} \left(\frac{\rho_c - \rho_0}{\rho_c \rho_0} \right) \quad (3.76)$$

где S, h_0 – соответственно начальная площадь (м^2) дна и высота (м) контейнера.

Плотность силосуемой массы изменяется за счет её объемного сжатия деформируемой оболочкой контейнера. В качестве силового фактора при вакуумировании силосуемой массы в мягком контейнере, как было сказано, выступает перепад давлений, т.е. вакуум. Снаружи контейнера атмосферное давление, внутри его остаточное. Поэтому сжатие контейнера с кормом можно оценить степенью уплотнения ε , который имеет вид:

$$\varepsilon = \frac{V_0}{V_k} = \frac{\rho_c}{\rho_0} \quad (3.77)$$

С другой стороны, сжатие происходит по причине создания разряжения в контейнере путем откачивания из него воздуха, который затем в насосе сжимается и выбрасывается в атмосферу.

Воспользуемся известными зависимостями, которые имеют вид [24]:

$$\frac{p_a}{\rho_h^{m_1}} = \frac{p_0}{\rho_k^{m_1}} \rightarrow \frac{\rho_h}{\rho_k} = \left(\frac{p_a}{p_0} \right)^{\frac{1}{m_1}} \quad (3.78)$$

где ρ_h, ρ_k – соответственно плотность воздуха в контейнере начальная и конечная, кг/м³.

Показатель степенной функции m_1 при изотермическом процессе будет $m_1=1$. По завершению откачки воздуха из контейнера давление в нём станет p_{01} , а снаружи на оболочку контейнера действует атмосферное давление p_a . При этом заметим, что по мере откачки воздуха происходит сжатие контейнера, поэтому зависимость между давлением и плотностью силосуемой массы будет выглядеть аналогично. Исходя из этого можно записать:

$$\varepsilon = \frac{V_0}{V_k} = \frac{\rho_c}{\rho_0} = \left(\frac{p_a}{p_0} \right)^{\frac{1}{m}}, \text{ если } m = 1 \rightarrow \varepsilon = \frac{V_0}{V_k} = \frac{\rho_c}{\rho_0} = \frac{p_a}{p_{01}} \quad (3.79)$$

Здесь перед безразмерной величиной $\frac{p_a}{p_{01}}$, характеризующей перепад давлений, действующих на контейнер с кормом, целесообразно, установить поправочный эмпирический коэффициент k . Введение данного коэффициента необходимо для получения более точных результатов, поскольку помимо силы, создаваемой перепадом давлений, на контейнер воздействуют и другие силы: сопротивление, реакция сжимаемого корма и прочие факторы, которые не учитываются в расчетах.

С учетом выражения (3.79) формула (3.76) будет:

$$t_0 = \frac{Sh_0 \rho_0}{Q_1 \rho_c} \left(\frac{\rho_c - \rho_0}{\rho_0} \right) = \frac{Sh_0 \rho_0}{Q_1 \rho_c} \left(\frac{p_a}{p_{01}} - 1 \right) \quad (3.80)$$

В результате получена теоретическая зависимость позволяющая определить продолжительность откачивания воздуха (вакуумирования) из мягкого контейнера до достижения плотности (ρ_c) зеленой массы кукурузы при ее силосовании.

Продолжительность откачивания воздуха вакуумной установкой зависит от безразмерного силового фактора ($\frac{P_a}{P_{01}}$), плотностей исходной (ρ_0) и уплотненной (ρ_c) зеленой массы, габаритных размеров мягкого контейнера (Sh_0) и производительности насоса по откачиваемому воздуху. Соответственно с повышением безразмерного силового фактора увеличивается конечная плотность силосуемой массы и время вакуумирования. Формула (3.80) является оценочной, так как получена исходя из того, что вакуумный насос непосредственно подключен к клапану контейнера. Здесь нами не учитывается трубопровод между насосом и контейнером. Трубопровод характеризуется сопротивлением (проводимостью) при проходе воздуха, поэтому данный фактор должен быть обязательно учтен в расчетах.

Немного по-другому будет выглядеть процесс если рассмотреть с позиции баланса массы воздуха при его откачивании из контейнера. Аналогично примем в качестве пространственного контура наружную непроницаемую оболочку контейнера и запишем баланс газа по массе для элементарного времени dt . При этом при откачивании воздуха из контейнера будут изменяться как плотность воздуха в контейнере, так и сам объем контейнера, так как он выполнен из полиэтилена легко деформируется за счет перепада давлений атмосферного снаружи и вакуумметрического внутри. Объем контейнера при откачивании воздуха из него будет изменяться от V_0 до V_κ . Для простоты в первом приближении для определения времени откачивания воздуха можно принять при этом объем будет равен среднеарифметическому $V_c = 0,5(V_0+V_\kappa) = \text{const}$. Приход в контур газа $\text{Пр}=0$, уход $\rho Q_1 dt$ и накопление $\text{Нак}=d(V\rho)=V_c d\rho$.

В целом будет

$$0 - \rho Q_1 dt = V d\rho \quad (3.81)$$

Или разделяя переменные

$$dt = -\frac{V_c}{Q_1} \frac{d\rho}{\rho}$$

Проинтегрируем в пределах от 0 до t_0 и соответственно объём от V_0 до V_k , при этом поменяем местами пределы интегрирования, чтобы избавиться от знака минус, имеем

$$t_0 = \frac{V_c}{Q_1} \ln \frac{\rho_0}{\rho_k} \quad (3.82)$$

где ρ_0, ρ_k – соответственно начальная и конечная плотность воздуха, кг/м³.

Перейдем от плотности к действующему давлению, воспользуемся уравнением политропного сжатия воздуха, из формулы (3.78) имеем

$$\frac{p_a}{\rho_0^m} = \frac{p_0}{\rho_k^m} \text{ или } \frac{\rho_0}{\rho_k} = \left(\frac{p_a}{p_0} \right)^{\frac{1}{m_1}}$$

С учетом последнего уравнения, выражение (3.82) примет вид:

$$\begin{aligned} t_0 &= \frac{V_c}{Q_1} \ln \left(\frac{p_a}{p_0} \right)^{\frac{1}{m_1}} \\ \text{или} \quad t_0 &= \frac{V_c}{m_1 Q_1} \ln \left(\frac{p_a}{p_0} \right) \end{aligned} \quad (3.83)$$

При откачивании воздуха из контейнера насосом воздух будет сжиматься с повышением температуры (T) непосредственно в насосе, а на участке контейнер–насос воздух будет разреженным состоянием, можно считать изотермическое течение воздуха, тогда показатель $m_1 = 1$. Ввиду того, что деформируется контейнер за счет откачивания воздуха с силосуемой массой, то на основании формулы (3.79) имеем $V_k = \frac{V_0 \rho_0}{\rho_c}$. Тогда:

$$\begin{aligned} t_0 &= \frac{V_0 (\rho_c + \rho_0)}{2 Q_1 \rho_c} \ln \left(\frac{p_a}{p_0} \right) \\ \text{или} \quad t_0 &= \frac{S h_0 (\rho_c + \rho_0)}{2 Q_1 \rho_c} \ln \left(\frac{p_a}{p_0} \right) \end{aligned} \quad (3.84)$$

Выше приведены две формулы для приближенной оценки продолжительности вакуумирования мягкого контейнера с силосуемой массой после его герметизации. Для сравнения их приведем ниже графическую интерпретацию обеих зависимостей.

Обоснование параметров вакуумной системы для вакуумирования мягкого контейнера

Как уже говорилось, что при определении времени откачки воздуха не учитывался шланг, соединяющий контейнер с насосом. Выделим на расстоянии x от входа в трубопровод, соединяющем контейнер с насосом, элементарный участок dx (рисунок 3.12). В этой зоне трубы воздух имеет текущие значения давления, плотности и скорости при движении [86].

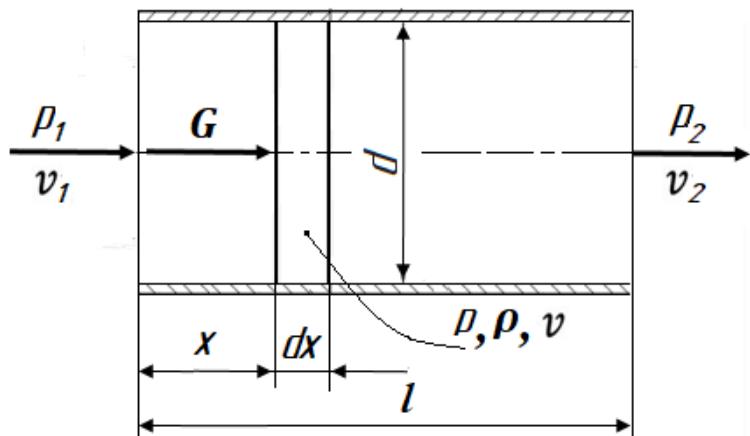


Рисунок 3.12 – Схема к расчету потерь давления воздуха

Запишем уравнение Бернулли в дифференциальной форме для выделенного участка dx :

$$dh + \frac{dp}{\rho g} + \frac{d\vartheta^2}{2g} + dh_{\pi} = 0 \quad (3.85)$$

где p – действующее статическое давление, Па; ρ – плотность воздуха, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; h – геометрическая высота потока воздуха в сечении над условной плоскостью сравнения, м; ϑ – скорость потока воздуха, м/с; dh_{π} – потери напора воздуха на трение, м.

Анализ представленного уравнения показывает, что его можно упростить. Так, слагаемым dh из-за малого значения плотности воздуха, дающим незначительный гидростатический напор газового столба, можно пренебречь. Из-за неизменной величины диаметра трубы рассматриваемого участка, по которому движется воздух, величина скоростного напора $\frac{d\vartheta^2}{2g}$ будет малой, что позволяет ею пренебречь.

Потери напора при движении воздуха в трубопроводе можно оценить с помощью формулы Дарси-Вейсбаху [42]. Тогда, учитывая выше сказанное, выражение (3.85) примет следующий вид:

$$\frac{dp}{\rho g} + dh_{\Pi} = 0 \text{ и } -dp = \rho g dh_{\Pi} = \lambda \frac{dx}{d} \frac{\vartheta^2}{2} \rho \quad (3.86)$$

где λ – безразмерный коэффициент сопротивления движению воздуха.

Заменив скорость потока ϑ через его массовый расход G по формуле $\vartheta = \frac{4G}{\rho \pi d^2}$, получим:

$$-dp = \lambda \frac{dx}{d} \left(\frac{4G}{\rho \pi d^2} \right)^2 \frac{\rho}{2} = \lambda \frac{8G^2}{\rho \pi^2 d^5} dx \quad (3.87)$$

Если принять, что в небольшом интервале давлений $(p_1 - p_2)$ воздух ведет себя как идеальный, тогда выполняются условия: $p\nu = \frac{p}{\rho} = RT$ (здесь индивидуальная газовая постоянная воздуха $R = 287 \text{Дж/кг}\cdot\text{К}$, T – абсолютная температура, $^0\text{К}$). С учетом сказанного, плотность воздуха будет $\rho = \frac{p}{RT}$ и после подстановки значения плотности в формулу (3.85), получим:

$$-\frac{p}{RT} dp = \lambda \frac{8G^2}{\pi^2 d^5} dx \quad (3.88)$$

Значение коэффициента сопротивления λ будем считать постоянным в указанном диапазоне трубопровода. Интегрируя длину участка от начального $x=0$ до конечного $x=l$, и действующее давление от p_1 до p_2 , при этом пределы интегрирования давления меняем местами для смены знака, имеем:

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda 16G^2 R T l}{\pi^2 d^5} \quad (3.89)$$

Формула (3.89) показывает закономерность падения давления при движении воздуха по трубопроводу при его откачивании из контейнера.

Заменим обратно массовый расход воздуха на объёмный и газовую постоянную через действующее давление по формулам $G = \rho_s \frac{\pi d^2}{4}$, $\vartheta = \rho_s Q_T$, $RT = \frac{p_s}{\rho_s}$, получаем:

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \rho_s \vartheta^2 p_s l}{d} \quad (3.90)$$

где ρ_s, p_s – соответственно среднее значение плотности ($\text{кг}/\text{м}^3$) и давления (Па) воздуха на рассматриваемом участке трубопровода.

Коэффициент сопротивления зависит от геометрических размеров, формы поперечного сечения трубопровода и числа Рейнольдса Re , т.е. $\lambda = f(Re)$. Как известно число Re , характеризующая отношение инерционных сил к силам вязкого трения в газах [67], определяется как:

$$Re = \frac{d\rho v}{\eta} \quad (3.91)$$

где η – коэффициент динамической вязкости, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

По значению числа Рейнольдса определяют тип движения воздуха в трубе: ламинарный или турбулентный. На основании предварительных расчетов было установлено, что течение воздуха в трубе диаметром 0,02 метра, в нашем случае является турбулентным ($Re = 13777 > 2300$).

Для нахождения коэффициента сопротивления λ часто применяют формулу $\lambda = \frac{C}{Re^m}$, здесь C и m – постоянные. Ввиду того, что будет использована для соединения контейнера с вакуумной установкой резиновый шланг, который характеризуется гладкой внутренней поверхностью, то воспользуемся формулой Блаузиса ($Re=10^4-10^5$) для нахождения коэффициента сопротивления, имеем:

$$\lambda = \frac{0,316}{13777^{0,25}} = 0,029$$

Перепад давления $\Delta p = (p_1 - p_2)$ при установившемся движении воздуха за счет вакуума или его падение по длине трубы зависит как от материала трубы, её шероховатости, диаметра, длины, местных сопротивлений и других факторов [11, 60]. Так, если рассматривать движение воздуха в вакуумпроводах доильных установках, то потери вакуума, равные перепаду вакуумметрического давления ΔP между вакуумным регулятором и любой точкой в вакуум-проводе, не должны превышать 2,5 кПа [23].

Ввиду того, что давление p_2 , будет непосредственно в сечение перед входом в вакуумный насос, то его можно принять равным остаточному давлению в системе $p_2 = p_0$.

По выражению (3.89) можно определять перепад действующего давления или находить давление p_1 , если известно p_2 и наоборот. А также определять необходимый диаметр трубопровода для обеспечения требуемой пропускной способности, учитывая, что среднее давление в трубопроводе $p_s = 0,5(p_1 + p_0)$ из формулы (3.89) получим:

$$p_1^2 - p_0^2 = \frac{\lambda \rho_{cp} \vartheta^2 p_s l}{d}, \text{ или } (p_1 - p_0)(p_1 + p_0) = \frac{\lambda \rho_{cp} \vartheta^2 (p_1 + p_0) l}{2d}, \text{ откуда}$$

$$d = \frac{\lambda \rho \vartheta^2 l}{2(p_1 - p_0)} \text{ или } d = \sqrt[5]{\frac{8 \lambda \rho_s l Q_t^2}{\pi^2 (p_1 - p_0)}} \quad (3.92)$$

По представленному выражению (3.92) следует определять диаметр трубопровода (шланга) для откачивания воздуха из мягкого контейнера для обеспечения требуемой производительности. При этом диаметр трубы коллектора в контейнере следует выполнять равным трубопроводу, чтобы поток двигался с одной скоростью.

Решая совместно выражения (3.80) и (3.92), учитывая при этом, что давление и расход воздуха на выходе из контейнера (сечение 1 на рис. 3.11) равны аналогичным показателям на входе в трубопровод, т.е. $p_{01} = p_1$ и $Q_1 = Q_t$, а на выходе из него показатели соответственно равны на входе в вакуумный насос $p_2 = p_0$ и $Q_t = Q_h$ (сечение 2). Получаем выражение для определения времени вакуумирования контейнера при уплотнении в нём зеленой массы кукурузы:

$$t_0 = \frac{Sh_0 \rho_0}{Q_h \rho_c} \left(\frac{(p_a - p_0) \pi^2 d^5 - 8 \lambda \rho_s Q_h^2 l}{p_0 \pi^2 d^5 + 8 \lambda \rho_s Q_h^2 l} \right) \quad (3.93)$$

Данное выражение позволяет определить необходимое время вакуумирования контейнера с определенными геометрическими размерами для достижения требуемой плотности при действующем вакууме на силосуемую растительную массу с известной начальной плотностью. Также формулу (3.93) можно использовать для нахождения требуемой производительности вакуумной установки при принятом времени вакуумирования.

По конструктивным соображениям длина трубопровода (шланга) для соединения контейнера с вакуумной системой достаточна в пределах 2...2,5 м. Следует заметить, что местные потери давления будут наблюдаться при входе в

насос. Учитывая, что воздух при откачивании из трубопровода и контейнера попадая в вакуумный насос в нём сжимается, а затем выбрасывается в атмосферу. То очевидно будут некоторые его перетечки и снижения объёмного расхода по сравнению с расходом в трубе. Поэтому расход Q_h должен превышать необходимый расход Q_1 .

В теории вакуумной техники принимают, что поток газа с определенным давлением (Qp) постоянен в любом сечении вакуумной системы [67].

$$Qp = Q_1 p_1 = Q_h p_2 = const$$

где Q_1, Q_h – объем газа поступающего в единицу времени из камеры контейнера в трубопровод и во входное сечение насоса, соответственно; p_1, p_2 – давление газа в соответствующих сечениях, Па.

При этом эффективность работы вакуумного насоса оценивают коэффициентом использования насоса, который имеет вид [67]:

$$K_h = \frac{Q_1}{Q_h} \quad (3.94)$$

Коэффициент использования насоса отражает повышение скорости откачки газа в системе. При непосредственном подсоединении насоса к контейнеру, т.е. трубопровод отсутствует будет $Q_1 = Q_h$ и $K_h = 1$. При наличии трубопровода в данном случае коэффициент использования насоса будет меньше единицы.

Выразим перепад давления в вакуумной системе через коэффициент использования насоса:

$$p_1 = \frac{Q}{Q_1} \text{ и } p_2 = \frac{Q}{Q_h}, \text{ тогда } \Delta P = p_1 - p_2 = Q \left(\frac{1}{Q_1} - \frac{1}{Q_h} \right) = \frac{Q}{Q_h} \left(\frac{1}{k_h} - 1 \right) = p_2 \left(\frac{1-k_h}{k_h} \right)$$

$$p_1 - p_2 = p_2 \left(\frac{1-k_h}{k_h} \right) \quad (3.95)$$

Если принять, давление p_2 равно остаточному давлению p_0 в системе, то при среднем рабочем вакууме 50 кПа при откачивании воздуха из контейнера и при нормативном значении потери вакуума 2,5 кПа, теоретический коэффициент использования насоса будет 0,95. Реально же его значение ниже, в формуле (3.95) не учитываются потери в самом насосе и на сжатие воздуха в нем перед выбросом наружу. Поэтому необходим запас производительности насоса по откачиваемому

воздуху по сравнению с необходимым расходом воздуха, поступающего из контейнера.

Следует заметить, что рекомендуемая скорость движения воздуха в вакуумпроводе составлять до 15 м/с [42].

Обоснование объёма мягкого контейнера для приготовления силоса.

При реализации предложенного способа приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных контейнерах важным параметром является объём самого контейнера. При выборе размеров контейнера следует учитывать несколько факторов. Такие как удобство заполнения силосуемым сырьем контейнера с последующим вакуумированием, погрузка и транспортировка их. Размещение в хранилищах для осуществления процесса молочнокислого брожения и использование силоса при его скармливании животным. В виду того, что контейнеры не требуют специальных хранилищ, их можно размещать в общехозяйственных ангарах. Тогда для лучшего использования площади хранилищ, контейнеры в плане должны иметь четырехугольную форму в виде квадрата или прямоугольника. В настоящее время на складских помещениях и для погрузки товаров широко используют транспортная тара в виде поддона, перемещаемый с помощью вилочного погрузчика. Такие поддоны удобны для размещения мягких контейнеров с силосом. По ГОСТ 33757—2016 «Поддоны плоские деревянные» для обращения на всех видах транспорта внутри страны, для внешнеторговых перевозок и складских операций поддоны имеют два типа размеров: 1200x800 и 1200x1000 (мм).

При выборе размеров контейнера для силоса важно учитывать его рекомендуемые нормы скармливания животным. После вскрытия вакуумированных контейнеров целесообразно использовать силос в течении двух часов, исключая его повторную ферментацию и снижение кормовой ценности.

Исходя из выше сказанного необходимый объём мягкого контейнера (V_k) для приготовления и хранения силоса можно определить по формуле:

$$V_k = \frac{qN}{k_1 \rho_0 k_2} \quad (3.96)$$

где q – суточный расход силоса на корову, кг; N – число животных в группе, гол; k_1 – кратность кормления животных; ρ_0 – насыпная плотность силосуемой массы, кг/м³; k_2 – коэффициент использования начальной высоты контейнера.

«Суточная норма силоса для одной коровы может составлять от 3 до 5 кг на каждые 100 кг живой массы и может достигать до сорока процентов от питательности рациона» [40]. Так для распространенной в России черно-пестрой породы коров с живой массой 550...650 кг потребная максимальная масса силоса будет 16,5...32,5 килограмм в сутки.

При выборе кратности кормления следует учитывать, что продолжительность хранения влажных кормосмесей — не более шести часов. Если коровы получают кормосмесь раз в сутки, к концу дня она теряет вкусовые качества, а значит, животные хуже едят ее [97]. Кратность кормления полнорационными кормовыми смесями разных технологических групп коров зависит от периода лактации. Обычно составляет 2-3 раза в сутки. Однако в последнее время наблюдаются рекомендации кормить высокопродуктивных коров так, чтобы исключить нарушения обмена веществ и заболеваний желудка, а для этого должна поддерживаться рабочая микрофлора рубца, при которой водородный показатель pH должен быть около семи. Это возможно при выдаче суточной кормовой смеси многократно малыми порциями. Как показала практика применения роботизированных систем приготовления и раздачи полнорационных смесей лактирующим коровам кратность составляет от 6 до 8 раз в сутки [70].

Насыпная плотность силосуемой массы зависит, как от длины резки, так и влажности кукурузного сырья. Объемная масса измельченных стеблей кукурузы с початками, собранных с одного и того же поля при влажности от 63 до 74 % находится в пределах от 370 до 450 кг/м³ [57]. Плотность силосуемой массы влажностью 72%, длиной резки до 10 мм составляет 401 кг/м³, а при длине от 10 до 20 мм составляет 398 кг/м³ [6].

При силосовании кукурузного сырья должны выполняться следующие требования. Силос, приготавливаемый из кукурузы, однолетних и многолетних бобовых и злаковых трав и их смесей, подсолнечника и других зеленых растений,

должен соответствовать требованиям ОСТ 10.202-97. Оптимальная влажность силоса в траншеях должна быть 70...75%. Удельная плотность силосной массы в траншее в зависимости от вида силоса - от 500 до 1000 кг/м³. Плотность силосуемого сырья зависит от силосуемых растений, степени их измельчения и влажности и должна составлять по «Нормам технологического проектирования хранилищ силоса и сенажа НТП-АПК 1.10.11.001-00» [58] для кукурузы молочно-восковой спелости – 600...700 кг/м³, а кукурузы восковой спелости с початками – 750...800 кг/м³.

Определим рациональный объём мягкого контейнера применительно для роботизированных систем приготовления и раздачи кормов на ферме. Принимаем: суточный расход силоса на корову $q=30$ кг; число животных в группе $N=60$ гол; кратность кормления животных $k_1=6$; насыпная плотность силосуемой массы $\rho_0=400$ кг/м³; коэффициент использования начальной высоты контейнера $k_2 =0,8$, тогда будет:

$$V_k = \frac{30 \cdot 60}{6 \cdot 400 \cdot 0,8} = 0,94 \approx 1,0 \text{ м}^3$$

При выборе контейнера для приготовления силоса целесообразно использовать выпускаемые промышленностью грузовые мешки типа «биг-бэги» с полиэтиленовыми вкладышами из пленки высокого давления толщиной 200 мкм [76], ближайший из которых будет с размерами 0,95 x 0,95 x 1,3 м и общим объёмом вакуумирования до 1,17 м³. Такие контейнеры максимально возможной вместимостью более 400 кг (достигается за счёт увеличения уплотнения силоса). Их наиболее рационально использовать для условий небольших фермерских хозяйств с поголовьем коров до 50 голов и на роботизированных фермах.

Проведенные нами теоретические и лабораторные исследования уплотнение силосуемой массы в мягких контейнерах под действием вакуума показали следующие результаты по изменению плотности сырья от действующего вакуума (таблица 3.1). При этом графическая зависимость плотности силосуемой массы от действующего вакуума построена по результатам эксперимента, остальные кривые по результатам теоретических исследований (рисунок 3.13).

Таблица 3.1 - Изменение плотности сырья от действующего вакуума

Вакуумметрическое давление P_h , кПа	Объём контейнера с силосуемой массой V , м ³	Плотность силосуемой массы p_c , кг/м ³	Время вакуумирования t_0 , с		Подача насоса Q_h , м ³ /с ($t_0=160$ с) [по ф-ле (3.93)]
			[по ф-ле (3.80)]	[по ф-ле (3.83)]	
0	0,25	400			
5	0,187	534,6			
10	0,170	579,2	25,7	29,1	0,000364
20	0,155	646,6	50,6	59,62	0,000727
40	0,131	763,7	113,26	127,996	0,00145
50	0,123	815,4	160,33	169,675	0,00182
60	0,116	862	225,57	219,61	0,00218

Исходное сырье измельченная кукуруза с початками в восковой спелости зерна. Влажностью сырья в пределах 70%, длина резки стеблей 10-15 мм, частицы зерна – 5 мм. Исходная объемная масса измельченной кукурузы около 390-400 кг/м³. Используя результаты таблицы, приведем графическую интерпретацию формул (3.80), (3.83) и (3.93) (рис. 3.13). При этом приняты: диаметр шланга по которому откачивается воздух из контейнера (modернизированный биг-бэг с размером 0,95 x 0,95 x 1,3 м с общим объёмом до вакуумирования 1,17 м³) равен $d=0,02$ м, начальная высота $h_0=1,0$ м (коэффициент $k_2=0,8$); исходное сырьё для силоса: кукурузы восковой спелости с початками при начальной объемной массе сырья 400 кг/м³. Для вакуумирования использовалась вакуумная система, производительность насоса $Q_h=0,003$ м³/с.

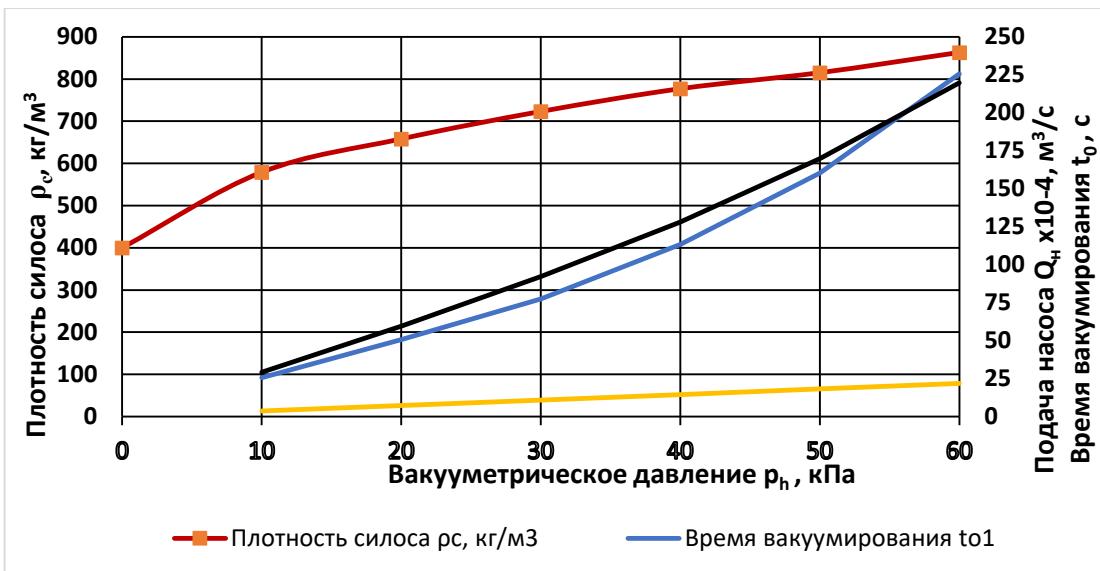
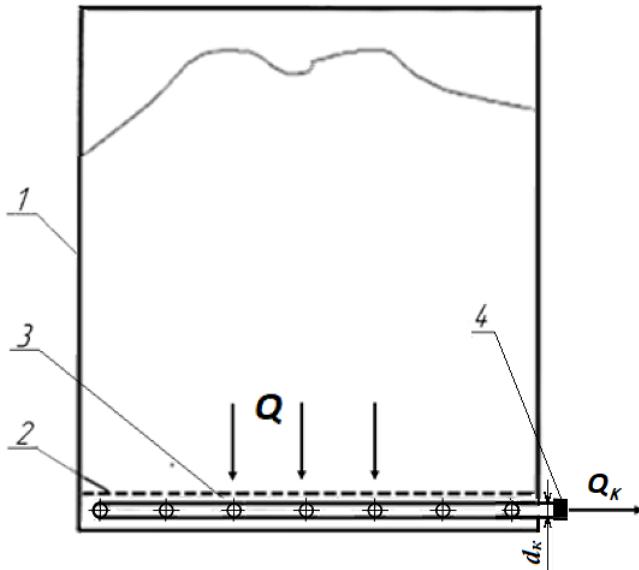


Рисунок 3.13 – Графические зависимости плотности силоса ρ_c , времени вакуумирования t_0 и производительности Q_n от вакуума p_h .

Как мы видим первоначально, что небольшое повышение вакуума вызывает значительное увеличение плотности силосуемой массы за счёт вытеснения воздуха с уменьшением пустот и более плотного расположения частиц, далее по мере откачивания воздуха измельченные частицы кукурузы оказывают определённое сопротивление сжатию их оболочкой контейнера при его деформации. Изменение плотности с 646 до 862 кг/м³ от действующего давления на рабочем диапазоне вакуума 20...60 кПа при этом будет практически линейной. Теоретические зависимости, определяющие продолжительность вакуумирования до указанной плотности силосуемой массы (ф-лы (3.80) и (3.83)) практически равнозначны максимальное расхождение результатов не превышает 12%. Плотность силосуемого сырья зависит от силосуемых растений, степени их измельчения и влажности и должна составлять для кукурузы молочно-восковой спелости 600...700 кг/м³ и кукурузы восковой спелости с початками – 750...800 кг/м³. Время вакуумирования для создания указанной плотности составляет 59...170 с.

3.6 Обоснование параметров коллектора мягкого контейнера

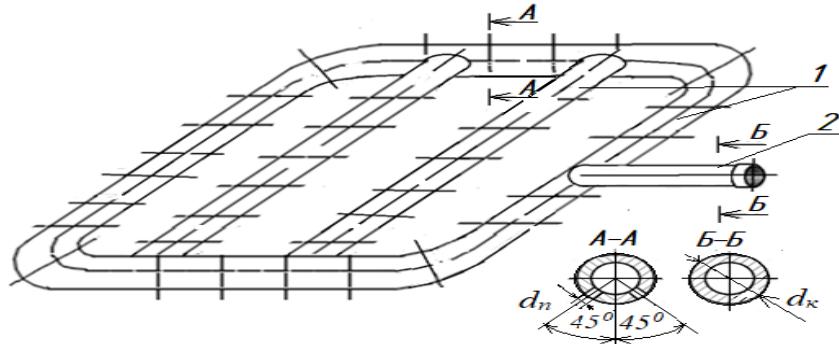
В мягком контейнере для приготовления силоса используется вставка в нижней его части для ввёртывания снаружи клапана и присоединения внутри коллектора (рис. 3.14).



1 – контейнер; 2 – перегородка; 3 – коллектор; 4 – клапан;

Рисунок 3.14 – Схема потока в контейнере для силосуемого материала

Коллектор трубчатый служит для откачивания жидкости и воздуха из зеленой массы кукурузы перед герметизацией контейнера и изготовлен из некоррозионного материала (рис. 3.15). Трубчатый коллектор с перфорированными стенками выполнен по форме дна внутренней поверхности мягкого контейнера и размещается внутри контейнера 1 на дне. Чтобы отверстия в коллекторе не забивались частицами силосуемой массы, над коллектором установлена перфорированная перегородка 2 (рис. 3.14) из некоррозионного материала, например, полипропилена. При этом решетка укладывается на всю фронтальную поверхность коллектора. Также для уменьшения попадания частиц силосуемой массы в коллектор при откачивании воздуха, отверстия в стенках труб выполнены с противоположной стороны от контактирующей с перегородкой 2 стороны приемной трубы 1 (рис. 3.15). При этом они расположены под углом 45 градусов относительно вертикальной оси с определенным шагом. Приемные трубы 1 коллектора сообщены с общей отводной трубой 2 диаметром d_k , которая присоединяется через вставку с клапаном.



1 – труба приёмная; 2 – труба отводная

Рисунок 3.15 - Общий вид коллектора

При известном численном значении времени t_k при осушении воздухом переувлажненного силосуемого сырья, размещенном в контейнере из формулы (3.70) находим среднюю объемную производительность (Q) при откачивании жидкости

$$Q = \frac{(V_{Bn} - V_k)}{t_k} = \frac{k \cdot S \cdot F \cdot I(t_k)}{G \cdot \gamma_B} \quad (3.97)$$

Диаметр труб коллектора влияет на пропускную способность откачиваемой жидкости и воздуха, также через трубчатый коллектор в контейнере создается вакуумметрическое давление, поэтому необходимо определить параметры коллектора. Расход проходящего потока через перфорации приемных труб коллектора можно определить по формуле:

$$Q = \varphi S_{\pi} n w, \quad (3.98)$$

где Q – объёмный расход жидкости и воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$; S_{π} – площадь отверстия перфорации в приемной трубе коллектора, м ; φ – коэффициент скорости движения воздуха; n – число отверстий в стенках трубы коллектора; w – скорость потока, $\text{м}/\text{с}$.

Следует заметить, что форма отверстий как в перегородке, так и в стенках труб коллектора может быть разной формы. При этом сомножитель ($\varphi S n$) будет представлять не что иное, как реальную площадь фильтрования F_{ϕ} . Тогда скорость потока через площадь фильтрации (F_{ϕ}) перегородки и соответственно через коллектор можно определить как

$$w = \frac{Q}{F_{\phi}} \quad (3.99)$$

Из условия неразрывности потока имеем равенство

$$Q = Q_k, \quad (3.100)$$

где Q_k – объемный расход в коллекторе на выходе из отводной трубы

$$Q_k = S_k \mu v_t \quad (3.101)$$

где S_k – площадь поперечного сечения трубы в зоне клапана, м^2 ; v_t – скорость движения воздушно-жидкостной смеси, $\text{м}/\text{с}$; μ – коэффициент расхода трубы. (из справочника по гидротехнике коэффициент расхода $\mu = 0,59-0,61$ – для малых отверстий, $\mu = 0,6-0,85$ – для больших отверстий) [84].

Тогда согласно формулы (3.100), решая совместно (3.97) и (3.101), получаем

$$\frac{k \cdot S \cdot F \cdot I(t_k)}{G \cdot \gamma_b} = S_k \mu v_t \quad (3.102)$$

При круглых отверстиях выходной трубы коллектора получаем выражение для определения её диаметра

$$d_k = \sqrt{\frac{4kSF \cdot I(t_k)}{\pi G \gamma_b \mu v_t}} \quad (3.103)$$

Как следует из формулы диаметр трубы отводной коллектора зависит силового фактора (F), площади поперечного сечения контейнера (S), от отношения общей и свободной жидкости в объёме силосуемой массы (G), и его изменения во времени при поступления откаченной жидкости в трубу ($I(t_k)$), физико-механических свойств силосуемой массы (k) и жидкости (μ, γ_b) и скорости потока по трубе (v_t). Подстановка численных данных входящих величин позволяет получить диаметр отводной трубы коллектора 0,012-0,022 м (рис. 3.16).

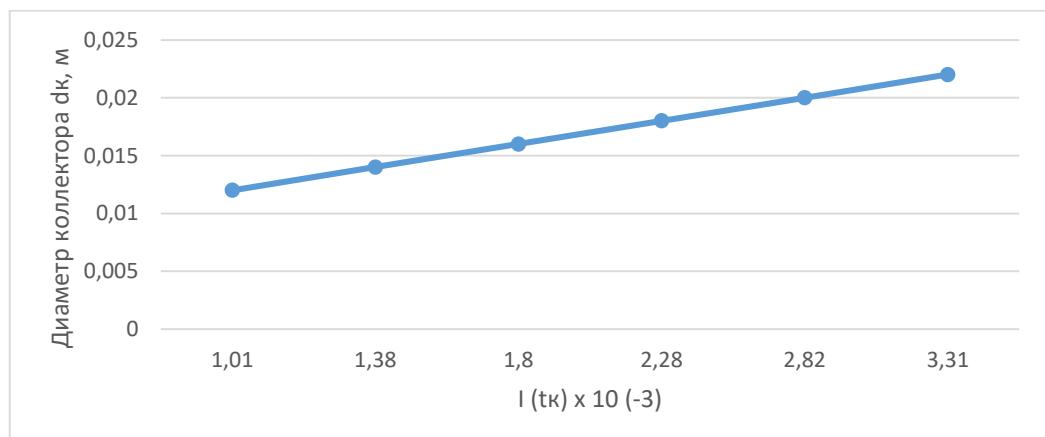


Рисунок 3.16 – Зависимость диаметра трубы коллектора от $I (t_k)$

Диаметр отводной трубы коллектора в контейнере целесообразно выполнять равным трубопроводу, соединяющем клапан контейнера с вакуумной системой,

чтобы откачиваемый поток двигался с одной скоростью, без создания дополнительных сопротивлений. Диаметр трубопровода для откачивания воздуха из мягкого контейнера для обеспечения требуемой производительности, как было указано ранее, определяется по формуле (3.92) и который составляет 0,02м.

С другой стороны, аналогично приравниваем выражения (3.98) и (3.101), получаем

$$\varphi S_{\Pi} nw = S_k \mu v_t \quad (3.104)$$

Или с учетом формулы (3.99) при круглых отверстиях перфорации и выходной трубы коллектора получаем соотношение

$$d_n^2 \frac{Q}{F_\Phi} = d_k^2 \mu v_t \quad (3.105)$$

Данное выражение может использоваться для уточнения диаметра коллектора, определенного с помощью формулы (3.103) при известном объемном расходе Q с учетом перфораций труб коллектора, через которые проходит поток воздушно-жидкостной смеси внутрь коллектора для вывода из контейнера при осушении силосуемой массы.

Выводы по третьей главе

Проведенные нами теоретические исследования позволяют сделать следующие заключения.

1. Усовершенствованный процесс приготовления силосованного корма из переувлажненного сырья в мягких контейнерах должен включать заготовку зеленой массы растений с их измельчением, загрузку в мягкие контейнеры, осушение закладываемой кормовой массы путем просасывания через нее воздуха, с попутным отводом сока и дождевой воды, причем ускорение осушки кормовой массы, осуществляют путем сужения открытой горловины контейнера, через которую загружается измельченная кормовая масса, герметизацию после контейнеров, их вакуумирование и доставку к месту хранения.

Мягкий контейнер должен выполнен со стенками из воздухонепроницаемой плёнки. В верхней части снабжен загрузочной горловиной, а у дна - трубчатым

коллектором, перекрытым сверху перфорированной перегородкой и через вставку в боковой стенке контейнера герметично соединен с клапаном, установленном снаружи для соединения с вакуумной системой.

2. Теоретически установлено, что время осушения путем откачивания жидкости с воздухом из силосуемого сырья в мягком контейнере зависит от начального объема жидкости, объема конечного, определяющего оптимальную влажность сырья, площадей контейнера и фильтрации и физико-механических свойств сырья. При достижении рекомендуемой оптимальной влажности силосуемого сырья 70-72% продолжительность осушения воздуха в контейнере не превышает 600 с.

3. Продолжительность откачивания воздуха при вакуумировании мягкого контейнера до достижения требуемой плотности зеленой массы кукурузы при ее силосовании зависит от безразмерного силового фактора, плотностей исходной и уплотненной зеленой массы, габаритных размеров мягкого контейнера и производительности насоса по откачиваемому воздуху. При рекомендуемой плотности силосуемого сырья 750...800 кг/м³ время вакуумирования для создания указанной плотности при вакууме 40-60 кПа составляет 114...170 с.

4. Теоретически получены зависимости для определения объема мягкого контейнера, диаметров трубопроводов коллектора и для подсоединения вакуумной установки к клапану мягкого контейнера. Необходимый объем мягкого контейнера для приготовления с последующим хранения силоса зависит суточный расход силоса на корову, числа животных в группе, кратность кормления животных, насыпной плотности силосуемой массы и коэффициента использования начальной высоты контейнера. Рациональный объем мягкого контейнера применительно к молочной ферме при кратности кормления шесть и насыпной плотности силосуемой массы 400 кг/м³ будет составлять 1,0 м³. При указанном объеме контейнера расчетный диаметр труб коллектора и трубопровода для соединения с вакуумной системой составляет 0,02 м, а производительность вакуумной установки 0,0015-0,0022 м³.

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СИЛОСА В МЯГКИХ КОНТЕЙНЕРАХ

Для успешной реализации технологического процесса приготовления с последующим хранением силоса в мягких контейнерах необходимо уточнение основных режимных параметров необходимых для приготовления качественного силоса из переувлажненного сырья в мягких контейнерах [87].

4.1 Программа исследований

Задачи экспериментальных исследований включали:

- проверку разработанного способа приготовления силосованного корма из переувлажненного сырья в мягких вакуумированных контейнерах;
- проверку теоретических исследований по обоснованию параметров и режимов приготовления силосованного корма из переувлажненного сырья в мягком контейнере;
- выявление рациональных режимов и параметров приготовления силосованного корма из переувлажненного сырья в мягких вакуумированных контейнерах.

Исходя из поставленных задач, программа исследований включает в себя:

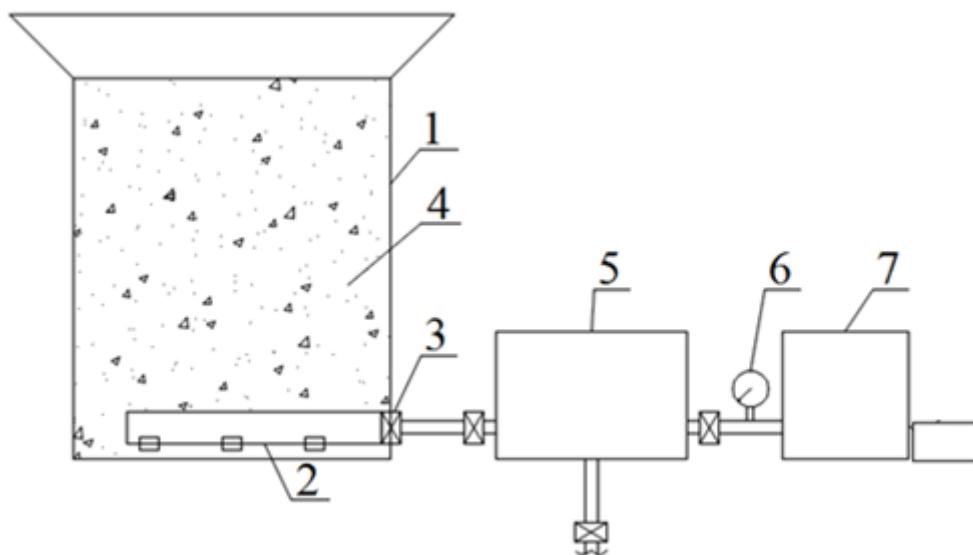
- изменение объема силосуемой массы внутри мягкого контейнера под влиянием вакуумметрического давления;
- определения изменение плотности силосуемой массы от времени откачивания воздуха из контейнера при действующем вакууме;
- определения количества поверхностной воды на стеблях и листьях кукурузы после дождя и росы;
- определения количества жидкости от времени откачивания воздуха из контейнера с силосуемой массы при действующем вакууме.
- планирование многофакторного эксперимента с определением рациональных режимов и параметров приготовления силосованного корма в мягких контейнерах.
- сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований приготовления силосованного корма в мягких контейнерах.

4.2 Методика экспериментальных исследований

4.2.1 Лабораторная установка

Основными показателями, влияющими на технологический процесс приготовления силоса из переувлажненного сырья в мягких контейнерах с устройством для отвода жидкости, является вакуумметрическое давление и продолжительность откачивания воздушного потока из мягкого контейнера. Особенностью является то, что разработанный способ позволяет приготавливать силос из переувлажненного сырья зеленої массы кукурузы, при уборке в дождливую погоду [64, 66].

С целью проверки разработанного способа приготовления силосованного корма из переувлажненного сырья в мягких вакуумированных контейнерах, проверки теоретических исследований и выявление рациональных параметров, обеспечивающих качественный силос была разработана лабораторная установка, схема которой представлена на рисунке 4.1, а общий вид - на рисунке 4.2. Установка включает в себя мягкий контейнер 1, внутри которого размещен перфорированный коллектор 2, выходное отверстие с обратным клапаном 3, измельченная масса кукурузы 4, вакуум баллон 5, вакуумметр 6 и вакуумный насос 7.



1 – мягкий контейнер; 2 – коллектор с отверстиями; 3 – клапан; 4 – измельченная масса кукурузы; 5 – вакуум-баллон; 6 – вакуумметр; 7 – вакуумный насос.

Рисунок 4.1 – Схема установки приготовления силоса



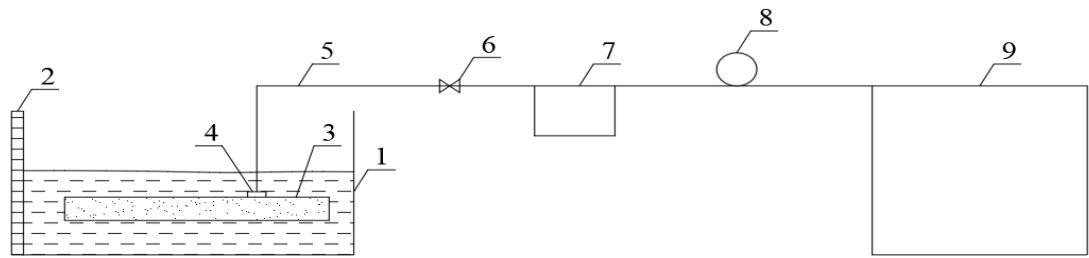
а) мягкий контейнер с силосуемой массой; б) вакуумный баллон; в) вакуумметр

Рисунок 4.2 – Вид узлов установки

Указанная установка использовалась для проверки разработанного способа приготовления силосованного корма из переувлажненного сырья в мягких вакуумированных контейнерах.

4.2.2 Методика определения изменения объема и плотности силосуемой массой в мягком контейнере от вакуумметрического давления

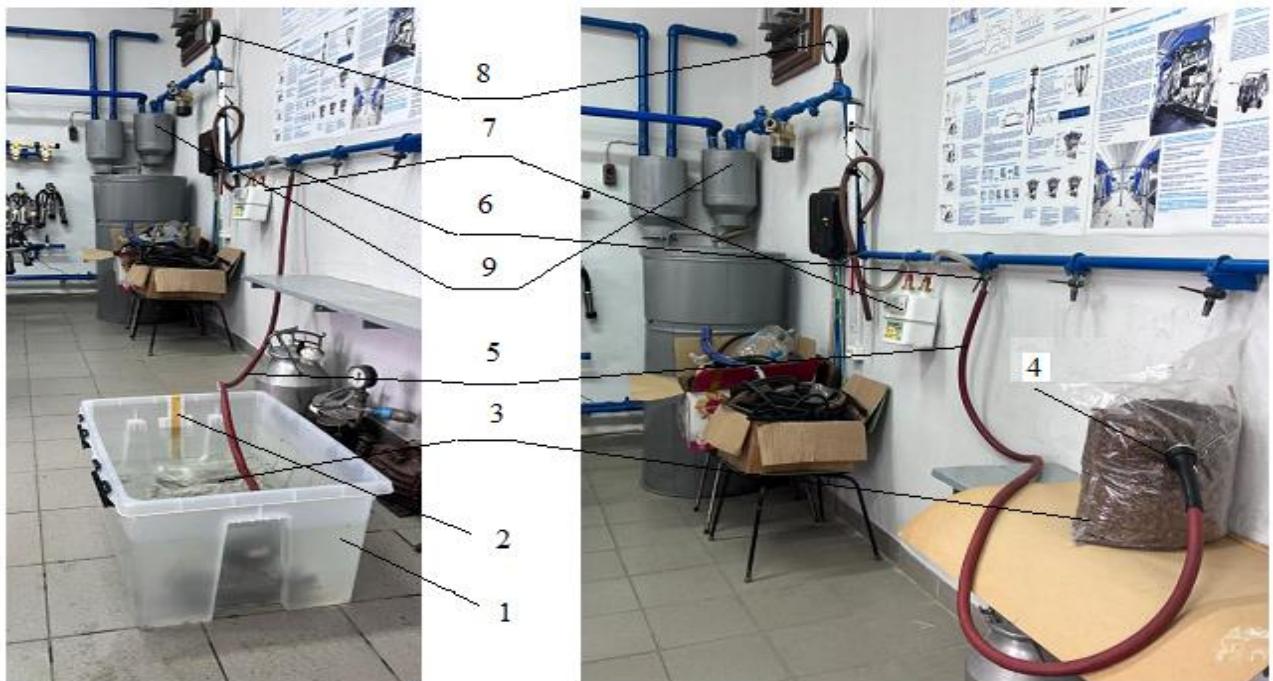
Наиболее простой и эффективный метод определения объема тел сложной формы – это определение объема тел по закону Архимеда. Для определения изменения объема мягкого контейнера с силосуемой массой внутри под влиянием вакуумметрического давления были проведены исследования в лабораторных условиях университета. Измельченную массу кукурузы заполняли в мягкий контейнер, затем его герметизировали и погружали в резервуар с установленным объемом воды. Для затопления контейнера в резервуаре использовался груз постоянной величины. После погружения в резервуар мягкого контейнера с силосуемой массой, производилась изменение объема жидкости с использованием измерительной шкалы уровня жидкости. Для проведения лабораторных исследований была разработана установка, схема которой показана на рисунке 4.3, а общий вид – на рисунке 4.4.



1 – резервуар с водой; 2 – измерительная шкала уровня жидкости; 3 – мягкий контейнер; 4 – клапан; 5 – шланг; 6 – запорный механизм; 7 – счетчик воздуха; 8 – вакуумметр;
9 – вакуумный баллон установки

Рисунок 4.3 – Схема лабораторной установки

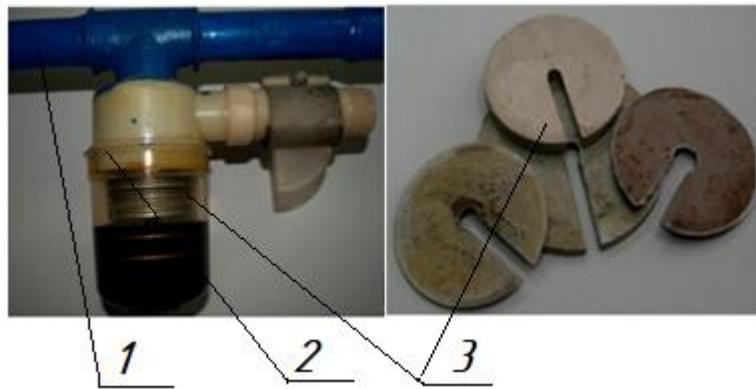
Лабораторная установка (рис. 4.4) включает резервуар 1, наполненный водой в который помещают мягкий контейнер 3 с силосуемой массой. На боковой стене резервуара размещена проградуированная измерительная шкала уровня жидкости 2. К клапану 4 мягкого контейнера 3 подсоединен гибкий шланг 5, связанный с краном 6 трубопровода вакуумной установкой 9. Также установка включает счетчик воздуха 7 и вакуумметр 8.



1 - резервуар с водой; 2 - измерительная шкала уровня жидкости; 3 – мягкий контейнер; 4 – клапан; 5 – гибкий шланг; 6 – запорный механизм; 7 - счетчик воздуха; 8 - вакуумметр; 9 – вакуумный баллон установки

Рисунок 4.4 – Общий вид лабораторной установки

Величина вакуума изменялась регулятором лабораторной установки с помощью массы грузов в виде пластин (рис. 4.5). Визуальный контроль за давлением осуществляли по вакуумметру 8 (рис. 4.4).



1 – вакуумпровод; 2 – регулятор; 3 – груз-пластины

Рисунок 4.5 – Вакуумный регулятор лабораторной установки

Мягкий контейнер для силосуемой массы выполнен из прочной полиэтиленовой пленки с герметичной застежкой (lock) и отверстием с обратным клапаном для откачивания воздуха. Для проведения экспериментов предварительно силосуемую массу загружали в мягкий контейнер, герметизировали его (рис. 4.6 А) и производили взвешивание (рисунок 4.6 Б). Затем в резервуар 1 (рис. 4.4) с известным объемом воды погружался мягкий контейнер, заполненный силосуемой массой, и производилась фиксация изменения объема воды (рис. 4.7). После чего к обратному клапану мягкого контейнера подключался гибкий шланг и производилось вакуумирование мягкого контейнера до определенного давления (рисунок 4.8) с замером времени по секундомеру до достижения этого значения вакуума.



А. – Герметизация

Б. – Взвешивание

Рисунок 4.6 – Лабораторный мягкий контейнер



При этом мягкий контейнер сжимался, уменьшаясь в объёме, что вело к увеличению плотности силосной массы. Далее на градуированной измерительной шкале фиксировался уровень воды. Объем силосуемой массы в вакуумированном

мягком контейнере измерялся методом сравнения изменения объёмов воды, определенных по изменению её уровней в резервуаре для каждого значения вакуума. В связи с тем, что масса силосуемого сырья в контейнере не изменялась, потерей воздуха пренебрегаем. В ходе экспериментов, проводимых при разных значениях вакуума, фиксировались изменения объема силосной массы.

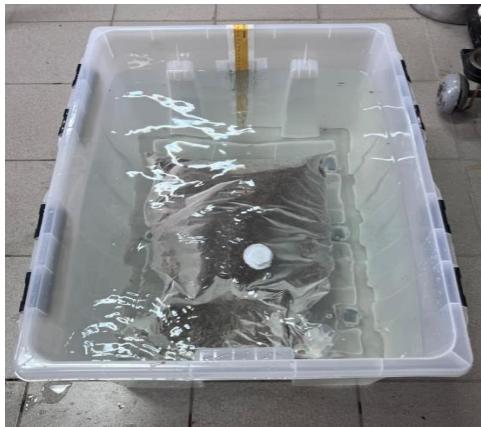


Рисунок 4.7 – Мягкий контейнер в резервуаре до вакуумирования



Рисунок 4.8 - Мягкий контейнер в резервуаре после вакуумирования

На основе полученных данных рассчитывались соответствующие значения плотности силосуемой массы в контейнере при его вакуумировании для каждого уровня давления. Плотность ($\text{кг}/\text{м}^3$) определяли по известной формуле как отношение массы продукта к его объёму

$$\rho_0 = \frac{m}{V}, \quad (4.1)$$

где m – масса исследуемого материала, кг; V – объём, занимаемый продуктом, м^3 .

Опыты проводились в пятикратной повторности.

По результатам проведенного эксперимента построены графические зависимости изменения плотности силосуемой массы в мягком контейнере от действующего вакуума и изменения объёма контейнера от времени вакуумирования.

4.2.3 Методика определения количества поверхностной воды на стеблях и листьях кукурузы после осадков

Приготовление силоса в разрабатываемом нами варианте в мягких вакуумируемых контейнерах позволяет производить силосование из переувлажненного измельченного сырья с его обезвоживанием путем

прокачивания воздуха в любых погодных условиях, как известно в период заготовки силоса обычно выпадает обильная роса и нередки осадки в виде дождя. Это все приводит к повышению влажности кукурузы за счет поверхностной воды. Было изучено по метеорологическим данным состояние погоды в Рязанской области в наиболее вероятные сроки уборки кукурузы на силос [7, 8, 87]. Затем была определена продолжительность заполнения одной силосной траншеи зеленой массой и после всего этого была определена вероятность попадания дождевой воды в силосуемую массу.

Поскольку осушение силосуемой массы от дождевой воды и свободного сока предлагается осуществлять воздушным потоком, то для выбора оборудования и режимов его работы был проведен эксперимент по определению величины дождевой воды на листьях и стеблях растений после дождя. Опыты проводились на наиболее распространенной для силосования культуре – кукурузе. Кукуруза для опытов была взята с поля (рис. 4.8) в селе Мушковатово Рязанского района в хозяйстве ООО «Авангард». Хозяйство ООО «Авангард» является крупным хозяйством по разведению животноводства в Рязанской области. В хозяйстве уделяется большое внимание выращиванию кукурузы и уборки ее на силос.



Рисунок 4.9 – Фото поля кукурузы

Опыт по определению количества воды, осевшей на листьях и стеблях кукурузы во время дождя, определяли следующим образом. Сразу после дождя мокрый стебель с листьями срезали и взвешивали, непосредственно в поле. Затем стебель с листьями осушали от воды, путём встряхивания стебля с листьями и оставляли на ночь под навесом обсохнуть, утром снова взвешивали. Разность в массе до и после осушения давала нам количество воды, осевшей на листьях и

стеблях кукурузы во время дождя. Стебли брали разной массы с початками и без них для того, чтобы получить более достоверные средние значения. После этого рассчитывали процент воды, осевшей на стеблях и листьях, от их массы и результаты заносились в таблицу.

На рисунке 4.10 показано измерение длины стеблей кукурузы, а на рисунке 4.11 – определение массы стеблей до и после осушения от дождевой воды.



Рисунок 4.10 – Измерение длины стеблей кукурузы



Рисунок 4.11 – Определение массы стебля до и после осушения от дождевой воды

По результатам исследований были получены численные значения количества дождевой воды на стеблях и листьях кукурузы после дождя.

4.2.4 Методика определения количества жидкости при осушении при прокачивании воздушного потока через зеленую массу в контейнере

Для проведения исследований была разработана установка для исследования приготовления силоса в мягком контейнере с устройством для отвода жидкости рисунок 4.2, схема которой показана на рисунке 4.1. При проведении экспериментов, связанных с откачиванием воздуха, отведенного из мягкого

контейнера, его объём определялся при помощи газового счетчика СГБ G 4 (рисунок 4.12), а продолжительность процесса по секундомеру, а затем находили расход воздушного потока. В результате выполненных измерений определены прокаченные объемы воздуха от времени при различных уровнях вакуумметрического давления от 30 до 50 кПа. Величину вакуума изменяли при помощи установки различного числа грузов-шайб в регуляторе вакуумной системы установки.



Рисунок 4.12 – Счетчик для измерения воздушного потока

В хозяйстве ООО «Авангард» селе Мушковатово, были взяты пробы измельченной зеленой массы весом 40 кг. Для проведения эксперимента, масса делилась на три приблизительно равные части и увлажнялась, для получения влажности не менее 80%. Так как теоретическими исследованиями было определено, что величина рабочего вакуума при приготовлении силоса в мягком контейнере лежит в диапазоне 30-50 кПа, то были проведены соответствующие эксперименты. Увлажненной массе давалось время слегка обсохнуть для достоверности эксперимента. Затем увлажненная зеленая масса кукурузы помещалась в мягкий контейнер и прокачивалась воздушным потоком в течении 5 минут, создаваемым вакуумным насосом при вакууме 30 кПа, а после замерялся объем извлеченной жидкости.

Также был проведен эксперимент по определению выделенной жидкости из измельченной растительной массы при прокачивании воздуха в течении 10 минут при вакууме 50 кПа. Силосная масса представляла собой измельченную кукурузу восковой спелости сортов «Родник 180 СВ», с начальной влажностью около 70%. Для создания условий переувлажнения, исходную силосную массу объемом 55 кг дополнительно увлажнили 7 литрами воды, что привело к увеличению общей массы до 67 кг. (рисунок 4.13). При работе вакуумной установки смесь воздуха со свободной жидкостью откачивалася из мягкого контейнера и поступала в вакуумный баллон. Откуда она забиралась в мерный сосуд (рисунок 4.14). В ходе эксперимента поступающая жидкость измерялась каждую минуту, пока совсем не перестала выходить из силосуемой массы.



Рисунок 4.13 – Увлажненная зеленая масса в Контейнере

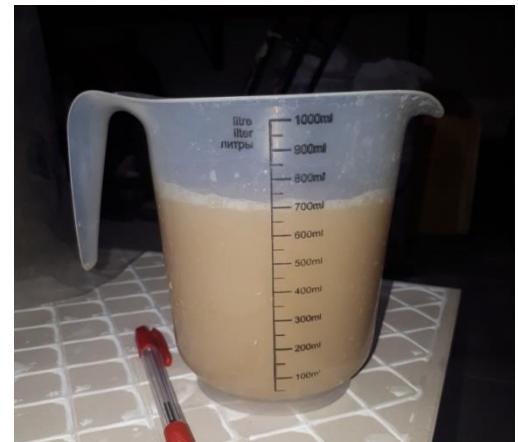


Рисунок 4.14 – Измерение выделенной жидкости

По результатам исследований были получены значения зависимости выхода жидкости за равные промежутки времени при постоянном вакуумметрическом давлении.

4.3 Результаты экспериментальных исследований

4.3.1 Результаты определения объема силосуемой массы внутри мягкого контейнера под влиянием вакуумметрического давления

В хозяйстве ООО «Авангард» селе Подвязье, были взяты пробы измельченной зеленой массы. По результатам проведенного эксперимента

построены графические зависимости изменения объема силосной массы в мягком вакуумированном контейнере от действия приложенного уплотняющего давления (Приложение Ж), а по средним значениям (таблица 4.1) построены графические зависимости (рисунок 4.15).

Таблица 4.1 – Результаты изменение объема силосуемой массы в мягком контейнере от действующего вакуума

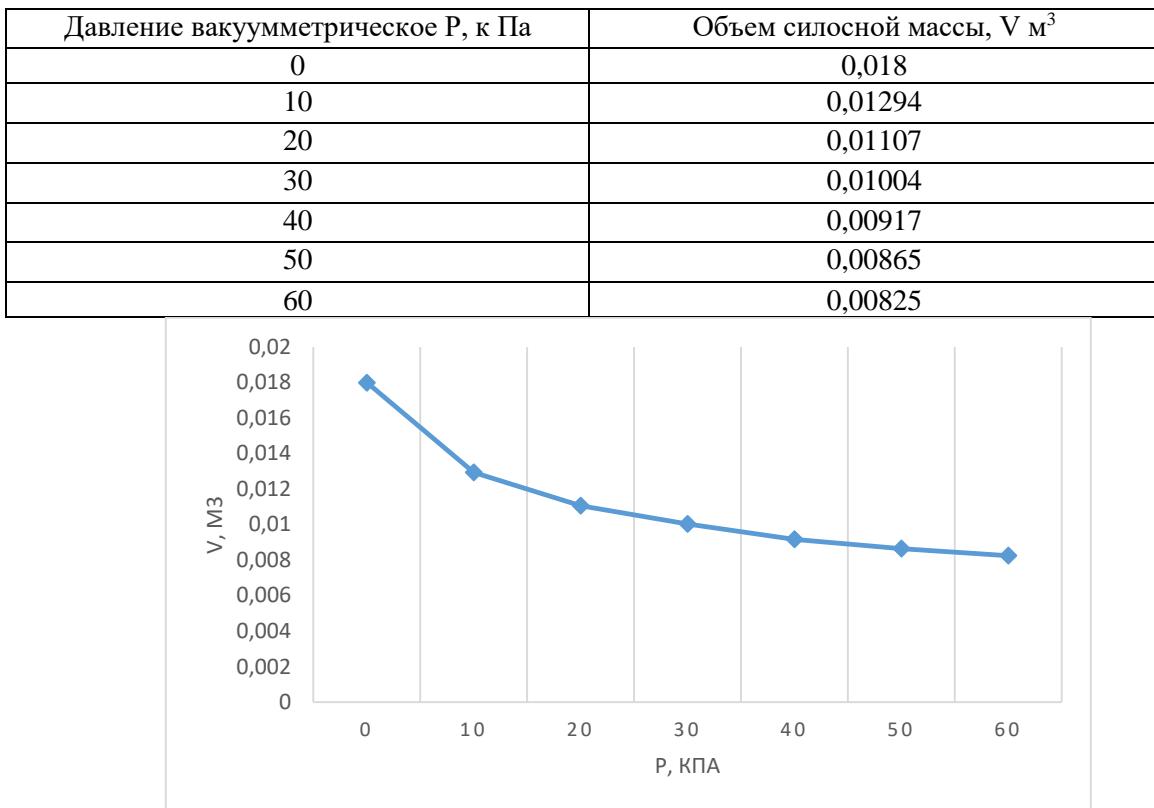


Рисунок 4.15 - Графическая зависимость изменения объема силосуемой массы в мягком контейнере от действующего вакуума

В результате создаваемого рабочего вакуума внутри контейнера он подвергается всестороннему сжатию. Объем силосуемой массы уменьшается с ростом вакуумметрического давления. Вакуумирование позволяет уменьшить объем измельченной массы в контейнере более чем в два раза при 60 кПа. Наибольшая эффективность снижения объема контейнера и соответственно уплотнения силосуемой массы достигается при вакууме 30-50 кПа, далее снижение объема происходит незначительно.

По результатам проведенного эксперимента также построены графические зависимости изменения плотности силосной массы в мягком вакуумированном контейнере от действия приложенного уплотняющего давления (рисунок 4.16).

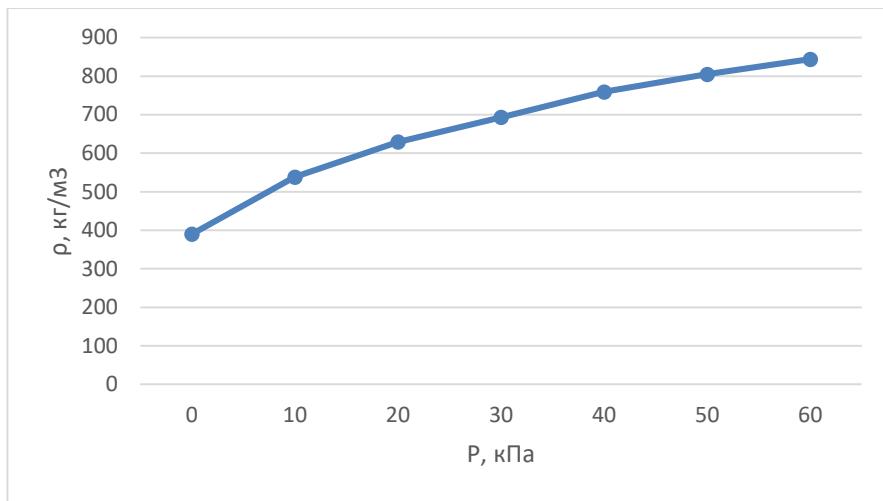


Рисунок 4.16 – Графическая зависимость плотности (ρ) силосуемой массы в мягком контейнере от действующего вакуума

Как следует из эксперимента плотность силосуемой массы увеличивается с ростом вакуумметрического давления. Плотность силосуемого сырья зависит от используемых растений, степени их измельчения, влажности и должна составлять по требованиям для кукурузы молочно-восковой спелости $600\ldots700$ кг/м³ и кукурузы восковой спелости с початками – $750\ldots800$ кг/м³. Такую плотность уплотнения в мягком контейнере можно достичь при вакууме 40-50 кПа. Полученные данные необходимы для обеспечения технологического процесса приготовления силоса в мягких контейнерах.

4.2.3 Результаты исследования количества поверхностной воды на стеблях и листьях кукурузы после дождя

Изучая метеорологические условия по Рязанской области в наиболее вероятные сроки уборки кукурузы были построены диаграммы осадков по месяцам за последние три года показаны на рисунке 4.17. Можно отметить следующее. С 1 по 31 августа в Рязанской области в среднем за последние 4 года (2021-2024 гг.) выпало 23,5 мм осадков в месяц, а дождливых дней было 13; с 1 по 30 сентября выпало соответственно – 44 мм осадков и было 17 дождливых дней; с 1 по 31 октября выпало - 71,75 мм осадков и было 21 дождливых дней. Заполнение одной силосной траншеи зеленой массой рекомендуется не более 5 дней. Эти данные свидетельствуют о том, что имеется большая вероятность попадания дождевой воды в силосуемую массу, особенно на крупных фермах. Так как заготовка силоса

кукурузы с зерном в сентябре в хозяйствах длится иногда до 20 и более дней. Анализируя погодные условия за последние несколько лет в Рязанской области, видно, что дождливый период составляет около 40% уборочного времени [53].

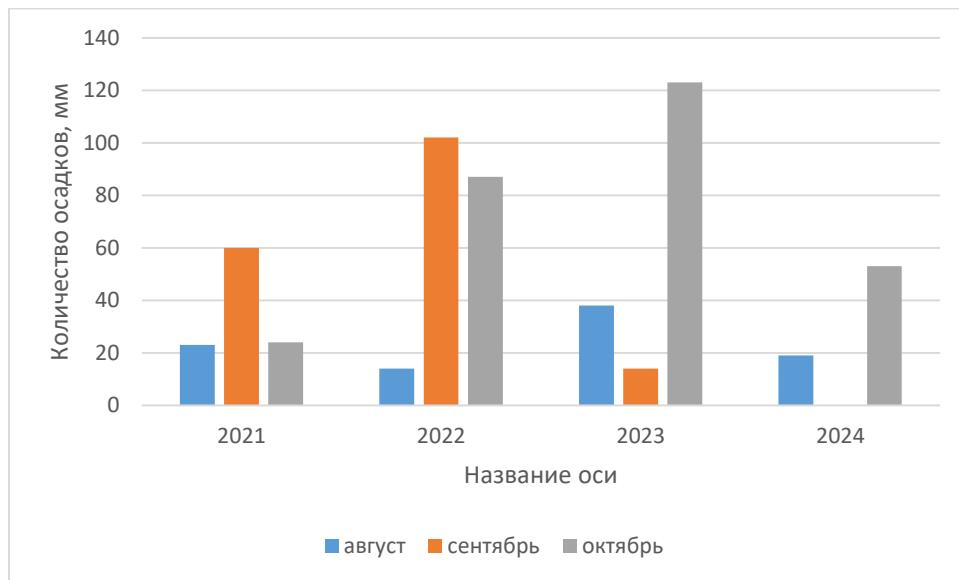


Рисунок 4.17 – График осадков по месяцам за последние четыре года

Результаты определения количества дождевой воды, на поверхности стеблей и листьев кукурузы после дождя в зависимости от их массы, приведены в таблице И.1 (Приложение И). Из которой следует, что количество дождевой воды на стеблях и листьях кукурузы, зависит от их массы незначительно. При средней длине стеблей 2,05 м и массе сухих стеблей с листьями 0,71 кг количество воды составляет 0,10 кг на один стебель или на 1 кг массы кукурузы накапливается до 0,142 кг воды во время дождя [53].

Некоторый численный разброс данных получен из-за того, что для определения количества дождевой воды на стеблях и листьях кукурузы брались разные стебли, как без початков, с одним или двумя початками. Характерно отметить, что дождевая вода накапливалась в основном в пазухах листьев и могла долго сохраняться в них. В процессе заготовки зеленой массы при обработке рабочими органами кормоуборочных машин значительная часть дождевой воды останется в измельченной массе кукурузы. Осушение кукурузы от дождевой воды в естественных условиях зависит от погоды и по нашим наблюдениям может длиться часами или даже днями. В первую очередь высыхают капли дождя на листьях, а затем - в пазухах между листьями и стеблем [53].

На основе проведенных опытов, можно сделать вывод, что кукуруза в дождливую погоду имеет излишки жидкости, ухудшающие качество силоса, что приводит к большим потерям и удорожанию его производства.

Для того, чтобы вести силосование кукурузы в дождливую погоду, следует осушать её массу от дождевой воды, которая составляет до 14,2 % на 1 кг стеблей и листьев. Следовательно, предлагаемый нами способ приготовления силоса в мягких контейнера с осушением кукурузной измельченной массы позволит заготавливать качественный силос.

4.3.4 Результаты определения количества жидкости при осушении при прокачивании воздушного потока через зеленую массу в контейнере

Для проведения опытов была взята измельченная зеленая масса кукурузы, приготовленная в хозяйстве ООО «Авангард» Рыбновского района Рязанской области. Основные показатели силосной массы: силосная масса из кукурузы восковой спелости; сорт кукурузы «Родник 180 СВ»; влажность массы- 80%; средняя длина стебля – 174,8 см; средняя масса растений - 302 г; средняя длина початка в обвертке – 18,8 см; диаметр початка – 4,82 см; средний размер измельченных частиц зеленой массы при уборке – 15-20 мм. По результатам проведенного эксперимента построена графическая зависимость количества выхода жидкости из измельченной массы кукурузы в мягком вакуумированном контейнере от действия приложенного уплотняющего вакуумметрического давления при постоянных значениях влажности силосуемой массы – 80% и при откачивании воздуха 5 мин (рисунок 4.18).

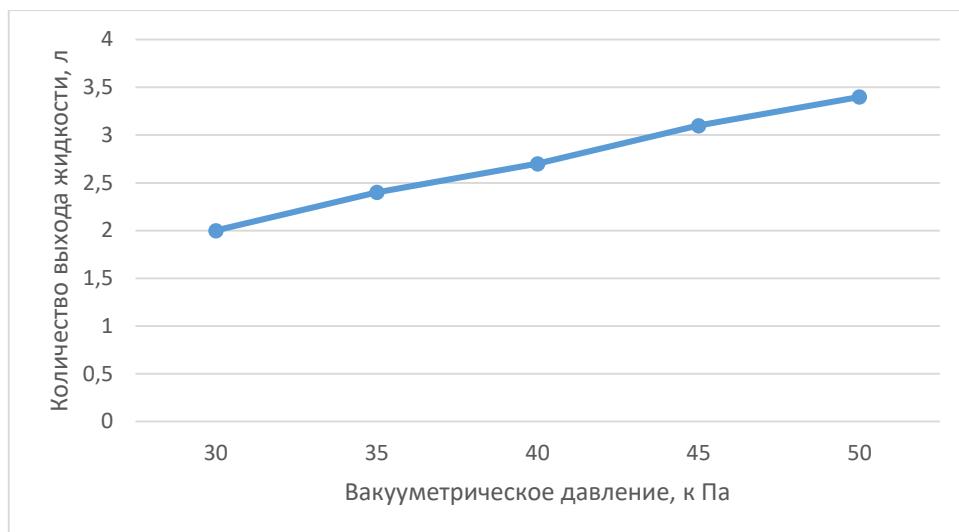


Рисунок 4.18 – Графическая зависимость выхода жидкости от вакуумметрического давления

Результаты проведенного эксперимента по определению объема выделенной жидкости из силосуемой массы в мягком контейнере от продолжительности работы вакуумного насоса при заданном давлении представлены в приложении К, а по средним значениям приведены таблица 4.3, 4.4 и построена графическая зависимость (рис. 4.19).

Таблица 4.3 – Результаты определения количества жидкости путем прокачивания воздушного потока ($P=30$ кПа)

№ контейнера	Вес зеленой массы при влажности 65%, кг	Вес зеленой массы при влажности 80%, кг	Время работы, мин	Давление, кПа	Объем полученной жидкости, мл
1	2	3	4	5	6
1	13,3	16,5	5	30	550
2	13,0	16,1	5	30	450
3	12,8	15,4	5	30	500

Ежеминутный выход жидкости при прокачивании воздуха через силосуемую массу в контейнере при вакууме 50 кПа представлен в таблице 4.3.

Таблица 4.4 – Результаты определения полученной жидкости путем прокачивания воздуха ($P=50$ кПа)

Время, t, мин	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Количество полученной жидкости, мл	950	1850	2580	3280	3780	4080	4230	4300	4300	4300

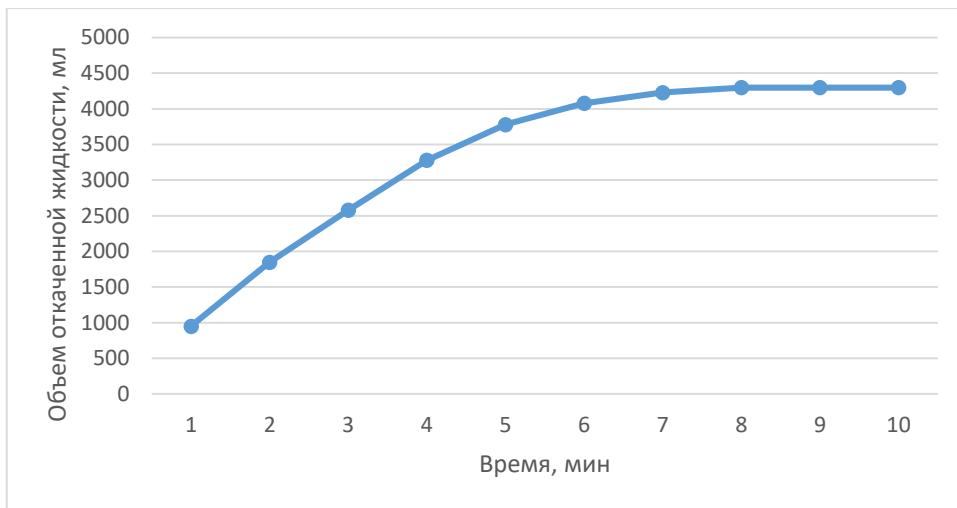


Рисунок 4.19 – Графическая зависимость выхода жидкости за равные промежутки времени

Анализ полученных результатов (рис. 4.19) показывает, что интенсивность выделение свободной жидкости при рабочем вакууме 50 кПа после 4 минут покачивания воздуха резко снижается и после 8 минут практически прекращается определения. На практике продолжительность осушение более 8 минут не целесообразна.

Получены показатели объема воздуха прокаченного из мягкого вакуумированного контейнера и выход жидкости под действием различных уровней вакуумметрического давления (рисунок 4.20).

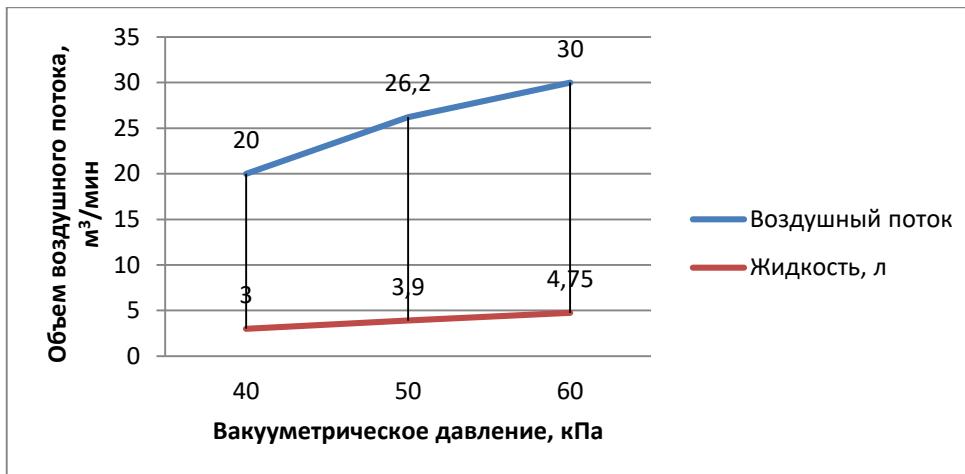


Рисунок 4.20 – Графическая зависимость изменения выхода жидкости и объема воздушного потока в мягком контейнере от вакуумметрического давления

Из графика следует, что для повышения выхода свободной жидкости из измельченной зеленой массы при изменении величины вакуума требуется увеличения воздушного потока, пропускаемого через кормовое сырьё. Однако с увеличением

вакуума интенсивность удельного потока воздуха несколько снижается. Так при вакууме 30 кПа расход пропускаемого воздуха на каждый литр извлекаемой жидкости составляет 6,67, а при 50 кПа снижается до 6,32 литров. Это связано с тем, что повышается перепад действующего давления в мягком контейнере.

Итак, в рабочем диапазоне вакуумметрического давления при осушении переувлажненного силосуемого сырья для выделения одного литра свободной влаги требуется в среднем пропускать воздуха в 6,5 раз больше, чем получаемой жидкости.

4.4 Планирование многофакторного эксперимента

Выбор факторов

При проведении лабораторных исследований, главной задачей стояло определение факторов, влияющих на процесс осушки силосной массы от жидкости – сока, образовавшегося при измельчении кукурузы на силос и дождевой воды, которая попадает в силосную массу во время уборки кукурузы.

Как говорилось, во 2 главе на качество силосной массы очень сильно влияет ее влажность. В ходе исследований было выявлено, что при уборке кукурузы на силос во время дождливой погоды, в массу попадает большое количество жидкости, при силосовании она перемешивается с силосным соком, что приводит к высокой влажности силосной массы, а, следовательно, к загниванию силоса. Исходя из этих данных, первым фактором для многофакторного эксперимента выберем влажность силосной массы. Для точного получения заданной влажности зелёной массы кукурузы, мы сначала определяли её исходную влажность, затем осушали или увлажняли водой до заданных данных, далее пробы герметизировались для равномерного распределения влаги и после контрольной проверки влажности проводились лабораторные эксперименты.

В 3 главе научно-квалификационной работе (диссертации) производились расчеты процесса выхода жидкости из контейнера, обосновывались параметры мягкого контейнера. Было выявлено, что на процесс осушки влияет время прокачивания воздуха, поэтому время прокачивания мы выбираем вторым фактором.

Так же мы установили, что на количество жидкости и быстроту ее откачки влияет вакуумметрическое давление, создаваемое насосом в коллекторе и внизу контейнера, а сверху действовало атмосферное давление. Поэтому для третьего фактора мы принимаем вакуумметрическое давление.

С целью определения совокупного влияния выбранных факторов на количество выделенной жидкости был проведен трехфакторный эксперимент [10].

За параметры оптимизации примем количество выделенной жидкости, так как нам нужна силосуемая масса в определённых параметрах влажности, а также энергоемкость процесса, учтем затраты энергии на процесс осушения силосной массы.

Опираясь на результаты однофакторных экспериментов и технологические особенности исследуемого объекта, были выбраны следующие факторы: x_1 – влажность силосной массы, %; x_2 - время откачивания воздуха, мин; x_3 – вакуумированное давление, кПа

При проведении эксперимента интересовали линейные эффекты и парные взаимодействия. Поэтому модель объекта искали в виде [35]:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{23}x_2x_3 + b_{13}x_1x_3. \quad (4.2)$$

Наиболее простой план, допускающий оценку всех коэффициентов этой модели, – полный факторный эксперимент 2^3 . Для оценки воспроизводимости все опыты дублировались.

Таблица 4.5 - Факторы и уровни их варьирования

	Влажность силосной массы, \tilde{x}_1 , %	Время откачивания воздуха, \tilde{x}_2 , мин.	Вакуумированное давление, \tilde{x}_3 , кПа
Основной уровень	70	5	40
Интервал варьирования	10	4	10
Верхний уровень	80	9	50
Нижний уровень	60	1	30

За параметр оптимизации у примем объем откаченной жидкости, л.

План проведения многофакторного эксперимента, его результаты со статической обработкой приведены в Приложении Л [4, 35].

В результате расчетов была получена адекватная уравнения регрессии для объема выделенной жидкости из силосуемой массы, полученной в результате её осушения воздухом ($F < F_{kp}$ ($4,57 < 5,3$)) в кодированном виде:

$$y = 2,8 + 0,8x_1 + 0,5x_2 + 0,6x_3 + 0,25x_1x_2 + 0,1x_2x_3 - 0,1x_1x_3 \quad (4.3)$$

Как видно из полученного уравнения наибольшее влияние на параметр оптимизации оказывает фактор x_1 (влажность силосной массы). В меньшей степени влияют факторы x_3 (вакуум) и фактор x_2 (время откачивания воздуха). Характер влияния всех факторов одинаков. Влияние факторов проявилось и в парных взаимодействиях. Эффект взаимодействия факторов ярко выражен, т.е. степень влияния каждого фактора зависит от того на каком уровне находится другие факторы. Коэффициент взаимодействия b_{13} имеет отрицательный знак. Это означает, что с увеличением фактора x_1 (влажность силосной массы) фактор x_3 (вакуумметрическое давление) можно уменьшать.

Также была получена адекватная уравнение регрессии для энергоёмкости процесса откачивания жидкости из силосуемой массы ($F < F_{kp}$ ($5,17 < 5,3$)) в кодированном виде:

$$y = 1,615 + 0,063x_1 + 0,012x_2 + 0,1x_3 - 0,045x_1x_2 + 0,028x_2x_3 - 0,038x_1x_3 \quad (4.4)$$

Как видно из уравнения (4.4) наибольшее влияние на параметр оптимизации (энергоемкость исследуемого процесса) оказывает фактор x_3 (вакуумметрическое давление). В меньшей степени влияют факторы x_1 (влажность силосуемой массы) и фактор x_2 (время откачивания воздуха). Характер влияния всех факторов одинаков. Влияние факторов проявилось и в парных взаимодействиях. Эффект взаимодействия факторов ярко выражен, т.е. степень влияния каждого фактора зависит от того на каком уровне находится другие факторы. Коэффициент взаимодействия b_{12} имеет отрицательный знак. Это означает, что с уменьшением фактора x_1 (влажность силосной массы) время откачивания воздуха нужно увеличивать (фактор x_2) [35].

После раскодирования уравнения регрессии (4.3) примет вид

$$V = -5,9575 + 0,08875 B - 0,42T + 0,118P + 0,00625 B \cdot T + 0,0024 T \cdot P - 0,001B \cdot P \quad (4.5)$$

где V – количество выделенной жидкости из силосуемой массы, л; B – влажность силосной массы, %; T – время откачивания воздуха, мин.; P – вакуумметрическое давление на выходе из контейнера, кПа.

После раскодирование уравнения регрессии (4.4) будет

$$E = -0,537 + 0,0273 \cdot B + 0,0538 \cdot T + 0,03338 \cdot P - 0,00112 \cdot B \cdot T + \\ + 0,00085 \cdot T \cdot P - 0,00038B \cdot P. \quad (4.6)$$

где E – энергоёмкость процесса откачивания жидкости из силосуемой массы, кВт·мин /кг.

На рисунках 4.21 – 4.23 построены поверхности отклика для объема выделенной жидкости из силосуемой массы, полученной в результате её осушения воздухом.

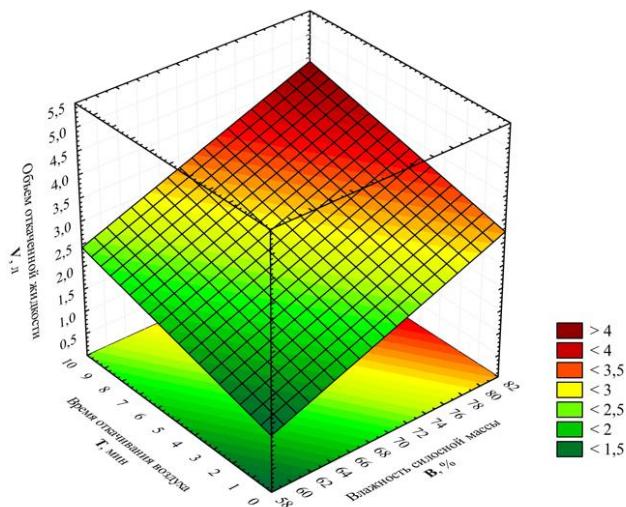


Рисунок 4.21 – Зависимость объема откаченной жидкости от влажности силосуемой массы и времени прокачивания воздуха

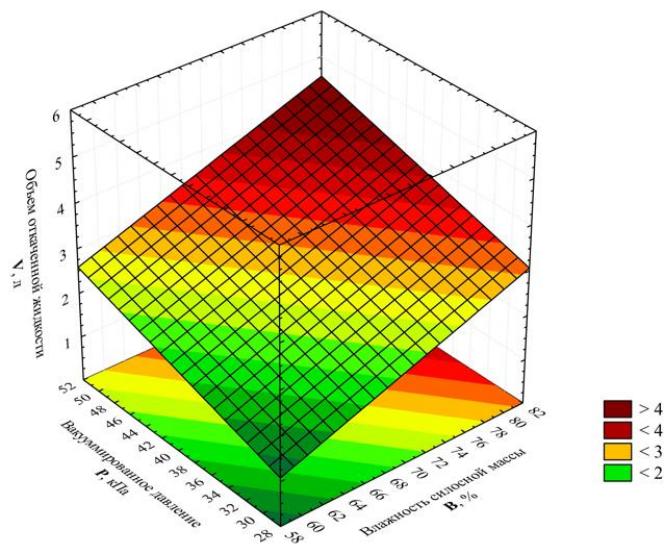


Рисунок 4.22 - Зависимость объема откаченной жидкости от влажности силосной массы и вакуумированного давления

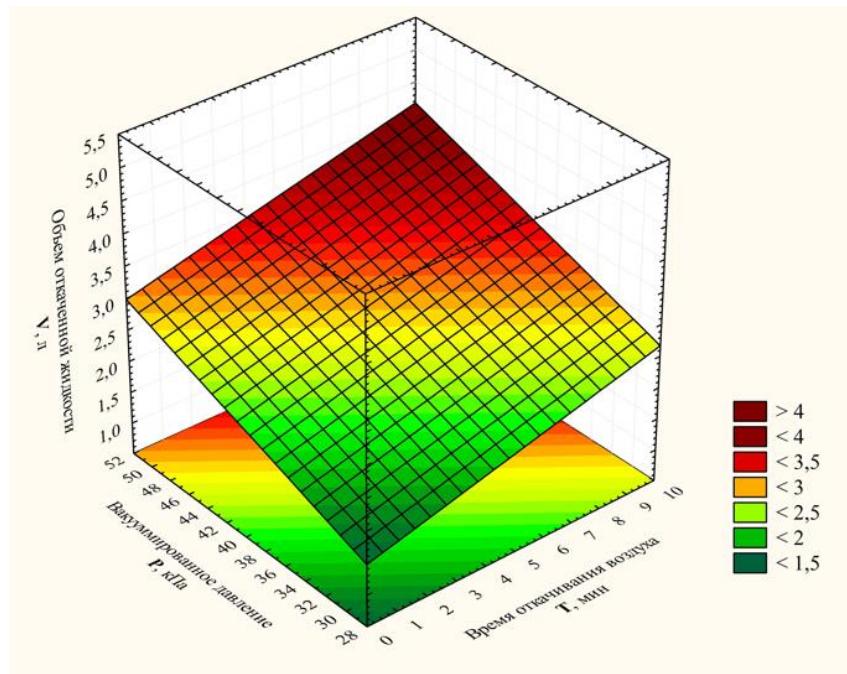


Рисунок 4.23 - Зависимость объема откаченной жидкости от времени откачивания и вакуумированного давления

На рисунках 4.24 – 4.26 построены поверхности отклика энергоёмкость процесса откачивания жидкости из силосуемой массы.

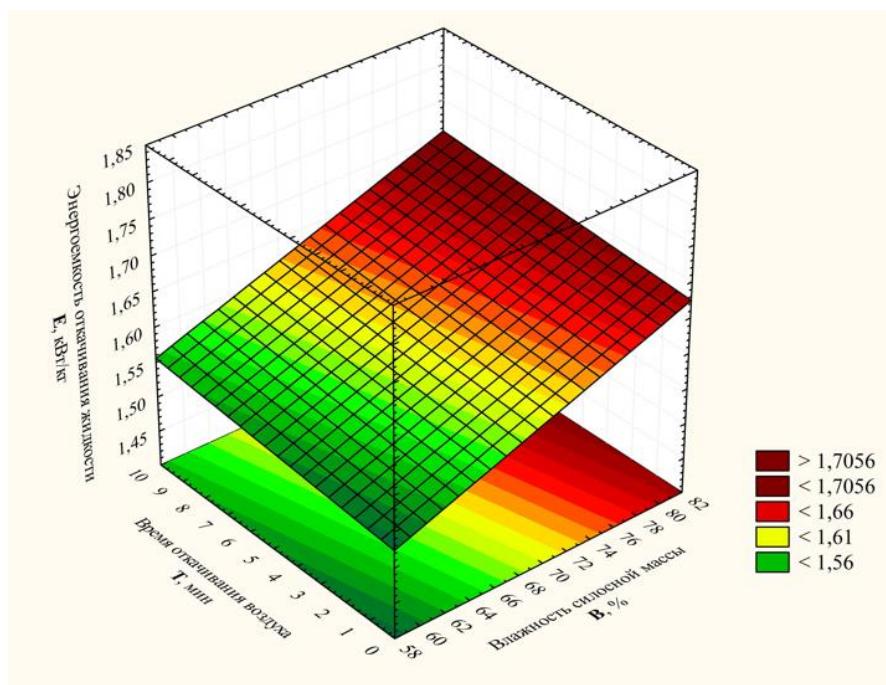


Рисунок 4.24 – Зависимость энергоемкости процесса от влажности силосуемой массы и времени прокачивания воздуха

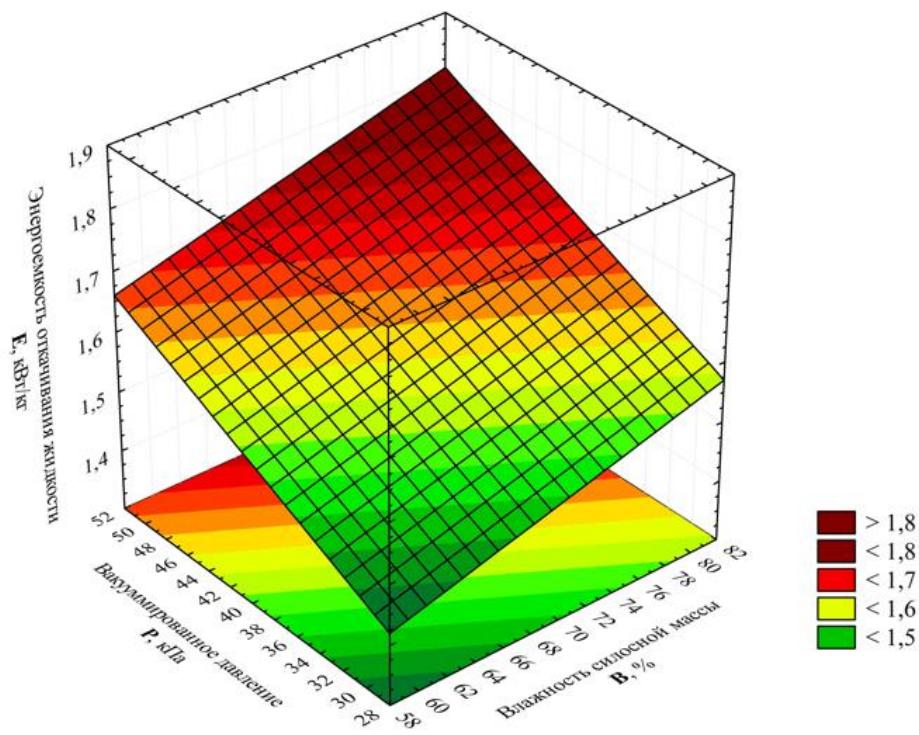


Рисунок 4.25 - Зависимость энергоемкости процесса от влажности силосуемой массы и вакууметрического давления

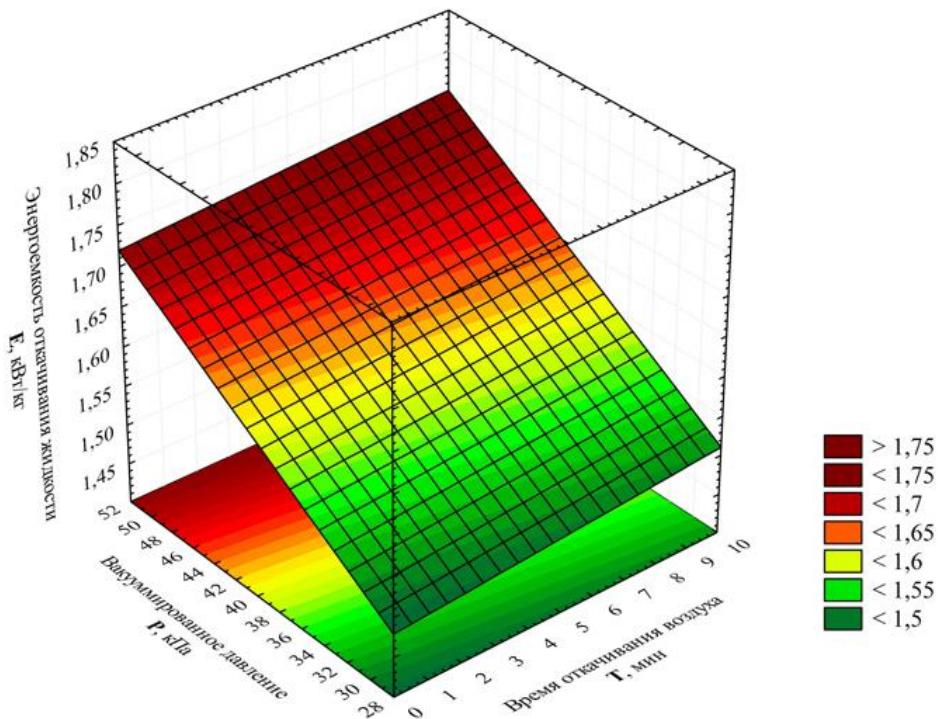


Рисунок 4.26 - Зависимость энергоемкости процесса от времени прокачивания воздуха и вакууметрического давления

Из анализа графических зависимостей, представленных на рисунках 4.21 – 4.26, а также пошаговой обработки полученных данных в программе «Statistica»

(приложение Л, таблица Л.10), решая компромиссную задачу, определены рациональные параметры действующих факторов на параметр оптимизации. Имеем следующие параметры для объема выделенной жидкости в пределах 4,0–4,1 л из силосуемой массы, полученной в результате времени её осушения воздухом $t = 6\text{--}7$ мин при вакууме $P = 48\text{--}50$ кПа, энергоёмкость процесса откачивания жидкости при этом будет $E = 1,75\text{--}1,77$ кВт·мин/кг.

4.5 Сходимость теоретических и экспериментальных результатов проведенных исследований

Для проверки адекватности разработанной теоретической модели проведено сравнение расчетных данных с результатами экспериментальных исследований, проведённых в лабораторных условиях. Графические зависимости представлены на рисунках 4.27 – 4.28.

Определение сходимости результатов теоретических и экспериментальных исследований осуществлялось путем сравнительного анализа.

В таблице 4.6 представлены теоретические и экспериментальные данные по продолжительности вакуумирования мягкого контейнера с силосуемой массой после его герметизации. Вакуумирование в производственном эксперименте производилось вакуумной системой передвижного агрегата АИД-1 ($Q=12\text{м}^3/\text{ч}$).

Таблица 4.6 - Теоретические и экспериментальные данные по продолжительности вакуумирования мягкого контейнера с силосуемой массой после его герметизации.

Вакуум, кПа	Время, с					Коэффициент эмпирический k_s	
	эксперимент	формула (3.80)	Скорректировано с учетом коэффициента k_s	формула (3.83)	Скорректировано с учетом коэффициента k_s	по опытам	сред нее
10	10,8	25,7	19,0	29,1	21,5	0,42-0,37	$k=0,$ 74
20	27,9	50,6	37,4	59,62	44,12	0,55-0,47	
30	50,2	77,4	57,28	92,3	68,3	0,65-0,54	
40	83,1	113,26	83,81	127,996	94,72	0,73-0,65	
50	119,0	160,33	118,64	169,675	125,56	0,74-0,70	
60	165,6	225,52	166,88	219,61	162,51	0,73-0,75	

Как следует из таблицы теоретические зависимости дают численные значения продолжительности вакуумирования выше, чем экспериментальные. Что требует ввода в теоретические зависимости эмпирического коэффициента k , средняя величина которого по данным таблицы составляет $k=0,74$. На рисунке 4.27 представлены графические зависимости изменения времени вакуумирования от действующего вакуума с учетом введенного коэффициента.

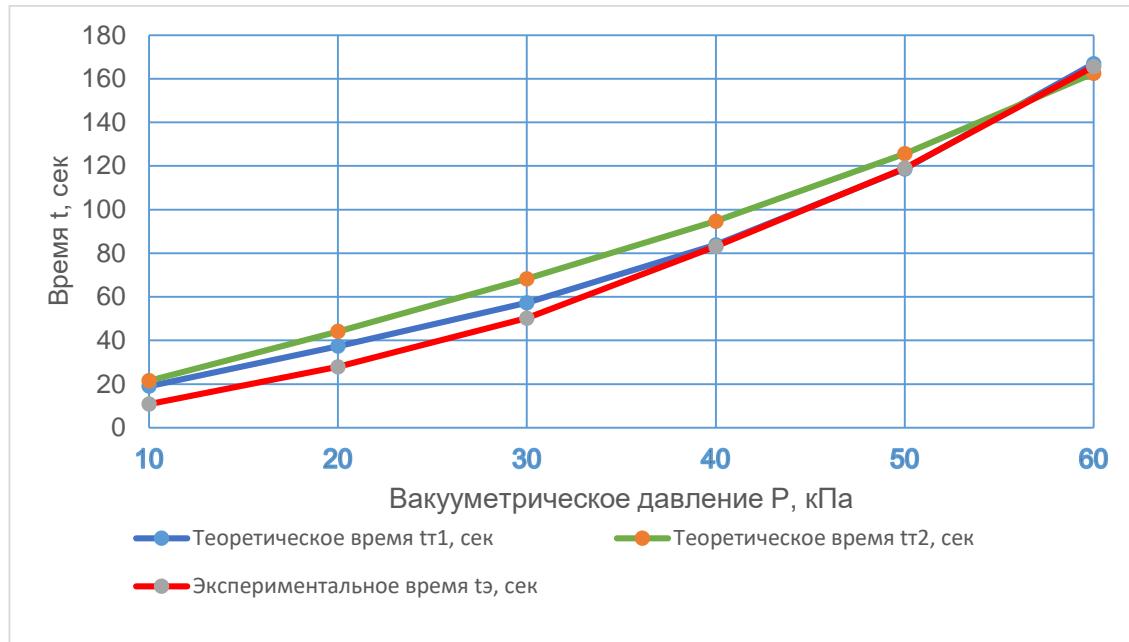


Рисунок 4.27 – Графические зависимости изменения времени вакуумирования t от действующего вакуума p_h

Таким образом, проведенное сравнение подтверждает адекватность разработанных теоретических зависимостей (3.80) и (3.83). Отклонения расчетных данных от экспериментальных находятся в пределах допустимых погрешностей и не превышают 6%.

Определение сходимости результатов объема откаченной жидкости при применении вакуумметрического давления осуществляется путем сравнительного анализа (рисунок 4.29). Исследование базируется на результатах, полученных экспериментальным путем (раздел 4.3.4, таблица 4.4), а также теоретических расчетах (раздел 3.41, рисунок 3.10).

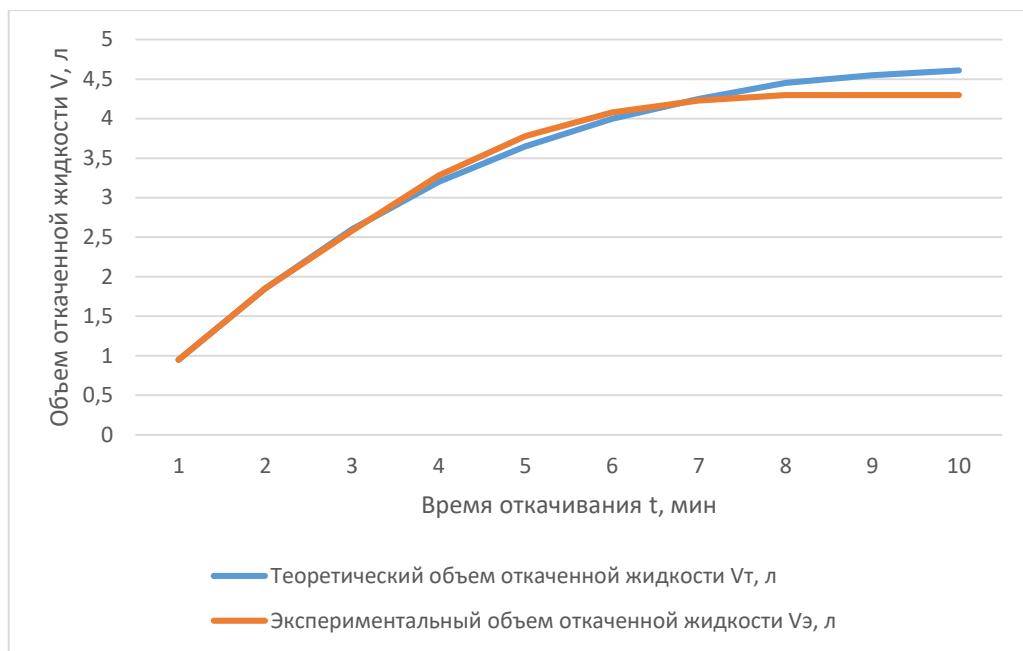


Рисунок 4.28 – Графическая зависимость объема откаченной жидкости от времени

Таким образом, проведенное сравнение подтверждает адекватность разработанной теоретической модели. Отклонения расчетных данных от экспериментальных находятся в пределах допустимых погрешностей и не превышают 2,5%.

Выводы по четвертой главе

На основании проведенных экспериментальных исследований приготовления силоса в мягких контейнерах можно сделать следующие выводы:

1. Наибольшая эффективность снижения объёма контейнера при вакуумировании и соответственно уплотнения силосуемой массы достигается при вакууме в диапазоне 30-50 кПа, далее снижение объёма происходит незначительно. Плотность силосуемого сырья зависит от используемых растений, степени их измельчения, влажности и должна составлять для кукурузы молочно-восковой спелости 600...700 кг/м³ и кукурузы восковой спелости с початками – 750...800 кг/м³, что обеспечивается при вакууме 40-50 кПа.

2. Кукуруза из-за выпадения осадков (роса, дождь) может иметь излишки поверхностной жидкости. Для того, чтобы вести силосование кукурузы с повышенной влажностью, следует осушать её от свободной жидкости, которая составляет до 14,2% на 1 кг стеблей и листьев.

3. Экспериментальными исследованиями установлено, что наибольшее влияние на объем жидкости, извлеченной в результате прокачивания воздуха через силосуемую массы, оказывает её влажность, в меньшей степени воздействуют величина вакуума и время откачивания воздуха. Рекомендуемое значение вакуума 48-50 кПа, длительность осушения силосуемой массы прокачиванием воздуха составляет 360- 420 с (6-7 мин), что позволяет получать влажность силосуемой массы не более 70% при энергоёмкости процесса 1,75-1,77 кВт·мин/кг.

Экспериментальными исследованиями установлено, что длительность вакуумирования зависит от величины вакуума, так при вакууме в диапазоне 30-60 кПа продолжительность изменяется от 78 до 222 секунд. При рекомендуемом вакууме до 50 кПа процесс вакуумирования мягкого контейнера после его герметизации составит 120 секунды.

4. Результаты экспериментов подтвердили адекватность теоретической модели. Отклонения между расчетными и экспериментальными данными не превышают 5%, что свидетельствует о достаточной точности модели.

5 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ СИЛОСА В МЯГКИХ КОНТЕЙНЕРАХ С УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ ОТВОДА ЖИДКОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ, ВНЕДРЕНИЕ И РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

5.1 Программа и методика исследований

Экспериментальные исследования в производственных условиях проводились в ООО «Разбердеевское» Спасского района Рязанской области.

Программа исследований предусматривала:

- приготовление силоса в мягких контейнерах с устройством для отвода жидкости со снятием технологических параметров;
- закладку мягких вакуумированных контейнеров с силосуемой массой на хранение с качественной оценкой готового силоса.

Для исследований предварительно были изготовлены два мягких вакуумированных контейнера 1 с устройством для отвода жидкости емкостью 1m^3 , а затем еще 9 штук. В которые закладывалась измельченная масса кукурузы повышенной влажности (рисунок 5.1). Для создания разрежения использовалась вакуумная установка 2 агрегата для индивидуального доения.



1 – контейнер; 2 – вакуумная установка; 3 – поддон
Рисунок 5.1 – Общий вид производственной установки

В производственных условиях ООО «Разбердеевское» проводились испытания приготовления и хранения силоса в вакуумированных контейнерах с удалением жидкой фракции. Контейнер для силосования кормов содержит емкость из воздухонепроницаемой плёнки с поперечным сечением в виде квадрата, которая в верхней части имеет горловину для загрузки силосуемой массы. К нижней части стенки контейнера герметично прикреплена жесткая вставка с резьбой, в которую с внешней стороны контейнера ввернут клапан для отсоса жидкой фракции и воздуха, а внутри контейнера к ней подсоединен трубчатый коллектор, выполненный по форме внутренней поверхности контейнера. В качестве исходного сырья для приготовления силоса использована кукуруза сорта «Родник-180» с початками в фазе восковой спелости, возделываемая в хозяйстве, влажностью 76%. Зеленый корм, подлежащий силосованию, прошел проверку на состав и питательность в лаборатории по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства федерального государственного бюджетного учреждения «Станция агрохимической службы «Рязанская».

Приготовление силоса в мягких контейнерах осуществлялось следующим образом. Скошенная и измельченная зеленая масса кукурузы доставлялась с поля на прифермерскую площадку и выгружалась в бункер. Откуда происходило заполнение мягких контейнеров измельченной силосуемой массой. Затем клапан мягкого контейнера подключали к шлангу агрегата АИД-1 и откачивали воздух с жидкой фракцией через доильное ведро агрегата. Затем мягкий контейнер герметизировали путем запаивания пленки в верхней части горловины. После герметизации из контейнера откачивают воздух через обратный клапан вакуумной установки. В результате чего силосуемая масса в контейнере уплотнялась (рисунок 5.2) и контейнер готов к хранению, для чего их укладывали в ангаре (рисунок 5.3). Хронометраж операций по приготовлению силоса в мягких контейнерах проводили по секундомеру, а величину вакуума контролировали по вакуумметру агрегата АИД-1. Остальная методика аналогично той, что описана в главе 4.



Рисунок 5.2 – Общий вид контейнера
после вакуумирования



Рисунок 5.3 – Контейнеры
заложенные на хранение в ангаре



Рисунок 5.4 – Мягкий контейнер с силосом

За период производственных исследований было приготовлено с дальнейшим хранением силос в количестве 3,6 т, размещенный в девяти контейнерах, два из которых были опытно-производственные.

5.2 Результаты исследований

В результате проведенного производственного эксперимента по приготовлению силоса в мягких вакуумированных контейнерах с устройством для отвода жидкости установлены следующие технико-экономические характеристики:

- размеры контейнера, м 1,0x1,0x1,0;
- объем контейнера, м³ 1,17;
- плотность конечная силосуемой массы кукурузы в контейнере, кг/м³ 770...800;

- масса исходного растительного сырья в контейнере, кг 400;
- количество выведенной жидкости (сок, дождевая вода), л 23,5;
- величина вакуума, кПа 50...55;
- вакуумная система АИД-1.

Зависимость времени осушения растительной массы кукурузы с повышенной начальной влажностью около 75% при прокачивании воздуха при вакууме 50 кПа, полученная в ходе производственного эксперимента представлена на рисунке 5.5.

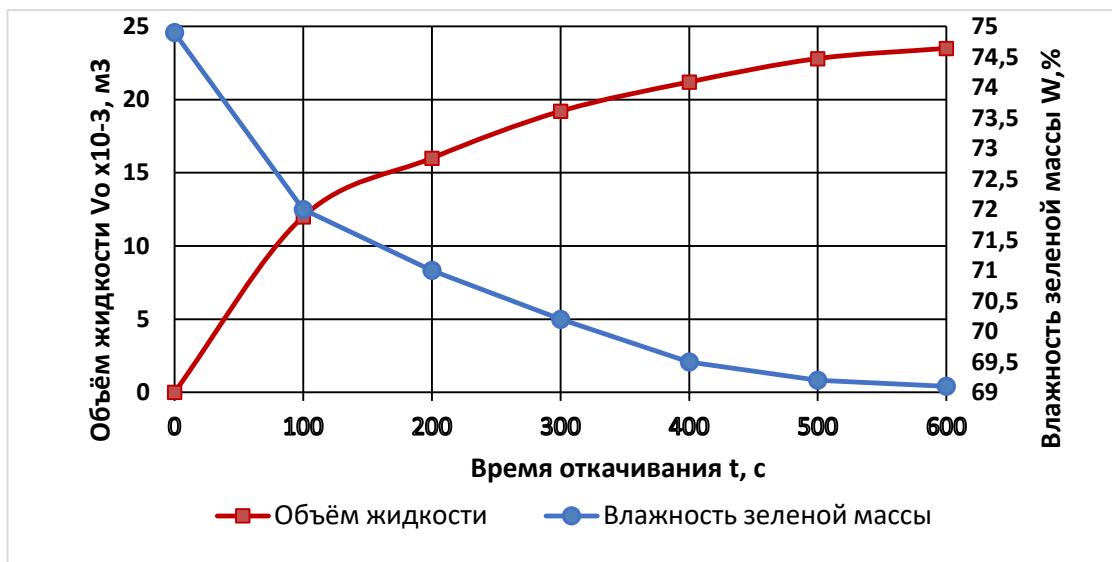


Рисунок 5.5 – Зависимости изменения объёма выведенной жидкости и влажности от времени осушения t

С увеличением времени прокачивания воздуха через растительную массу кукурузы, размещенной в мягком контейнере количество выведенной жидкости увеличивается. После 6 минут процесса интенсивность извлечения жидкости падает и после 8 минут практически прекращается. При этом влажность растительной массы изменяется с 74,9 до 69,1%. Общий объем выведенной из заполненной в контейнер измельченной растительной массы составляет $23,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Энергоёмкость процесса осушения по выведенной свободной жидкости составляет $2,8 - 3,9 \frac{\text{Вт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}}$ до достижения влажности около 70%, необходимой при приготовлении силоса в мягких контейнерах.

Зависимость времени вакуумирования в зависимости от действующего вакуума, полученная в ходе производственного эксперимента представлена рисунке 5.6.

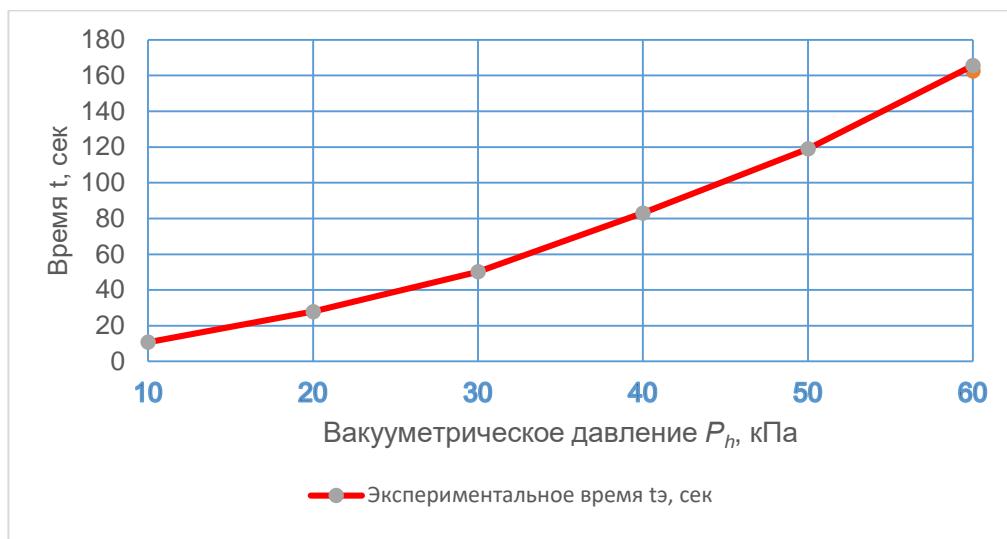


Рисунок 5.6 – Зависимость времени вакуумирования t от действующего вакуума p_h

Как следует из графика продолжительность вакуумирования контейнера с заложенной измельченной массой кукурузы при рекомендуемом вакууме 50-55 кПа составляет 120-140 секунд. При этом энергоёмкость процесса вакуумирования контейнера по установленной мощности установки АИД-1 составляет 0,045-0,053 $\frac{\text{Вт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}}$ в расчете на массу приготовленного силоса в мягком контейнере.

После вакуумирования контейнеров они закладывались в ангар для хранения с созреванием силоса.

Характеристика силоса после двух месяцев хранения в мягких вакуумированных контейнерах с устройством для отвода жидкости:

- класс силоса	1 класс;
- массовая доля сухого вещества, %	34,61
- массовая доля в пересчете на сухое вещество:	
сырого протеина, %	8,33
сырой клетчатки, %	30,36
сырой золы, %	1,58
pH, единицы pH	3,7

Качество силоса подтверждено запротоколированными данными лабораторией по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства федерального государственного бюджетного учреждения «Станция агрохимической службы «Рязанская» (приложение М, Н).

При анализе полученных результатов качество силоса, приготовленного в мягких контейнерах, сравнивалось с силосом, хранящегося в траншее хозяйства и заготовленного по типовой технологии.

Основные показатели полученного кукурузного силоса в мягких контейнерах с устройством для отвода жидкости и в силосной траншее хозяйства приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Основные показатели полученного кукурузного силоса

№ п/п	Наименование показателей, размерность	НД, регламентирующие методики проведения испытаний	Результаты испытаний силоса, полученного по разработанному технологическому процессу, протокол № 30/17	Результат испытаний силоса, полученного в траншее ООО «Разбердеевское», протокол №31/17
1	2	3	4	5
1	сухое вещество, %	ГОСТ 31640-2012	35,49	34,61
2	Показатель кислотности, рН	ГОСТ 55986-2014	3,9	3,7
3	сырой протеин, %	ГОСТ 13496.4-93	8,09	8,33
4	Сырая клетчатка, %	ГОСТ 52839-2007	31,05	30,36
5	сырая зола, %	ГОСТ 26226-95	1,62	1,58
6	масляная кислота, абс. %	ГОСТ 23637-90	0,05	0,05
7	молочная кислота, относ. %	ГОСТ 23637-90	79	79
8	каротин, мг/кг	ГОСТ 13496.17-95	3	3
9	нитраты, мг/кг	ГОСТ 13496.19-93	250	287
10	обменная энергия, МДж	МУ по оценке качества и питательности кормов, ЦИНАО, 1993 г.	3,58	3,5
11	кормовые единицы, кг		0,32	0,32
12	перевариваемый протеин, г		13,7	14,2
13	Класс качества силоса		1 класс	1 класс

В результате лабораторных исследований получен в мягких контейнерах кукурузный силос 1 класса. При анализе данных таблицы 5.1, необходимо учитывать, что повышенные численные показатели силоса, приготовленного в траншее хозяйства, связаны с добавкой в силос зерновой дробины. Кукурузный силос, приготовленный в мягких контейнерах, по своим качественным показателям практически не отличается от силоса, приготовленного в силосной траншее хозяйства. Особенно важно отметить, что при примерном равенстве кормовых

единиц в 1 кг корма, корм в контейнере имеет до 79% молочной кислоты и малую долю масляной кислоты 0,05%. Большее количество каротина, фосфора, кальция, т.е. минимальные потери питательной ценности. Активная кислотность pH 3,7, а в траншее силос выходит за рамки допустимого для 1 класса и имеет pH 3,9. Корм из мягких контейнеров с устройством для отвода жидкости коровами был съеден полностью без отходов. В то же время силос, хранящийся в силосных траншеях хозяйства, был съеден животными не полностью, а с отходом в кормушках в количестве до 3,6% от общей дневной нормы.

Экспериментально установлено необходимое и достаточное для уплотнения силосной массы вакуумметрическое давление, которое составляет 55 кПа. При этом силосная масса уплотняется до плотности 770...800 кг/м³, что соответствует нормативных требований к уплотнению силосной массы из кукурузы восковой спелости с початками в траншеях – 750...800 кг/м³. Дальнейшее уплотнение силосной массы не требуется. Полученная в результате исследований, величина вакуумметрического давления, равная 55 кПа, может быть рекомендована для силосования кукурузы в стадии восковой спелости.

Производственные испытания мягких вакуумированных контейнеров с устройством для отвода жидкости показали, что в блоке объемом 1м³ и размерами 1.0 x 1.0 x 1.0м, возможно заготовить при одной исходной закладки в контейнер кукурузное сырье влажностью 60-70 % силос 1 класса массой 0,4 т, с учетом отвода 13,6 литров свободной жидкости. Важнейшим результатом, полученным при производственных испытаниях разработанной технологии приготовления с последующим хранением силоса в мягких вакуумированных контейнерах, является отсутствие потерь силоса при приготовлении, хранении. В силосных траншеях хозяйства они достигают в среднем 14 % [76].

5.3 Внедрение в производство и экономическая эффективность

Получен акт на внедрение «Технологического процесса приготовления и хранения силоса в мягких контейнерах с устройством для отвода жидкости» в ООО «Разбердеевское», подписанный главным агрономом, главным инженером и

утвержденный генеральным директором ООО «Разбердеевское» (Приложение П). Где отмечено, что технологический процесс приготовления с последующим хранением силоса в мягких контейнерах, показал высокую эффективность и его необходимо рекомендовать к широкому внедрению в кормопроизводство.

5.3.1 Экономическая эффективность результатов внедрения

Расчет экономической эффективности произведен в соответствии с методиками, изложенными в работах [44, 50, 77, 79] и с учетом сравнительного анализа двух технологических процессов приготовления и хранения силоса:

- используемой в хозяйстве в настоящее время технологии силосования в наземных бетонных траншеях;
- предлагаемой технологии приготовления и хранения корма в мягких контейнерах с хранением в хозяйственных ангарах.

Проведена работа по оценке необходимых материальных средств для осуществления, приведенных выше технологий. Качество полученного корма оценено в лаборатории.

Расчеты производились с учетом следующих условий:

- одному животному необходимо 26 кг силоса в день;
- продолжительность кормления силосом – 210 дней в году;
- стоимость силоса определена из расчета средних значений продаж по региону и составляет 4000 рублей за тонну силоса 1 класса, 2500 рублей за тонну силоса 2 класса (данные по результатам закупочных цен на силос в РФ в 2024году).

5.3.2 Экономическая эффективность приготовления силосованного корма в железобетонных наземных траншеях

Для определения стоимости строительства был взят типовой проект наземной траншеи для хранения силоса 811-37 (1983г.) вместимостью 750м^3 . Траншея выполнена из сборных железобетонных плоских плит и трапецидальных контрфорсов. Ее размеры составляют 9.0x39.0м, глубина – 2.67м.

Сметная стоимость исчислена в нормах и ценах, введенных с 1 января 2001г.

Были использованы сборники ТЕР-2001 от 10 октября 2003г., ТЕР Рязанской области, введенные в действие с 15 ноября 2018г.

Общая стоимость строительства (ОСС) наземной бетонной траншеи определяется по формуле

$$\text{ОСС} = \text{СМР} + \text{СД} + \text{СП}, \quad (5.1)$$

где СМР – стоимость строительно-монтажных работ; СД – стоимость устройства дренажа; СП - стоимость проектных работ.

Согласно проекту, общая сметная стоимость строительно-монтажных работ (СМР) на расчетный показатель составляет 15.13 тыс. руб. – в ценах 1983г.

С учетом перехода на уровень цен 2024г. получим:

$$\text{СМР} = A \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3, \quad (5.2)$$

где А – стоимость строительно-монтажных работ на расчетный показатель, тыс. руб.; $k_1=1.25$ – коэффициент на привязку объекта; $k_2=1.59$ - коэффициент перехода к ценам 1991 г.; $k_3 = 229.26$ – коэффициент перехода к ценам 2025 г.

Подставим значения в формулу 5.2:

$$\text{СМР} = 15.13 \cdot 1.25 \cdot 1.59 \cdot 229.26 = 6894,07 \text{ тыс.руб.}$$

С учетом НДС (20%) стоимость СМР составит:

$$\text{СМР}_{\text{нДС}} = 6894,07 \cdot 1.2 = \mathbf{8272,88} \text{ тыс. руб.}$$

Для удаления излишков сока из траншеи требуется устройство дренажа.

Стоимость устройства дренажа (СД) для отвода сока составит

$$\text{СД} = B \cdot l_1, \quad (5.3)$$

где Б – стоимость прокладки дренажной трубы диаметром 110 мм с обмоткой из геотекстиля с устройством слоя гравийного щебня толщиной 0,3 м для глубины до 0,4 м, Б= 3000 рублей за погонный метр; l_1 – длина дренажной трубы 24.0м, с заглублением на - 0,4м.

$$\text{СД} = 24.0 \cdot 3000 \text{ руб} = 72000 \text{ руб.} = \mathbf{72.00} \text{ тыс. руб.}$$

Стоимость проектных работ (СП) составит 10% от стоимости строительства

$$\text{СП} = (\text{СМР} + \text{СД}) \cdot 0.1, \quad (5.4)$$

$$\text{СП} = (8272.88 + 72.00) \cdot 0.1 = \mathbf{834.288} \text{ тыс. руб.}$$

Получим общую стоимость строительства наземной траншеи:

$$\text{ОCC} = 8272.88 + 72.00 + 834.288 = \mathbf{9179,168 \text{ тыс. руб.}}$$

Потери силоса при использовании существующей технологии в хозяйстве составляют:

- при заготовке и хранении силоса составляют примерно 22%, которые складываются из: 7% - потери на приготовление и хранение силоса в траншеях, 5% - на угар силосной массы, 7% - потери от замокания за счет осадков между стеной и кормом, потерю от вторичной ферментации; 3% - от потерь с соком, выделяющимся при силосовании [8, 18, 26, 36].

В траншее объемом 750 м³ при плотности силосной массы 600 кг/м³ (уплотнение колесным трактором) можно заготовить 262500 кг.

С учетом потерь в размере 22% дополнительный объем заготовки силосной массы составит $262500 \cdot 0.22 = 57750 \text{ кг} = 57.750 \text{т}$.

С учетом того, что при скармливании силоса животным потери силоса, от недоеденного корма, оставленного в кормушках, составляют 12%, получим $262500 \cdot 0.12 = 31500 \text{ кг} = 31.500 \text{ т}$.

Таким образом, количество приготовленного и сохраненного силоса в траншее (Q_1) составит

$$Q_1 = 262500 - 57750 - 31500 = 173250 \text{ кг} = \mathbf{173.250 \text{т}}$$

Таблица 5.3 - Технико-экономические показатели типового наземного траншейного хранилища (базовый ТП № 811-37, 1983г)

Тип траншей	Ширина, м	Длина, м	Высота, м	Емкость		Стоимость, тыс. руб.	
				м ³	т, (указана с учетом потерь)	общая	на 1 т силосной массы
Наземные, проездные, стены из сборных железобетонных плоских плит и трапециoidalных контрфорсов	9	39	2.67	750	173.250	9179,168	52.982

Следовательно, стоимость (C_1) приготовления и хранения одной тонны силоса в траншее, без учета расходов на погрузо - разгрузочные и транспортные работы, а также затрат на пленку укрытия траншеи и армированную сетку защиты от грызунов составит

$$C_1 = OCC/Q_1, \quad (5.5)$$

$$C_1 = 9179.168 \text{ тыс.руб} \div 173.250 \text{ т} = \mathbf{52.982} \text{ тыс. руб./т.}$$

Современные требования к наземным силосным траншеям должны предусматривать степень их заполнения в течение 3 ÷ 4 дней и использование при среднесуточных температурах выше + 8°C. Глубина ежедневно использованного силоса должна быть не менее 0,6 м в сутки по всему сечению хранилища.

Выполненные исследования показали, что использование проездных наземных траншей для хранения силоса связано со значительными капиталовложениями в начальный период.

5.3.3 Экономическая эффективность предлагаемого варианта приготовления силосованного корма в мягких контейнерах

При размерах контейнера 1,0 x 1,0 x 1,0(h) м объем закладываемой зеленой массы составит 1,17 м³. При плотности кукурузного силоса 800 кг/м³ его масса в контейнере составляет 400 кг, но с учетом коэффициента заполнения 0.90 его масса составит $400 \cdot 0.90 = 360$ кг.

Количество выделяемого сока при силосовании данного объема зеленой массы, находящейся в стадии восковой спелости зерна и имеющей влажность при силосовании 70% составляет 13.06 литров. Таким образом, в мягком контейнере с устройством для отвода жидкости возможно приготовить и сохранить силос в количестве

$$Q_2 = 360.0 - 13.06 = 346.94 \text{ кг} = \mathbf{0.34394} \text{ т.}$$

Сметная стоимость (ССК) одного контейнера с учетом расходов на производство, представлена в таблице 5.4

Таблица 5.4 - Сметная стоимость (ССК) одного контейнера с учетом расходов на производство

1	Пленка для изготовления мягкого вакуумированного контейнера объемом 1,73 м ³ и размерами 1.0 x 1.0 x 1.0 м.	6 п.м.	6·63,3=379,8
2	Стоимость скотча для склеивания пленки мягкого блока (толщина 40 мкм, 50x50 мм)	1 шт	156
3	Обратный клапан для отвода воздуха и силосного сока из мягкого блока	1 шт	170
4	Коллектор для отвода жидкости: - труба длиной 4·0,9=3,6 м - соединительные уголки	1 шт 4 шт	3,6·48,5=174,6 4·6,0=24,0
5	Фильтрующая сетка 1x1 м	1 шт	310
6	Мешок «Биг-бэг» с 4 стропами	1 шт	1000
Итого сметная стоимость контейнера составит:			ССК= 2214,4руб.

Теперь необходимо определить необходимый объем склада для складирования контейнеров и определить его стоимость. Для более точного определения стоимости одной тонны силоса в контейнере возьмем в расчет объем корма, полученного траншее – $Q_1 = 173.250\text{т}$.

С учетом данных расхода силоса на одну корову в день и количества дней в году, используемых для кормления силосованными кормами в условиях зимнего рациона получим, что одному животному в зимний период необходимо в среднем 26 кг силосованного корма: 26 кг x 210 дней=5460 килограмм силоса.

С учетом того, что в предлагаемой методике силосования в контейнерах, потерь нет, подсчитываем необходимое количество мягких контейнеров (N):

$$N=Q_1/Q_2, \quad (5.6)$$

Подставляем значения в формулу:

$$N = 173250 \div 346,94 = 499 \text{ контейнера.}$$

С учетом количества корма необходимого одной корове, получим поголовье, которое будем вскармливать в фермерском хозяйстве.

$$173250 \div 5460 = 32 \text{ коровы.}$$

Общая сметная стоимость технологии силосования в вакуумированных контейнерах (ОСС) определяется по формуле

$$ОСС = СК + СХ + ОК, \quad (5.7)$$

где СК – стоимость устройства контейнеров; СХ – сметная стоимость хранилища (склада); ОК - стоимость опрокидывателя.

Стоимость контейнеров (СК) в расчете на 40 коров в зимний стойловый период составит:

$$СК = n \cdot ССК, \quad (5.8)$$

где n – необходимое количество контейнеров; ССК – сметная стоимость одного контейнера.

$$СК = 499 \cdot 2214,4 = 1\ 104\ 985,6 \text{ руб.} = \mathbf{1\ 104,985 \text{ тыс. руб.}}$$

Для определения стоимости хранилища (СХ) был взят типовой проект склада для хранения кормов (т.п. 813-37, 1992г.) вместимостью 130.0 т.

Сметная стоимость исчислена в нормах и ценах, введенных с 1 января 2001г. Были использованы сборники ТЕР-2001 от 10 октября 2003г., ТЕР Рязанской области, введенные в действие с 2020 г.

Общая сметная стоимость хранилища (склада) (ОСХ) определяется по формуле:

$$ОСХ = СМР + СП, \quad (5.9)$$

где СМР – стоимость строительно-монтажных работ; СП - стоимость проектных работ.

С учетом перехода на уровень цен с 1993 на 2024 г. получим:

$$СМР = В \cdot к_2,$$

где B – стоимость строительно-монтажных работ на расчетный показатель, тыс.руб; k_2 – коэффициент перехода к ценам 2025 г;

$$СМР = 20.44 \cdot 229.26 = 4686,07 \text{ тыс. руб.}$$

С учетом НДС стоимость СМР составит

$$СМР = 4686,07 \cdot 1,2 = \mathbf{5623,284 \text{ тыс. руб.}}$$

Стоимость проектных работ составит 10% от стоимости строительства

$$СП = СМР \cdot 0,1 = 5623284 \cdot 0,1 = 562328,4 \text{ руб.} = \mathbf{562,328 \text{ тыс. руб.}}$$

Получим окончательную стоимость строительно-монтажных работ по устройству хранилища (склада):

$$ОСХ = 5623,284 + 562,328 = \mathbf{6185,612 \text{ тыс.руб.}}$$

Таким образом, общая сметная стоимость затрат на приготовление силоса для откорма 32 коров фермерского хозяйства с использованием вакуумированных контейнеров составит:

$$\text{ОСС} = 1\ 104\ 985.6 + 6\ 185\ 612 = 7\ 290\ 597.6 \text{ руб} = \mathbf{7\ 290.598} \text{ тыс. руб.}$$

Определим стоимость одной тонны силоса, приготовленного в контейнере

$$C_2 = 7\ 290\ 597.6 \div 173.250 = 42081,37 \text{ руб/т} = \mathbf{42.081} \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, разница в общей сметной стоимости на производство вакуумированных контейнеров со складским помещением и наземных траншей составит: $9\ 179\ 168 \text{ руб.} - 7\ 290\ 597.6 \text{ руб.} = 1\ 888\ 570.4 \text{ руб.}$

Разница в стоимости 1 тонны силоса, приготовленного в вакуумированном контейнере и силоса, приготовленного в наземной траншее, составит:

$$52.982 \text{ тыс.руб./т.} - 40.081 \text{ тыс.руб/т.} = 12.901 \text{ тыс.руб/т.}$$

Срок окупаемости РР определяется числом лет, в течение которых сумма доходов покрывает сумму инвестиций. При равных периодических доходах он определяется делением суммы инвестиций на сумму ежегодного чистого дохода:

$$PP = \frac{Inv}{R}, \quad (5.11)$$

где I_{nv} – размер инвестиций; R – величина прибыли.

Рассчитаем срок окупаемости данного проекта:

$$PP = 7\ 290\ 597.6 \div 1\ 888\ 570.4 = 3,86.$$

Согласно расчетам, рассматриваемый проект окупается через 3,86 года.

Экономический эффект, получаемый от продажи силоса хозяйством:

- при стоимости силоса 1 класса 4000руб. за тонну стоимость продажи составит $173.250 \cdot 4000 = 693000 \text{ руб.}$

- при стоимости силоса 3 класса 2500руб. за тонну стоимость продажи составит $173.250 \cdot 2500 = 433125 \text{ руб.}$

Следовательно, получим экономический эффект при использовании силосования в контейнерах в размере:

$$\mathcal{E}\mathcal{E} = 693000 - 433125 = 259875 \text{ руб.}$$

При выполнении расчетов не учитывался дополнительный эффект от повышения продуктивности животных в результате увеличения жирности молока за счет использования силоса первого класса, приготовленного в мягком контейнере. В таблице 5.5 приведены Экономические показатели технологий заготовки силоса.

Таблица 5.5 - Экономические показатели технологий заготовки силоса

Технологические показатели	Силос из кукурузы	
	Наземная траншея для хранения силоса 811-37 вместимостью 750м ³	Вакуумированные контейнеры вместимостью 1.0м ³
Объемы заготовки, т	173.250	173.250
Плотность зеленой массы	750кг/м ³	800кг/м ³
Общая себестоимость технологии заготовки, руб.	9 179 168.0	7 290 597.6 (499 контейнеров для объема 173.250т.)
Потери силоса при хранении	22%	-
Потери сухого вещества, %	до 20%	-
Себестоимость корма, руб./т	52.982	40.081

В таблице 5.6 приведены показатели качества кукурузного силоса полученного при силосовании в траншеях и в мягких контейнерах с устройством для отвода жидкости.

Таблица 5.6 - Показатели качества кукурузного силоса полученного в траншеях, в мягких контейнерах с устройством для отвода жидкости

Тип хранилища	рН	Сухое вещество, %	Питательность к.е/перев.протеин	Соотношение кислот, %		
				молочная	уксусная	масляная
В траншеях	3,7	34,61	0.32/13,4	79	-	0,05
В контейнерах	3,9	35,49	0.32/13.7	79	-	0,05

Таким образом, определено, что приготовление и хранение силоса в траншеях целесообразно в средних хозяйствах при наличии в них не менее 1000 голов крупного рогатого скота с ежедневным расходом 50.0 ÷ 70.0 тонн. В небольших фермерских хозяйствах, с суточным расходом корма до 1 тонны, целесообразнее использовать мягкие контейнера с устройством для отвода жидкости.

Выводы по пятой главе

1. Проверка в производственных условиях усовершенствованного процесса приготовления силоса из переувлажненного сырья в мягких вакуумированных контейнерах с последующим хранением в них показали его работоспособность и эффективность.

2. По результатам производственного опыта по приготовлению в мягком контейнере силоса из переувлажненного сырья кукурузы восковой спелости следует, что при её осушении путем прокачивания воздуха после 6 минут процесс извлечения жидкости падает и после 8 минут практически прекращается. При этом влажность растительной массы изменяется с 74,9 до 69,1%. Общий объём выведенной из заполненной в контейнер объемом $1,0 \text{ м}^3$ измельченного растительного сырья кукурузы массой 400 кг составляет $23,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Энергоёмкость процесса осушения по выведенной свободной жидкости составляет $2,8-3,9 \frac{\text{Вт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}}$.

Продолжительность последующего вакуумирования контейнера с осушенней измельченной массой кукурузы при рекомендуемом вакууме 50-55 кПа составляет 120-140 секунд. При этом энергоёмкость процесса вакуумирования контейнера по установленной мощности вакуумной установки АИД-1 составляет $0,045-0,053 \frac{\text{Вт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}}$ в расчете на массу приготовленного силоса.

В результате исследований установлено, что полученный и хранившийся в мягких контейнерах кукурузный силос соответствует 1 классу.

3. По результатам производственного опыта по поедаемости кормовых компонентов рациона на ферме при фронте кормления на одну корову 0,5 метра, несъеденные остатки корма на одно животное составляют в кг/% от рациона: сена и сенажа 2,4/5,1; кукурузного силоса 0,213/0,4 или от количества силоса в рационе 3,74%. Основная часть несъеденного силоса составляют стержни початков, целое зерно кукурузы и толстые стебли.

4. Расчет экономической эффективности применения технологического процесса приготовления и хранения силоса в мягких контейнерах с устройством для отвода жидкости показал, что по сравнению с существующей технологией приготовления силоса в наземных траншеях затраты на производство 1 т. силоса уменьшились на 259875 рублей, срок окупаемости составит – 3.86 года.

Общие выводы и предложения производству

1. На основании анализа технологий приготовления силоса разработан способ приготовления корма из переувлажненного сырья в мягких контейнерах, который предусматривает предварительное осушение с отводом сока и свободной влаги из закладываемой массы с последующей ее герметизацией и уплотнением.

Мягкий контейнер должен быть выполнен из воздухонепроницаемого материала. В верхней части снабжен загрузочной горловиной, а в нижней-перфорированной перегородкой за которой установлен трубчатый коллектор, соединённый через герметичную вставку, в боковой стенке контейнера, с клапаном, установленном снаружи для подключения к вакуумной системе.

2. Определены физико-механические свойства и размерные характеристики измельченной кукурузы с початками молочно-восковой и восковой спелости при влажности 60...73% для приготовления силоса в мягких контейнерах.

При изменении частиц гранулометрического состава измельченной кукурузной массы от 7,5 до 22,5 мм её насыпная плотность уменьшается с 456 до 376 кг/м³, при этом пористость и коэффициент фильтрации увеличиваются соответственно с 45 до 61% и с $1,24 \cdot 10^{-4}$ до $1,593 \cdot 10^{-4}$ м/с.

При исходной влажности кукурузной массы в пределах 70%, длина резки стеблей должна быть 10...15 мм, при этом насыпная плотность растительной массы составит около 400 кг/м³, пористость 49...53%, коэффициент фильтрации $1,18 \cdot 10^{-4} \dots 1,68 \cdot 10^{-4}$ м/с.

3. Установлено, что кукуруза в период осадков (роса, дождь) способна накапливать на стеблях и листьях дополнительную свободную влагу. При средней длине стебля с листьями 2,05 м и массе 0,71 кг максимальное количество дополнительной влаги составляет 0,10 кг на один стебель, или до 0,142 кг воды на 1 кг массы кукурузы.

4. Теоретически установлено, а экспериментально подтверждено, что время осушения путем откачивания жидкости с воздухом из силосуемого сырья в мягком контейнере зависит от начального объема жидкости, объема конечного, определяющего оптимальную влажность сырья, площадей контейнера и

фильтрации и физико-механических свойств сырья. Для достижения влажности силосуемой массы 70%, при значении вакуума 50 кПа максимальная длительность осушения составляет 600 секунд.

5. Продолжительность откачивания воздуха при вакуумировании мягкого контейнера с кукурузной массой зависит от её объёма, безразмерного силового фактора, исходной и конечной плотности и производительности вакуумного насоса. Для достижения необходимой плотности силосуемого сырья 750...800 кг/м³ в контейнере объёмом 1,0 м³ при диаметре сечения коллектора и трубопровода 0,02м, величине вакуума 50...60 кПа и производительности насоса 0,003-0,0042 м³/с продолжительность вакуумирования составит 120-160 секунд.

6. Производственная проверка усовершенствованного процесса приготовления силоса из переувлажненного сырья в мягких вакуумированных контейнерах с последующим хранением в них показала его работоспособность и эффективность. Установлено, что приготовленный и хранившийся в мягких контейнерах силос из кукурузы восковой спелости соответствует 1 классу качества.

При приготовлении силоса из переувлажненного сырья кукурузы восковой спелости в мягких контейнерах объёмом 1,0 м³ массой 400 кг с исходной влажностью 74,9 % продолжительность удаления излишней жидкости до достижения влажности 69,1% составляет 480-540 с, а её объём - 23,5·10⁻³ м³.

Продолжительность последующего вакуумирования контейнера с осущеной измельченной массой кукурузы при вакууме 50-55 кПа составляет 120-140 секунд. При этом удельная энергоёмкость процесса вакуумирования контейнера составляет 0,045-0,053 $\frac{\text{Вт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}}$.

Экономический эффект от внедрения усовершенствованного технологического процесса приготовления и хранения силоса в мягких контейнерах составит 259875 руб/т, срок окупаемости оборудования составит – 3.86 года.

Библиографический список

1. Агропромышленный комплекс России: состояние, место в АПК мира: справочно-информационное пособие / Г. А. Романенко, А. И. Тютюнников, В. Г. Поздняков, А. М. Шутьков. – 1999. – 540 с.
2. Аграрная реформа в России. Документы и материалы. – М.: Республика, 1992. – 80 с.
3. Авраменко, П.С. Производство силосованных кормов / П. С. Авраменко, Л. М. Постовалова. – Минск: Урожай, 1984. – 110 с.
4. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий/Ю.П.Адлер, Е.В.Маркова, Ю.В.Грановский. -М.: Наука, 1970. -280 с.
5. Антоненко, Н.А. Обоснование технологии и параметров вакуумированного контейнера для приготовления и хранения силоса: автореф. дис. ... - канд. техн. наук : 05.20.01 / Антоненко Надежда Александровна; [Место защиты Мичурин. гос. аграр. ун-т], Мичуринск, 2013. – 25 с.
6. Безносюк Р.В. Влияние параметров зеленой массы на приготовление силоса в мягких вакуумированных контейнерах / Р.В. Безносюк, И.Ю. Богданчиков, М.Ю. Костенко, Я.Л. Ревич, Г.К. Ремболович // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2016. – № 4(32). – С. 69-72. EDN: XWKZXV
7. Боронтова М.А. Результаты определения количества воды на стеблях и листьях кукурузы после дождя / Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2019. – № 1 (41). – С. 142-147
8. Боронтова М.А. Усовершенствованная технология приготовления силоса / В сборнике: ПРИНЦИПЫ И ТЕХНОЛОГИИ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА В СЕЛЬСКОМ, ЛЕСНОМ И РЫБНОМ ХОЗЯЙСТВЕ Материалы 68-ой Международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

"Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". 2017.

9. Боярский, Л. Г. Технология кормов и полноценное кормление сельскохозяйственных животных / Л. Г. Боярский // Серия: Ветеринария и животноводство. – Ростов н/Д: Феникс, 2001. – 416 с.
10. Бохан, Н. И. Планирование эксперимента в исследованиях по механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства: учебное пособие / Н. И. Бохан, А. М. Дмитриев, И. С. Нагорский. – Горки, 1986. – 79 с.
11. Гавриленко, А.В. Определение потерь давления в установке пневматического транспорта материалов / А.В. Гавриленко // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 4(99). – С. 23-27. – EDN TSIKUT
12. Герасимов Е.Ю. Силосование кукурузы /Герасимов Е.Ю., Иванова О.Н., Кучин Н.Н./ Карельский научный журнал. 2014. № 4 (9). С. 165-169.
13. Глобин А.Н. Исследования роторного шнекового дозатора кормов / Глобин А.Н., Глазков Д.Ю., Липкович И.Э., Егорова И.В., Черемисин Ю.М. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2025. № 205. С. 217-236.
14. Глобин А.Н. Теоретические исследования процесса смешивания кормов центробежным смесителем / Глобин А.Н., Глазков Д.Ю., Липкович И.Э., Егорова И.В., Курганский А.А. // АгроЭкоИнфо. 2024. № 5 (65).
15. Глобин А.Н. Моделирование технологической линии количественного баланса переработки зерна с учётом факторов, влияющих на возникновение потерь при сушке, очистке и переработке / Глечикова Н.А., Глобин А.Н., Серёгин А.А. // АгроЭкоИнфо. 2024. № 1 (61).
16. Глобин А.Н. Теоретические и практические основы применения грузоподъемных приспособлений при монтаже оборудования на животноводческих фермах / Липкович И.Э., Глобин А.Н., Егорова И.В., Петренко Н.В., Портаков А.Б. // АгроЭкоИнфо. 2024. № 1 (61).

17. Глобин А.Н. Результаты исследований бункера-питателя грубых и сочных кормов пзм-1,5 с модернизированными рабочими органами / Глобин А.Н., Краснов И.Н. // Вестник аграрной науки Дона. 2021. № 3 (55). С. 63-68.
18. Горячkin, В. П. Сочинения: в 3 т. / В. П. Горячkin. – М.: Колос, 1963.
19. ГОСТ Р 55986-2022 Силос и силаж. Общие технические условия.
20. ГОСТ 29305-92 (ИСО 6540-80) Кукуруза. Метод определения влажности (измельченных и целых зерен).
21. ГОСТ 10-202-97 Силос из зеленых растений. Технические условия.
22. ГОСТ 20915-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний.
23. ГОСТ 28545-90 (ИСО 5707— 83). Установки доильные. Конструкция и техническая характеристика. – М. Издательство стандартов, 1990 – С. 27.
24. Демихов К.Е. Вакуумная техника: Справочник / К.Е. Демихов, Ю.В. Панфилов, Н.К. Никулин [и др.]. – М.: Научно-техническое издательство "Машиностроение", 2009. – 592 с. ISBN: 978-5-94275-436-5. EDN: RAYDKF
25. Дринча В.М. исследование сыпучести зерновых материалов в условиях стесненности / Аммосов И.Н., Ямпилов С.С., Дондоков Ю.Ж., Дринча В.М. // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2024. № 3 (76). С. 145-155.
26. Дринча В.М. Концептуальные вопросы сохранения качества зерна при послеуборочной обработке и хранении / Дондоков Ю.Ж., Аммосов И.Н., Дринча В.М., Друзьянова В.П., Кондакова Н.И. // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Т. 18. № 4. С. 68-79.
27. Дринча В.М. Проблемы и перспективы развития технологий аэрирования зерна / Дринча В.М., Дондоков Ю.Ж., Аммосов И.Н., Александров Н.П., Машiev Ч.Г. // Вестник ВСГУТУ. 2024. № 3 (94). С. 30-40.
28. Дринча В.М. Обоснование параметров пневмосепаратора с горизонтальным воздушным каналом / Дринча В.М., Филатов А.С. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021. Т. 14. № 1 (68). С. 18-26

29. Дринча В.М. Seed treatment on small farms / Климов С., Горохов К.,
Дондоков Ю., Дринча В. // Kormoproizvodstvo. 2020. № 1(2020).
30. Заготовка силоса в пленочных рукавах [Электронный ресурс]. – Режим
доступа http://stragro.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=15&Itemid=32, 2011.
31. Зафрен С. Я. Новая технология силосования кормов / С. Я. Зафрен //
Технология консервирования кормов. – М.: Колос, 1972. – С. 71-80.
32. Завражнов А.И. Механизация заготовления и хранения кормов/А.И.
Завражнов, Д.И. Николаев. – М.: Агропромиздат, 1990. – С.335.
33. Зипер А.Ф. Растительные корма. Производство и применение / М.: ACT,
Донецк: Сталкер, 2005. — 219 с.
34. Зубрилин А. А. О силосе и способах силосования кукурузы и других
культур / А. А. Зубрилин. – М., 1962. – 93 с.
35. Иванкина О.П. Теория планирования эксперимента: учебное пособие/
О.П. Иванкина – Рязань: Рязанский институт (филиал) Московского
политехнического университета, 2019. – 68 с.
36. Иванов Д.В. Классификация факторов влияющих на качественные
показатели пакетированных кормов, хранящихся в регулируемой газовой среде /
Д.В. Иванов, О.Г. Ангилеев // Актуальные проблемы научно-технического
прогресса в АПК: Сб. мат. международной науч.-практич. конф. /Под общ. ред.
Е.М. Зубрилиной.- ч.1.-Ставрополь, 2006.- С. 146-148.
37. Иванов Д.В. Обоснование исходных качественных показателей сырья для
приготовления кормов в регулируемой газовой среде / Д.В. Иванов // Актуальные
проблемы науч.-технич. прогресса в АПК: сб. науч. статей по мат. III
Международ.науч. практич. конф. X Международ. Агропром. выставки
«Агроуниверсал-2008». – Ставрополь: АГРУС, 2008. -224 с.
38. Иванов Д.В. Режимы и технические средства приготовления
силосованных культур в упаковках с пониженным давлением газовой среды.:
Дис....канд. техн. наук / Д.В.Иванов. – Ставрополь, 2010. – С.182.

39. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. Учебн. Изд. 2-е, перераб. и доп. М, Изд-во Моск. Ун-та 1978. 287 с.
40. Калашников, А. П. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справ. пособие / А. П. Калашникова, Н. И. Клейменов, В. В. Щеглов; под ред. А. П. Калашникова. –3-е изд., доп. – М., 2003. – 456 с.
41. Карпенко, В. Д. Уплотнение силосуемой массы тракторами / В. Д. Карпенко // Мех. и электр. соц. с/х-ва. – 1974.
42. Карташов, Л.П. Динамика эмульсий в сложных закрытых каналах технологического оборудования / Л. П. Карташов// Монография. – Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. – 223 с. ISBN: 978-5-7691-2337-5. EDN: YNRRNP
43. Кирсанов В.В. Механизация и технология животноводства / В. В. Кирсанов, Д. Н. Мурусидзе, В. Ф. Некрашевич, В. В. Шевцов, Р. Ф. Филонов // учебник.- М.: Инфра – М, 2013. - 585 с.
44. Коврига, В. Экономическая эффективность использования сенажных башен и траншей / В. Коврига, В. Гонгало // Кормопроизводство. – 1981. – № 7.- С.14 - 16.
45. Короткевич, А. В. Технологии и машины для заготовки кормов из трав и силосных культур / А. В. Короткевич. – Минск.: Ураджай, 1990.
46. Куроцапов, В. Н. Новейшая история применения AG BAG (АГ БАГ) / Н. В. Куроцапов // Сельскохозяйственные вести. – 2003. – №12. – С.12-13.
47. Кущев И.Е. Выделение клетчатого сока как критериев разрушения клеток стебельчатых культур / Кущев И.Е., Антоненко Н.А., Боронтова М.А. В сборнике: «ИННОВАЦИОННОЕ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА» Материалы 69-ой Международной научно-практической конференции «Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса». Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". 2018. С. 188-191

48. Лейбензон Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. М.-Л,ОГИЗ, Гостехиздат, М.,1947. 244 с.
49. Макарцев Н.Г. Кормление сельскохозяйственных животных / Учебник для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Калуга: Ноосфера, 2012. — 641 с.
50. Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г.Коба, Н.В. Брагинец, Д.Н. Мусуридзе, В.Ф. Некрашевич. – М.: Колос, 1999. – 528с.
51. Научные руководители школы селекционеров и технологов животноводства донского аграрного университета: исторический аспект / Федоров В.Х., Колосов Ю.А., Приступа В.Н., Семенченко С.В., Абонеев В.В. // Главный зоотехник. 2025. № 8 (265). С. 65-73.
52. Некрашевич В.Ф. Результаты изучения поедаемости рациона коровами в ООО "авангард" рязанского района рязанской области// Некрашевич В.Ф., Боронтова М.А., Антоненко Н.А. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2015. № 3 (27). С. 21-26.
53. Некрашевич В.Ф. О возможности заготовки силоса в дождливую погоду /Некрашевич В.Ф., Боронтова М.А., Зимняков В.М., Мамонов Р.А., Воробьев И.В./ Инновационная техника и технология. 2018. № 1 (14). С. 16-20.
54. Некрашевич В.Ф. Использование вакуума при уплотнении силосуемой массы в контейнерах из воздухонепроницаемой плёнки / В. Ф. Некрашевич, А. С. Попов, К. С. Афанасьева. – Вестник Ульяновской сельскохозяйственной академии. – 2017. №3 – с. 159 - 162
55. Некрашевич, В. Ф. Анализ конструкций и материалов траншейных силосохранилищ / В.Ф. Некрашевич, Я. Л. Ревич // Сб. науч. трудов преп. и аспирантов РГАТУ имени П.А. Костычева: мат. науч.-практ. конф.2012г. – Рязань: Издательство РГАТУ, 2012. – С.93.
56. Некрашевич В.Ф. Приготовление и хранение силоса в мягких вакуумированных контейнерах из воздухонепроницаемой плёнки. / Некрашевич В.Ф., Воробьёва И.В., Афанасьева К.С., Боронтова М.А., Белов А.Е. – Кормопроизводство. – 2017. №10 – с. 44-47.

57. Некрашевич В.Ф. Исследование уплотнения кормов в вакууме / В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов, Т.В. Торженова, И. В. Воробьева // Инновационная техника и технология. – 2022. – Т. 9, № 4. – С. 40-45. EDN: ANAGLH
58. Нормы технологического проектирования хранилищ силоса и сенажа: НТП АПК 1.10.11-001-00: Введ.2001-01-01/ Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – М.: Минсельхоз России, 2000.
59. Обоснование формы мягкого вакуумированного контейнера для приготовления и хранения силоса / Антоненко Н.А., Афанасьева К.С., Боронтова М.А. // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2016. – № 1 (2). – С. 127-130.
60. Обоснование конструктивных параметров вакуумного пресса / Должикова Н.Н., Лебедько Д.А., Краснов И.Н., Назаров И.В. // Вестник аграрной науки Дона. 2022. № 1 (57). С. 24-31.
61. Патент №129768 Российская Федерация, МПК A23K 3/02 (2006.01). Устройство для силосования кормов /Некрашевич В.Ф., Антоненко Н.А., Ревич Я.Л.; заяв. 14.01.13; опубл. 10.07.13. Бюл. №19. – 2с.:ил.
62. Патент №136951 Российская Федерация, МПК A01F 25/16; A23K 3/02. Устройство для блочно - вакуумного силосования кормов / Ревич Я.Л., Антоненко Н. А.; заявл.06.08.2013; опубл.27.01.14, Бюл. №3. – 2 с: ил.
63. Патент РФ № 2584026. Способ приготовления и хранения силосованного корма. / Авторы: В. Ф. Некрашевич, Н. А. Антоненко, Я. Л. Ревич, К. С. Некрашевич, патентообладатель В. Ф. Некрашевич. – Бюл. № 14, 2016.
64. Патент РФ № 183627. Контейнер из воздухонепроницаемой плёнки для силосования кормов. / Авторы: В. Ф. Некрашевич, М. А. Боронтова, М. Ж. Хазимов, патентообладатель М. А. Боронтова. – Бюл. № 28, 2018.
65. Патент РФ № 2683521. Способ приготовления и хранения силосованного корма. Патентообладатели В.Ф. Некрашевич, М.А. Боронтова. Патент на изобретение RU 2683521 C1, 28.03.2019. Заявка № 2017143278 от 11.12.2017.

66. Патент РФ № 193970. Контейнер для приготовления и хранения силосованного корма. Некрашевич В.Ф., Мамонов Р.А., Афанасьева К.С., Боронтова М.А., Хазимов М.Ж., Хазимов К.М., Сагындыкова Ж.Б. Патент на полезную модель RU 193970 U1, 21.11.2019. Заявка № 2019104123 от 14.02.2019
67. Пипко А.И. Конструирование и расчет вакуумных систем [Текст] / А.И. Пипко, В.Я. Плисковский, Е.А. Пенчко. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва: Энергия, 1979. - 504 с
68. Победнов Ю.А. Современные теории силосования кукурузы и трав // В сборнике: Многофункциональное адаптивное кормопроизводство Сборник научных трудов. Москва, 2015. С. 159-174.
69. Победнов Ю.А. Силосование и сенажирование кормов / Победнов Ю.А., Косолапов В.М., Бондарев В.А., Ахламов Ю.Д., Мамаев А.А., Клименко В.П., Отрошко С.А., Шевцов А.В. Рекомендации / Москва, 2012.
70. Подворок, Н. И. Руководство по кормлению коров: рекомендации / Н. И. Подворок. – Краснодар, 2006. – 29 с.
71. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. Изд. 2-е, Главн. Ред. Физ-мат лит-ры изд-ва «Наука», М., 1977, 664 с.
72. Продуктивность кукурузы в зависимости от технологии выращивания / Зеленская Г.М., Носырев С.А. // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (41). С. 17-22.
73. Продуктивность кукурузы на зерно в условиях ростовской области в зависимости от способов и сроков применения минеральных удобрений / Сенин А.В., Каменев Р.А., Турчин В.В., Каменева В.К. // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2023. № 4 (50). С. 70-75.
74. Производство силоса [Электронный курс]. - Режим доступа: <http://www.referat.ru>. Referats. Wiew / 777. Загл. с экрана.
75. Розанов, Л.Н. Вакуумная техника /Л.Н. Розанов. - М.: Высшая школа, 1982.-С. 207
76. Ревич Я.Л. Технологический процесс приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных блоках заглубленных силосных траншей: диссертация ...

кандидата технических наук: 05.20.01 / Ревич Яков Львович; [Место защиты: Рязанский государственный агротехнологический университет имени профессора П.А.Костычева]. - Рязань, 2015

77. Рябов С.Н., Лобанов К.Н. Таблицы детализированных и суммарных норм кормления сельскохозяйственных животных и питательности кормов/ Мичуринск: Издательство Мичуринского государственного аграрного университета, 2008. – 119 с.

78. Сагындыкова Ж.Б. Определение эффективности технологии приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных контейнерах/ Сагындыкова Ж.Б., Бердімұрат А.Д., Хазимов К.М., Ниязбаев А.К., Хазимов М.Ж.//doi.org/ 10.51452/kazatu.2021.4(111).780.

79. Сельскохозяйственный и фермерский бизнес. Силос, характеристика, технология заготовки, показательные качества сырья для силоса [Электронный курс]. – Режим доступа: <http://www.Landwirt.ru/2009-12-12-16-06-35/230-2009-03-10-17-46-49>. Загл. с экрана.

80. Семенихин, А.М. Интенсификация процесса уплотнения силосуемой массы/ А.М. Семенихин, Е.Е. Загоруйко // Совершенствование технологических процессов, машин и аппаратов в инженерной сфере АПК. Сб. науч. тр./АЧГАА. - Зерноград.- 1996. - С.119.

81. Сельскохозяйственные здания и сооружения [Электронный курс]. – Здания для хранения и переработки продуктов. Силосные и сенажные сооружения. Режим доступа: <http://www.4i5.ru>. – Загл. с экрана

82. Силосные сооружения [Электронный ресурс]. – М.: Большая советская энциклопедия. – Режим доступа: dic.academic.ru

83. Современные технологии заготовки и повышения качества силоса в зависимости от различных факторов [Электронный курс]. – Режим доступа: <http://www.BiblioFond.ru>. Загл. с экрана.

84. Справочник по гидротехнике. – Государственное изд-во по строительству и архитектуре. – Москва, 1955 г. 827 с.

85. Способы повышения эффективности использования растительных остатков зерновых культур / Фетюхин И.В., Зубарь А.С. // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (44). С. 32-38.
86. Теоретический расчет величины повышения вакууметрической высоты всасывания гидромеханического оборудования при использовании струйных аппаратов на всасывающих трубопроводах / Николаенко Д.В., Васинёв М.С., Панов В.Б., Тарасьянц С.А. // Орошающее земледелие. 2025. № 1 (48). С. 60-65.
87. Ульянов В.М. Вакуумный контейнер с отводом жидкой фракции для приготовления и хранения силоса / Ульянов В.М., Боронта М.А. // В сборнике: ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА Материалы Национальной научно-практической конференции; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". 2019. С. 448-450.
88. Ульянов В.М. Теоретические исследования процесса удаления жидкости из зеленой массы кукурузы при силосовании/ Ульянов В.М., Боронтова М.А., Левин В.Д., Утолин В.В. // Вестник аграрной науки Дона. 2024. Т. 17. № 2 (66). С. 22-31.
89. Ульянов, В. М. Исследование уплотнения зеленой массы при силосовании в контейнерах / В. М. Ульянов, В. В. Утолин, М. А. Боронтова // Вестник аграрной науки Дона. – 2025. – Т. 18, № 1(69). – С. 34-49. – DOI 10.55618/20756704_2025_18_1_34-49. – EDN GPTNKK.
90. Успенский, И.М. Инновационные решения уборочно-транспортных технологических процессов и технических средств в растениеводстве. / И.М.Успенский, Н.В. Бышов, Г.К. Ремболович, С.Н. Борычев, Н.А. Рязанов и др./// Сб. науч. работ ГНУ ВИМ Россельхозакадемии, Том 2,– 2012. - С. 455-460
91. Феодосьев, В.И. Учебник. Сопротивление материалов / В. И. Феодосьев. – 11 изд. – М: МГТУ, 2003. – 591 с.
92. Фролов В.Ю. Повышение эффективности процесса приготовления кормов измельчителем с рабочим органом молотковосегментного типа / Фролов

В.Ю., Бычков А.В., Стригунова Н.Ю. // Техника и оборудование для села. 2024. № 2 (320). С. 28-31.

93. Фролов В.Ю. Обоснование способа и технического средства для приготовления кормовых продуктов водоплавающей птице. / Школьникова М.А., Фролов В.Ю., Школьников П.Н. // АгроЭкоИнфо. 2023. № 5 (59).

94. Фролов В.Ю. Аналитические аспекты сортировки початков семенной кукурузы. / Петунина И.А., Котелевская Е.А., Фролов В.Ю. // Сельский механизатор. 2021. № 11. С. 12-13.

95. Фролов В.Ю. Разработка пресс-экструдера для обработки зернобобовых культур / Фролов В.Ю., Класнер Г.Г., Тарасов В.С. // Политехнический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 168. С. 109-126.

96. Хазиахметов, Ф.С. Практические рекомендации руководителям и зооветспециалистам сельскохозяйственных предприятий, крестьянско-фермерских хозяйств по расчету годовой потребности в кормах / Ф. С. Хазиахметов, Т. А. Фаритов, Х. Х. Галин. – Уфа: ГУ изд-во «Мир печати», 2008. – 24 с.

97. Хохрин, С. Н. Корма и кормление животных / С. Н. Хохрин. – Санкт-Петербург: Лань, 2002. – 512с.

98. Экспертиза кормов и кормовых добавок: учебное пособие / К. Я. Мотовилов, А. П. Булатов, В. М. Позняковский, Ю. А. Кармацких. — 4-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 560 с. — ISBN 978-5-8114-1401-7.

99. AUGER FEED MIXER WITH PERFORATED WINDING Frolov V., Rytov K., Samurganov E. В сборнике: BIO Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference “Development and Modern Problems of Aquaculture” (AQUACULTURE 2023). EDP Sciences, 2024. C. 05044. 9.

100. Mixer for dry concentrated feed. Ulyanov V., Utolin V., Luzgin N., Borontova M., Kiryanov A., Polunkin A. В сб.: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019. 2019. C. 012143.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Бала взята проба силоса массой 1,5 кг., и разобрана на 4 составляющие, также была вяза проба массой 1,31 кг., вся масса была разделена на 3 части: 0,655 кг., 0,255 кг, 0,386 кг., каждая из частей была разделена на 6 примерно равных выборок, далее из каждой из 6 выборок по одной и соединены, из них выбрано по 14 разных по размеру образцов, в соответствии с различными частями растений, результаты разбора приведены в таблице.

Таблица К.1 - Результаты разбора проб силоса.

Вид испытания	Кукурузный силос				Итого
	Целое зерно	Толстые стебли	Листья початка	Стержни початков	
Вес, кг	0,22	0,09	1,05	0,14	1,5
Размер, см	0,6-0,2	10,4-0,1	14,3-0,3	3,3-0,5	

Таблица 3.2 – Насыпная плотность ρ , кг/м³

ДЛИНА РЕЗКИ L , ММ	ИЗМЕРЕНИЕ 1	ИЗМЕРЕНИЕ 2	ИЗМЕРЕНИЕ 3	СРЕДНЕЕ P
7,5	454	456	458	456
12,5	402	404	406	404
17,5	380	383	386	383
22,5	375	376	377	376

Таблица К.3 - Пористость Π , %

ДЛИНА РЕЗКИ L , ММ	ИЗМЕРЕНИЕ 1 (P_2)	ИЗМЕРЕНИЕ 2 (P_2)	ИЗМЕРЕНИЕ 3 (P_2)	СРЕДНЕЕ P_2	СРЕДНЯЯ ПОРИСТОСТЬ
7,5	28,1	27,9	28,0	28,0	45%
12,5	26,1	25,9	25,8	25,93	49,4%
17,5	23,1	22,9	23,0	23,0	55%
22,5	20,1	19,9	20,0	20,0	61%

Таблица К.4 - Коэффициент фильтрации $K_f \times 10^{-4}$, м/с

ДЛИНА РЕЗКИ L , ММ	ИЗМЕРЕНИЕ 1	ИЗМЕРЕНИЕ 2	ИЗМЕРЕНИЕ 3	СРЕДНЕЕ $K_F \times 10^{-4}$
7,5	1,238	1,240	1,242	1,240
12,5	1,344	1,346	1,348	1,346
17,5	1,453	1,455	1,457	1,455
22,5	1,591	1,593	1,595	1,593

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Результаты определения массово-размерных характеристик стеблей кукурузы, початков и зерна в них представлены в таблице В.1

Таблица В.1 - Характеристики состава стеблей кукурузы

№ образца Вид испытания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Сред. знач.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Размеры и масса стеблей											
Длина (см)	176	158	149	169	217	138	166	186	207	182	174,8
Диаметр стебля по низу (см)	2,3	2,2	1,7	2,6	2,4	2,2	2,3	2	2,3	2,6	2,26
Масса с початком (кг)	0,36	0,36	0,14	0,37	0,37	0,28	0,29	0,32	0,24	0,29	0,302
Масса без початка(кг)	0,19	0,18	0,06	0,2	0,21	0,18	0,16	0,17	0,08	0,19	0,162
Размеры и масса початка в обвертке											
Длина (см)	17,5	26,7	11,7	23,5	21	21,5	17,5	21	15	12,5	18,79
Диаметр початка по низу (см)	4,8	4,4	4	4,8	4,2	4,5	4,4	4,3	4,8	4	4,82
Масса (кг)	0,17	0,18	0,08	0,17	0,16	0,1	0,13	0,15	0,16	0,1	0,14
Размеры и масса початка без обвертки											
Длина (см)	15,8	19,8	8,4	15,9	18	10,9	14,2	10,7	11,8	11,5	13,7
Диаметр початка по низу (см)	4,3	3,8	3,9	4,2	3,8	4,3	4,2	3,7	4,5	3,8	4,05
Масса (кг)	0,14	0,16	0,07	0,11	014	0,07	0,12	0,06	0,14	0,09	0,11
Количество зерен в початке											
Целых (шт.)	292	326	118	233	276	93	208	105	320	260	223,1
Испорченных (шт.)	33	23	-	9	23	12	11	2	9	28	15,0
Неразвившихся (шт.)	166	124	114	111	130	86	110	326	32	60	125,9
В поперечном разрезе по окружности	16	13	10	13	13	14	14	4	16	16	12,9

Патент на полезную модель: «Контейнер из воздухонепроницаемой плёнки для силосования кормов»

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Патент на изобретение: «Способ приготовления и хранения силосованного корма»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2683521

Способ приготовления и хранения силосованного корма

Патентообладатели: **Некрашевич Владимир Федорович (RU),
Боронтова Мария Александровна (RU)**

Авторы: **Некрашевич Владимир Федорович (RU),
Боронтова Мария Александровна (RU)**

Заявка № 2017143278

Приоритет изобретения 11 декабря 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 28 марта 2019 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 11 декабря 2037 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11) 2 683 521⁽¹³⁾ C1

(51) МПК
A23K 30/10 (2016.01)
A01F 25/14 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(52) СПК
A23K 30/10 (2018.08); A23K 30/12 (2018.08); A01F 25/14 (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2017143278, 11.12.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.12.2017

Дата регистрации:
28.03.2019

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 11.12.2017

(45) Опубликовано: 28.03.2019 Бюл. № 10

Адрес для переписки:
390047, г. Рязань, ул. Загородная, 12, кв. 15,
Бороновой М.А.

(72) Автор(ы):
Некрашевич Владимир Федорович (RU),
Боронова Мария Александровна (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Некрашевич Владимир Федорович (RU),
Боронова Мария Александровна (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2584026 C1, 20.05.2016. RU
2528189 C1, 10.09.2014. BY 17289 C1,
30.06.2013. CN 1644083 A, 27.07.2005. EP
1057400 B1, 09.08.2006.

(54) Способ приготовления и хранения силосованного корма

(57) Формула изобретения

Способ приготовления и хранения силосованного корма, включающий заготовку зеленой массы растений с их измельчением, загрузку в вакуумируемые контейнеры, выполненные, например, из воздухонепроницаемой пленки, герметизацию контейнеров, их вакуумирование и доставку к местам хранения и скармливания, отличающийся тем, что после загрузки измельченной массы в контейнеры для силосования осуществляют осушение закладываемой кормовой массы путем просасывания через нее воздуха, с попутным отводом сока и дождевой воды, причем ускорение осушения измельченной кормовой массы, закладываемой в контейнер, от жидкой фракции сока и дождевой воды осуществляют путем сужения открытой горловины контейнера, через которую подается измельченная кормовая масса.

R U
2 6 8 3 5 2 1
C 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

на полезную модель

№ 183627

Контейнер из воздухонепроницаемой пленки для
силосования кормов

Патентообладатель: *Боронтова Мария Александровна (RU)*

Авторы: *Некрашевич Владимир Федорович (RU), Боронтова
Мария Александровна (RU), Хазимов Марат Жалелович (KZ)*

Заявка № 2018109596

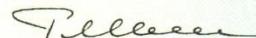
Приоритет полезной модели 19 марта 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 28 сентября 2018 г.

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 19 марта 2028 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.Г. Ибрагимов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

183 627⁽¹³⁾ U1

(51) МПК
A23K 30/10 (2016.01)
A23K 10/30 (2016.01)
A23K 40/00 (2016.01)
A01F 25/14 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ФОРМУЛА ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

(52) СПК
A23K 30/10 (2006.01); A23K 10/30 (2006.01); A23K 40/00 (2006.01); A01F 25/14 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2018109596, 19.03.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.03.2018

Дата регистрации:
28.09.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.03.2018

(45) Опубликовано: 28.09.2018 Бюл. № 28

Адрес для переписки:
390047, г. Рязань, ул. Загородная, 12, кв. 15,
Бороновой М.А.

(72) Автор(ы):

Некрашевич Владимир Федорович (RU),
Боронтова Мария Александровна (RU),
Хазимов Марат Жалелович (KZ)

(73) Патентообладатель(и):

Боронтова Мария Александровна (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2625480 C1, 14.07.2017. RU
170228 U1, 18.04.2017. RU 2566633 C1,
27.10.2015. JP 3200754 U, 05.11.2015.

(54) Контейнер из воздухонепроницаемой пленки для силосования кормов

(57) Формула полезной модели

Контейнер из воздухонепроницаемой пленки для силосования кормов, содержащий емкость из воздухонепроницаемой пленки с поперечным сечением в виде квадрата или прямоугольника, расположенный внизу у дна клапан для отсоса жидкой фракции и воздуха, а вверху раскрытою горловину для загрузки силосуемой массы, отличающийся тем, что к нижней части стенки контейнера герметично прикреплена жесткая вставка с резьбой, в которую с внешней стороны контейнера ввернут клапан для отсоса жидкой фракции и воздуха, а внутри контейнера к ней подсоединен трубчатый коллектор, размещенный на дне на расстоянии $\frac{1}{4}$ длины от стенок контейнера, выполненный по форме внутренней поверхности контейнера с зенкованными под углом 60° отверстиями и размещенными под углом 45° поочередно относительно вертикальной оси в нижней половине трубы коллектора.

R U 1 8 3 6 2 7 U 1

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

193 970⁽¹³⁾ U1

(51) МПК
A01F 25/14 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A01F 25/14 (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2019104123, 14.02.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.02.2019

Дата регистрации:
21.11.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.02.2019

(45) Опубликовано: 21.11.2019 Бюл. № 33

Адрес для переписки:
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 10, кв. 73,
Некрашевич Владимир Федорович

(72) Автор(ы):

Некрашевич Владимир Федорович (RU),
Мамонов Роман Александрович (RU),
Афанасьева Кристина Сергеевна (RU),
Боронтова Мария Александровна (RU),
Хазимов Марат Жалелович (KZ),
Хазимов Канат Мухатович (KZ),
Сагындыкова Жадыра Бауржановна (KZ)

(73) Патентообладатель(и):

Некрашевич Владимир Федорович (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 183627 U1, 28.09.2018. RU 170228
U1, 18.04.2017. BY 17289 C1, 30.06.2013. RU
130783 U1, 10.08.2013.

(54) КОНТЕЙНЕР ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ХРАНЕНИЯ СИЛОСОВАННОГО КОРМА

(57) Реферат:

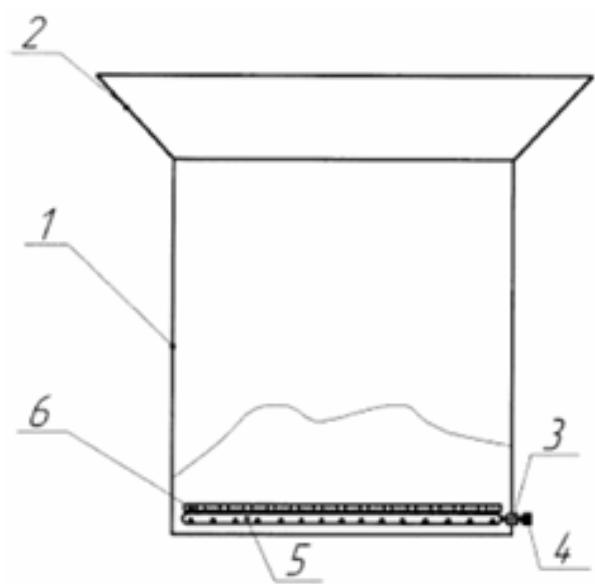
Полезная модель относится к сельскому хозяйству, точнее к кормопроизводству, а именно к устройствам для приготовления и хранения силосованного корма.

Предложен контейнер для приготовления и хранения силосованного корма, состоящий из емкости, выполненной из воздухонепроницаемой пленки, с поперечным сечением в виде квадрата или прямоугольника. В верхней части контейнер имеет раскрытую горловину, а в нижней части, у самого дна, к его стенке герметично прикреплена жесткая вставка с резьбой, снаружи к которой подсоединенется вакуумная система без клапана для осушения силосуемой массы от жидкой фракции или с клапаном для вакуумирования контейнера после его герметизации. Внутри контейнера к жесткой вставке подсоединенется коллектор трубчатого типа, расположенный по периметру дна на расстоянии 1/4 длины от стенок контейнера. Коллектор снабжен зенкованными

под углом 60 градусов отверстиями и размещенными под углом 45 градусов поочередно относительно вертикальной оси в нижней половине трубы коллектора. Сверху коллектора укладывается сетка, выполненная из не окисляемых материалов, для исключения забивания отверстий коллектора мелкими частицами силосуемой массы. Размеры ячеек сетки меньше диаметра отверстий коллектора и меньше размера меньших частиц силосуемой массы. Для отсоса жидкой фракции из контейнера или его последующего вакуумирования прилагается специальная система, состоящая из вакуумного насоса, емкости с краном для сбора жидкой фракции и слива на утилизацию.

Сначала без клапана при работе вакуумного насоса отсасывается и утилизируется жидкая фракция, а затем с клапаном вакуумируется герметизированный контейнер с силосуемой массой и отправляется на хранение.

RU 193 970 U1



Фиг. 1

РУ 193970 У1

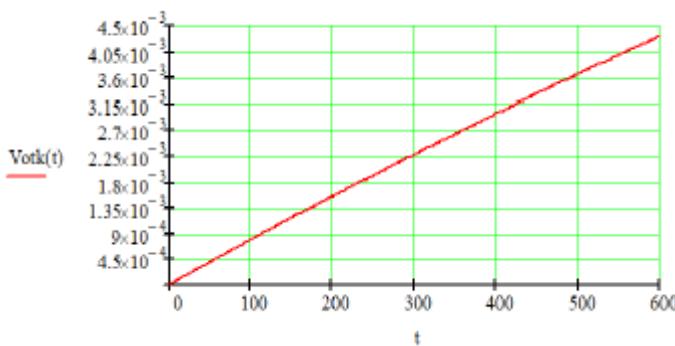
РУ 193970 У1

Фиг. 2

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Определение расхода жидкости, времени откачивания, определение размеров коллектора в вычислительном комплексе Mathcad:

$$\begin{aligned}
 \gamma_c &:= 12.001 \quad \text{объемный вес скелета Н/м}^3 \\
 n &:= 0.55 \quad \text{пористость сипоса} \\
 p_0 &:= 101.3 \quad \text{атмосферное давление, кПа} \\
 p_v &:= 40.3 \quad \text{давление в коллекторе, кПа} \\
 h &:= 0.8 \quad \text{высота мешка, м} \\
 D &:= 0.5 \quad \text{М - сторона мешка} \\
 \gamma &:= 1.2 \quad \text{параметр состояния воздуха (1...1.4)} \\
 \gamma_v &:= 10 \quad \text{объемный вес воды, кН/м}^3 \\
 p_0 &:= 1.225 \quad \text{плотность воздуха в естественном состоянии, кг/м}^3 \\
 \lambda &:= \frac{1}{\gamma} \quad \beta := p_0 \cdot p_0^\lambda \cdot 9.81 = 563.8276 \\
 v_k &:= 1.2 \quad \text{скорость воздуха на выходе, м/с} \\
 k &- \text{коэффициент фильтрации, м/с} \\
 \Delta p &:= p_0 - p_v \\
 p_1 &:= \frac{1}{1 + \lambda} \cdot 9.81 \cdot \frac{p_0 \cdot h}{\Delta p} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\Delta p}{p_0} \right)^{\lambda+1} \right] = 5.7969 \\
 p_2 &:= v_k^2 \cdot \left(\frac{p_v}{p_0} \right)^\lambda \left[1 - \left(\frac{p_v}{p_0} \right)^\lambda \right] = 0.3581 \quad q_0 := \frac{1}{h} \cdot [\Delta p - \rho_0 \cdot (p_1 - p_2)] = 67.9219 \\
 F &:= \left(\frac{p_0 - p_v}{h} + \gamma_v \right) = 86.25 \\
 V &:= D^2 \cdot h = 0.2 \quad \text{объем мешка} \\
 V_p &:= 19 \cdot 10^{-3} = 0.019 \quad V_K := 14.7 \cdot 10^{-3} \quad V_O := V_p - V_K = 4.3 \times 10^{-3} \\
 \text{начальный объем воды} & \quad \text{конечн. объем воды} & \quad \text{откаченный объем воды} \\
 V_n &:= V \cdot n = 0.11 \quad G_1 := \frac{V_O}{V_n} \quad G := \frac{V_p}{V_n} \quad u_k := \frac{V_K}{V_n} = 0.1336 \quad G - G_1 = 0.1336 \\
 q_f &:= 1 - \frac{q_0}{F} = 0.2125 \\
 I_k &:= \frac{1}{18} \cdot \left(u_k^3 - G^3 \right) - \frac{1}{12} \cdot q_f \cdot \left[(1 - u_k)^3 \cdot \ln(\sqrt{1 - u_k}) - (1 - G)^3 \cdot \ln(\sqrt{1 - G}) - \frac{1}{24} \cdot \left[(1 - u_k)^3 - (1 - G)^3 \right]^2 \right] + \frac{1}{16} \cdot (u_k^2 - G^2) \\
 I_k &:= -9.6476 \times 10^{-4} \quad k_f := \frac{-[(V_p - V_K) \cdot G_1] \cdot \gamma_v}{600 \cdot D^2 \cdot F \cdot I_k} = 1.346707 \times 10^{-4} \\
 \text{время откачивания (sek)} & \\
 \dot{k} &:= \frac{-(V_p - V_K) \cdot G_1 \cdot \gamma_v}{k \cdot D^2 \cdot F \cdot I_k} = 600 \quad k = 1.346707 \times 10^{-4} \quad (M / C) \quad u(t) := G - G_1 \cdot \frac{t}{\dot{k}} \\
 I(t) &:= \frac{1}{18} \cdot \left(u(t)^3 - G^3 \right) - \frac{1}{12} \cdot q_f \cdot \left[(1 - u(t))^3 \cdot \ln(\sqrt{1 - u(t)}) - (1 - G)^3 \cdot \ln(\sqrt{1 - G}) - \frac{1}{24} \cdot \left[(1 - u(t))^3 - (1 - G)^3 \right]^2 \right] + \frac{1}{16} \cdot (u(t)^2 - G^2) \\
 V_{otk}(t) &:= \frac{-\dot{k} \cdot D^2 \cdot F \cdot k}{\gamma_v \cdot G_1} \cdot I(t)
 \end{aligned}$$



ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Результаты исследований зависимости изменения объема $V(\text{м}^3)$ от вакуумметрического давления $P_{\text{вак}}$ (кПа).

Таблица Ж.1 - Показатели изменения объема воздуха $V(\text{м}^3)$ откаченного из мягкого вакуумированного контейнера от действия различных уровней вакуумметрического давления $P_{\text{вак}}$ (кПа).

ДАВЛЕНИЕ ВАКУУММЕТРИЧЕСКОЕ P , КПА	ИЗМЕРЕНИЕ 1, V_1 , м^3	ИЗМЕРЕНИЕ 2, V_2 , м^3	ИЗМЕРЕНИЕ 3, V_3 , м^3	СРЕДНЕЕ V
0	0,0180	0,0180	0,0180	0,0180
10	0,01292	0,01296	0,01294	0,01294
20	0,01105	0,01107	0,01109	0,01107
30	0,01002	0,01004	0,01006	0,01004
40	0,00915	0,00917	0,00919	0,00917
50	0,00863	0,00865	0,00867	0,00865
60	0,00823	0,00825	0,00827	0,00825

По полученным данным построены графические зависимости изменения объема воздуха от уровня вакуумметрического давления (рисунок 4.15; 4.16 диссертации).

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Таблица И.1 - Количество дождевой воды на стеблях и листьях кукурузы
после дождя

№ п/п	Длина стебля, м	Масса влажного стебля, кг	Масса сухого стебля, кг	Масса воды, кг	% воды от массы стебля
1	2	3	4	5	6
1	2,08	0,51	0,41	0,10	24,4
2	2,11	0,58	0,49	0,09	18,4
3	2,18	0,66	0,56	0,10	17,9
4	2,21	0,78	0,69	0,09	13,0
5	2,14	0,68	0,60	0,08	13,3
6	1,84	0,74	0,67	0,07	10,4
7	2,1	0,83	0,71	0,12	16,9
8	1,8	0,89	0,79	0,10	12,6
9	2,06	0,89	0,81	0,08	9,8
10	2,09	1,13	1,04	0,09	8,6
11	1,99	1,16	1,04	0,12	11,5
Средние значения	2,05	0,81	0,71	0,10	14,2

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Таблица К.1 - Результаты определения количества жидкости при Р=30 кПа

№ КОНТЕЙНЕРА	ВЕС ЗЕЛЕНОЙ МАССЫ ПРИ ВЛАЖНОСТИ 65%, КГ			ВЕС ЗЕЛЕНОЙ МАССЫ ПРИ ВЛАЖНОСТИ 80%, КГ				
	Среднее		Мин	Макс	Среднее		Мин	Макс
1	13,3		12,6	14,0	16,5		15,7	17,3
2	13,0		12,4	13,7	16,1		15,3	16,9
3	12,8		12,2	13,4	15,4		14,6	16,2

ОБЪЕМ ПОЛУЧЕННОЙ ЖИДКОСТИ, МЛ		
Среднее	Мин	Макс
550	523	578
450	428	473
500	475	525

Таблица К.2 - Ежеминутный выход жидкости при Р=50 кПа

ВРЕМЯ, Т, МИН	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Среднее, мл	950	1850	2580	3280	3780	4080	4230	4300	4300	4300
Мин, мл	903	1758	2451	3116	3591	3876	4019	4085	4085	4085
Макс, мл	998	1943	2709	3444	3969	4284	4441	4515	4515	4515

Фото проведенных экспериментов



Фото К.1



Фото К.2



Фото К.3



Фото К.4



Фото К.5



Фото К.6



Фото К.7

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

План проведения многофакторного эксперимента.

Таблица Л.1 - План эксперимента и результаты опытов

№ опыта	Порядок проведения опытов	Факторы			Отклики			Дисперсия опыта S_j^2
		x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	$y_{ср}$	
1	8,13	-	-	-	1,15	1,35	1,25	0,02
2	3,12	+	-	-	1,85	2,05	1,95	0,02
3	11,15	-	+	-	1,95	1,55	1,75	0,08
4	6,14	+	+	-	3,95	3,75	3,85	0,02
5	2,4	-	-	+	2,15	2,35	2,25	0,02
6	5,7	+	-	+	3,75	3,85	3,95	0,02
7	1,9	-	+	+	2,55	2,95	2,75	0,08
8	10,16	+	+	+	4,75	4,95	4,85	0,02

Статистическая проверка результатов эксперимента

Проверка однородности дисперсий

Однородность проведенного эксперимента проверим по критерию Кохрена.

Определяем среднее значение измеряемой величины для каждого опыта

$$y_{cpj} = \frac{1}{m} \sum_{u=1}^m y_{ju}, \quad j = 1, 2, \dots, N \quad , \quad (\text{Л.1})$$

где m – число повторных опытов,

N – число опытов в матрице планирования.

Дисперсию каждого опыта вычисляем по формуле:

$$S_j^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{u=1}^m (y_{ju} - y_{cpj})^2, \quad j = 1, \dots, 8; \quad m = 2 \quad . \quad (\text{Л.2})$$

Находим сумму дисперсий

$$\sum_{j=1}^8 S_j^2 = 0,28. \quad (\text{Л.3})$$

Находим расчетное значение критерия Кохрена

$$G_p = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{j=1}^8 S_j^2} = \frac{0,08}{0,28} = 0,286 \quad (\text{Л.4})$$

Продолжение приложения Л

Определяем числа степеней свободы $f_1 = m - 1 = 1$, $f_2 = N = 8$.

Для уровня значимости $q = 0,05$ в таблице [4] находим $G_{kp} = 0,680$.

Экспериментальная величина G -критерия меньше этого значения, следовательно, гипотеза об однородности дисперсии не отвергается.

Вычисление коэффициентов уравнения регрессии

Коэффициенты уравнения регрессии находим методом наименьших квадратов. Коэффициенты уравнения регрессии вычисляем по формуле:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} y_{cpj}. \quad (\text{Л.5})$$

где x_{ij} – значение i -го фактора в j -ом опыте; y_{cpj} – среднее значение отклика по повторным опытам, $j, i = 0, 1, 2, \dots, k$, $j \neq i$.

Для удобства вычисления коэффициентов составим расширенную матрицу

Таблица Л.2 - Расчет коэффициентов уравнения регрессии

№ опыта	x_0	Матрица планирования			Векторы-столбцы взаимодействия			y_{cp}
		x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	
1	+	-	-	-	+	+	+	1,25
2	+	+	-	-	-	-	+	1,95
3	+	-	+	-	-	+	-	1,75
4	+	+	+	-	+	-	-	3,85
5	+	-	-	+	+	-	-	2,25
6	+	+	-	+	-	+	-	3,75
7	+	-	+	+	-	-	+	2,75
8	+	+	+	+	+	+	+	4,85

Получим:

$$b_0 = 2,8; \quad b_1 = 0,8; \quad b_2 = 0,5; \quad b_3 = 0,6; \quad b_{12} = 0,25; \quad b_{13} = 0,1; \quad b_{23} = -0,1.$$

Проверка значимости полученных коэффициентов

Определяем дисперсию воспроизводимости

$$S_{\text{вснр}}^2 = \frac{1}{N} \sum S_j^2 = \frac{0,28}{8} = 0,035. \quad (\text{Л.6})$$

Находим дисперсию ошибки определения коэффициентов регрессии

$$S_{bi}^2 = \frac{1}{Nm} S_{\text{вснр}}^2 = \frac{0,035}{8 \cdot 2} = 0,00218. \quad (\text{Л.7})$$

Определяем число степеней свободы $f_3 = N(m-1) = 8(2 - 1) = 8$.

Выбираем уровень значимости $q = 0,05$.

В таблице [4] по заданным q и f_3 находим $t_{kp} = 2,31$.

Для коэффициентов уравнения регрессии подсчитываем доверительный интервал

$$\Delta t_i = \pm t_{kp} \cdot \sqrt{S_{bi}^2} = \pm 2,31 \sqrt{0,00218} = 0,091. \quad (\text{Л.8})$$

Коэффициент значим, если его абсолютная величина больше доверительного интервала, следовательно, все коэффициенты признаются значимыми и уравнение регрессии имеет вид:

$$y = 2,8 + 0,8x_1 + 0,5x_2 + 0,6x_3 + 0,25x_1x_2 + 0,1x_2x_3 - 0,1x_1x_3$$

Проверка адекватности математической модели

Проверку адекватности математической модели исследуемому процессу выполним по критерию Фишера (F -критерий).

Для удобства вычислений составим таблицу Л.3.

Таблица Л.3 - Расчет дисперсии адекватности

Номер опыта	y_{cp}	y_p	$(y_{cp} - y_p)^2$
1	1,25	1,15	0,01
2	1,95	2,05	0,01
3	1,75	1,85	0,01
4	3,85	3,75	0,01
5	2,25	2,35	0,01
6	3,75	3,65	0,01
7	2,75	2,65	0,01
8	4,85	4,95	0,01

Дисперсию адекватности найдем по формуле

$$S_{ad}^2 = \frac{m}{N-l} \sum_{j=1}^N (y_{pj} - y_{cpj})^2, \quad (\text{Л.9})$$

где l - число значимых коэффициентов регрессии;

y_{pj} - расчетное по уравнению регрессии значение отклика в j -ом опыте;

y_{cpj} - среднее значение в j -ом опыте.

$$\sum_{j=1}^N (y_{cpj} - y_p)^2 = 0,08$$

Так как , то

$$S_{ad}^2 = \frac{2}{8-7} \cdot 0,08 = 0,16.$$

Найдем дисперсионное отношение

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_{воспр}^2} = \frac{0,16}{0,035} = 4,57. \quad (\text{Л.10})$$

Определяем числа степеней свободы

$$f_4 = N - l = 8 - 7 = 1, \quad f_3 = N(m - 1) = 8.$$

Табличное значение для уровня значимости $q = 0,05$ [4] будет $F_{kp} = 5,3$.

Так как $F < F_{kp}$ ($4,57 < 5,3$), то гипотеза об адекватности модели не отвергается, и уравнение регрессии имеет вид

$$y = 2,8 + 0,8x_1 + 0,5x_2 + 0,6x_3 + 0,25x_1x_2 + 0,1x_2x_3 - 0,1x_1x_3. \quad (\text{Л.11})$$

Как видно из полученного уравнения наибольшее влияние на параметр оптимизации оказывает фактор x_1 (влажность силосной массы). В меньшей степени влияют факторы x_3 (вакуумметрическое давление) и фактор x_2 (время откачивания воздуха). Характер влияния всех факторов одинаков. Для увеличения выхода жидкости необходимо увеличивать все факторы. Влияние факторов проявилось и в парных взаимодействиях. Эффект взаимодействия факторов ярко выражен, т.е. степень влияния каждого фактора зависит от того на каком уровне находится другие факторы.

Продолжение приложения Л

Коэффициент взаимодействия b_{13} имеет отрицательный знак. Это означает, что с увеличением фактора x_1 (влажность силосной массы) фактор x_3 (вакуумметрическое давление) можно уменьшать.

Используем полученное уравнение регрессии для оптимизации исследуемого процесса.

Таблица Л.4 - Градиентный метод

№	Последовательность операций наискорейшего спуска	Vлажность силосной массы %	Время откачивания воздуха, мин.	Вакуумированное давление	Объём откаченной жидкости, л
		x_1	x_2	x_3	y
1.	Основной уровень	70	5	40	
2.	Интервал варьирования	10	4	10	
3.	Верхний уровень	80	9	50	
4.	Нижний уровень	60	1	30	
5.	Опыты:	1	-	-	1,25
		2	+	-	1,95
		3	-	+	1,75
		4	+	+	3,85
		5	-	-	2,25
		6	+	-	3,75
		7	-	+	2,75
		8	+	+	4,85
6.	Коэффициенты b_i	0,8	0,5	0,6	
7.	Шаг градиента $\Delta \tilde{x}_i \cdot b_i$	8	2	6	
8.	Изменение шага градиента	2	0,5	1,5	
9.	Округление шага	2	0,5	1,5	
10.	Опыты	9	5	40	2,75
		10	72	5,5	3,05
		11	74	6,0	3,45
		12	76	6,5	3,75
		13	78	7,0	4,15
		14	80	7,5	4,45
		15	80	8,0	4,65
		16	80	8,5	4,95
		17	80	9,0	5,35
		18	80	9,5	5,45

Таким образом, наилучший результат получен в 17 и 18 опытах. Для увеличения откаченной жидкости при постоянной влажности силосной массы нужно увеличивать время откачки и вакуумированное давление.

Раскодирование уравнения регрессии

Раскодирование уравнения регрессии проведем по формулам

$$x_1 = \frac{\tilde{x}_1 - \tilde{x}_{01}}{\Delta\tilde{x}_1} = \frac{\tilde{x}_1 - 70}{10}, \quad x_2 = \frac{\tilde{x}_2 - \tilde{x}_{02}}{\Delta\tilde{x}_2} = \frac{\tilde{x}_2 - 5}{4}, \quad x_3 = \frac{\tilde{x}_3 - \tilde{x}_{03}}{\Delta\tilde{x}_3} = \frac{\tilde{x}_3 - 40}{10}, \quad (\text{Л.12})$$

где \tilde{x}_i ($i = 1, 2, 3$) - натуральное значение фактора;

\tilde{x}_{0i} ($i = 1, 2, 3$) - основной уровень фактора;

$\Delta\tilde{x}_i$ ($i = 1, 2, 3$) - интервал варьирования фактора.

Подставляя формулы в уравнение регрессии

$$y = 2,8 + 0,8x_1 + 0,5x_2 + 0,6x_3 + 0,25x_1x_2 + 0,1x_2x_3 - 0,1x_1x_3$$

и приводя подобные, получим расчетную формулу для прогноза выхода жидкости в процессе прокачивания воздуха под воздействием вакуумметрического давления:

$$y = -5,9575 + 0,08875\tilde{x}_1 - 0,42\tilde{x}_2 + 0,118\tilde{x}_3 + 0,00625\tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_2 + 0,0024\tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_3 - 0,001\tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_3 \quad (\text{Л.13})$$

Обозначим:

$\tilde{x}_1 = B$ - влажность силосной массы, %;

$\tilde{x}_2 = T$ - время откачивания воздуха, мин.;

$\tilde{x}_3 = P$ - давление в контейнере, кПа;

$y = V$ - количество выделенной жидкости при вакуумировании силосуемой массы, л.

$$V = -5,9575 + 0,08875B - 0,42T + 0,118P + 0,00625B \cdot T + 0,0024T \cdot P - 0,001B \cdot P$$

На рисунках Л.1 – Л. 3 построены поверхности отклика по результатам проведенного многофакторного эксперимента.

Продолжение приложения Л

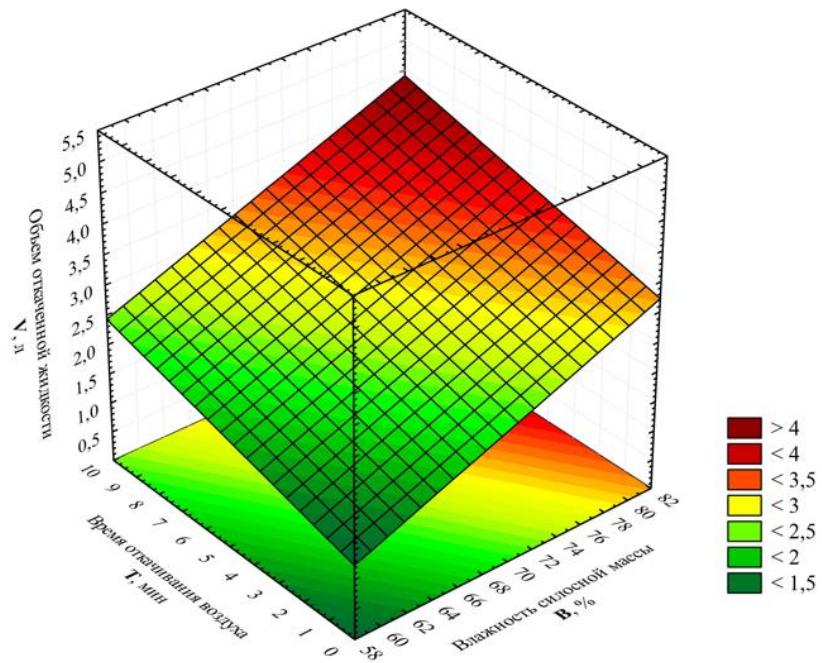


Рисунок Л. 1 – Зависимость объема откаченной жидкости от влажности силосуемой массы и времени прокачивания воздуха

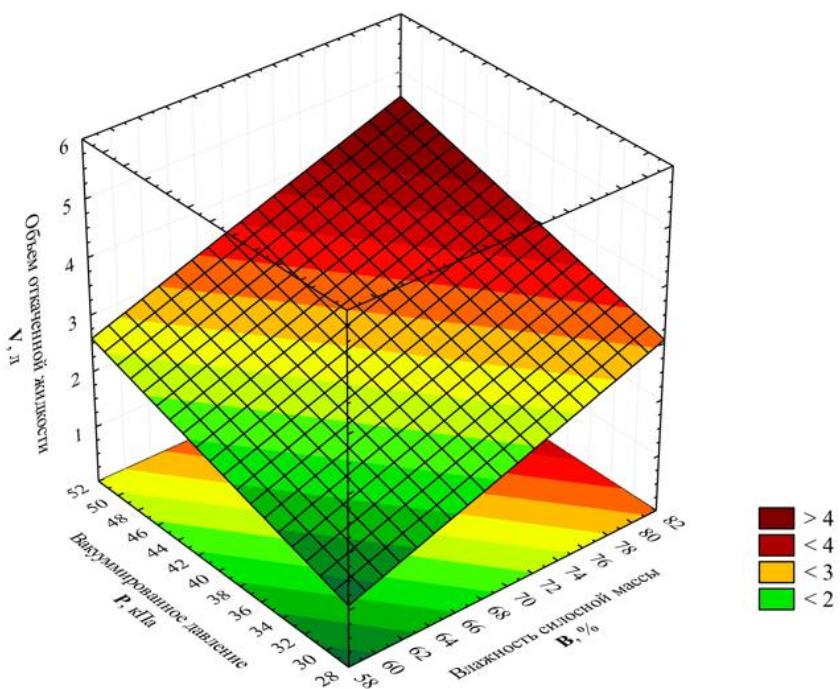


Рисунок Л.2 - Зависимость объема откаченной жидкости от влажности силосной массы и вакуумированного давления

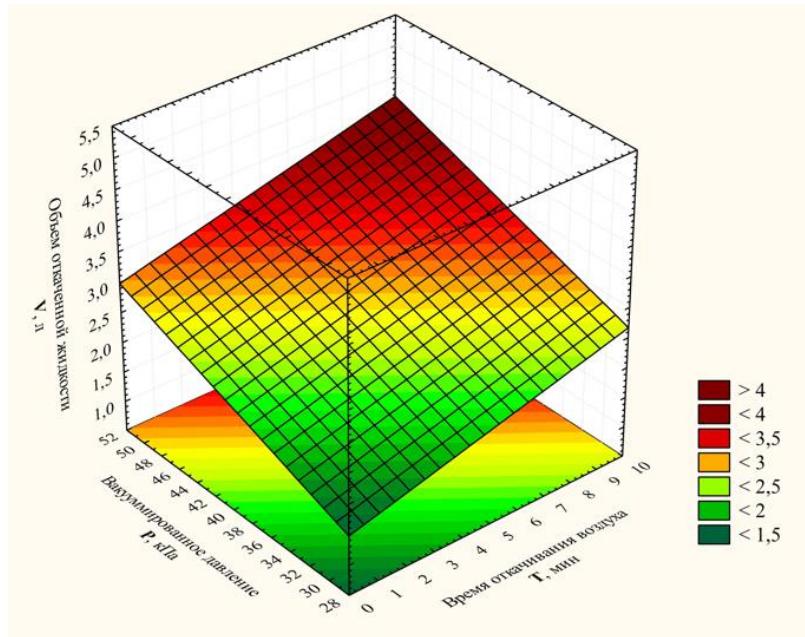


Рисунок Л.3 - Зависимость объема откаченной жидкости от времени откачивания и вакуумированного давления

Рассмотрим зависимость энергоемкости процесса откачивания жидкости из мягкого контейнера в зависимости от влажности силосуемой массы, время откачивания воздуха, вакууметрического давления в процессе осушения зеленой массы посредством трехфакторного эксперимента. Расчет выполняется аналогично расчету объему откаченной жидкости, приведенному выше.

Для проведения исследований выбрали факторы и уровни их варьирования, представленные в таблице 4.5 диссертации.

При проведении эксперимента интересовали линейные эффекты и парные взаимодействия. Поэтому модель объекта искали в виде [44], по формуле (4.2) диссертации.

Наиболее простой план, допускающий оценку всех коэффициентов этой модели, – полный факторный эксперимент 2^3 . Для оценки воспроизводимости все опыты дублировались.

За параметр оптимизации у примем энергиюемкость процесса откачивания жидкости, кВт/кг.

Таблица Л.6 - План эксперимента и результаты опытов

№ опыта	Порядок проведения опытов	Факторы			Отклики			Дисперсия опыта S_j^2
		x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	$y_{ср}$	
1	8,13	-	-	-	1,46	1,44	1,45	0,0002
2	3,12	+	-	-	1,62	1,64	1,63	0,0002
3	11,15	-	+	-	1,50	1,52	1,51	0,0002
4	6,14	+	+	-	1,45	1,49	1,47	0,0008
5	2,4	-	-	+	1,53	1,55	1,54	0,0002
6	5,7	+	-	+	1,78	1,80	1,79	0,0002
7	1,9	-	+	+	1,70	1,72	1,71	0,0002
8	10,16	+	+	+	1,81	1,83	1,82	0,0002

Статистическая проверка результатов эксперимента**Проверка однородности дисперсий**

Однородность проведенного эксперимента проверим по критерию Кохрена.

Определяем среднее значение измеряемой величины для каждого опыта, по формуле (Л.1).

Дисперсию каждого опыта вычисляем по формуле (Л.2)

Находим сумму дисперсий

$$\sum_{j=1}^8 S_j^2 = 0,0022. \quad (\text{Л.13})$$

Находим расчетное значение критерия Кохрена

$$G_P = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{j=1}^8 S_j^2} = \frac{0,0008}{0,0022} = 0,363. \quad (\text{Л.14})$$

Определяем числа степеней свободы $f_1 = m - 1 = 1$, $f_2 = N = 8$.

Для уровня значимости $q = 0,05$ в таблице [4] находим $G_{kp} = 0,680$.

Экспериментальная величина G -критерия меньше этого значения, следовательно, гипотеза об однородности дисперсии не отвергается.

Вычисление коэффициентов уравнения регрессии

Коэффициенты уравнения регрессии находим методом наименьших квадратов. Коэффициенты уравнения регрессии вычисляем по формуле (Л.4).

Продолжение приложения Л

Для удобства вычисления коэффициентов составим расширенную матрицу

Таблица Л.7 - Расчет коэффициентов уравнения регрессии

№ опыта	x_0	Матрица планирования			Векторы-столбцы взаимодействия			Отклик y_{cp}
		x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	
1	+	-	-	-	+	+	+	1,45
2	+	+	-	-	-	-	+	1,63
3	+	-	+	-	-	+	-	1,51
4	+	+	+	-	+	-	-	1,47
5	+	-	-	+	+	-	-	1,54
6	+	+	-	+	-	+	-	1,79
7	+	-	+	+	-	-	+	1,71
8	+	+	+	+	+	+	+	1,82

Получим:

$$b_0 = 1,615; \quad b_1 = 0,063; \quad b_2 = 0,012; \quad b_3 = 0,1;$$

$$b_{12} = -0,045; \quad b_{13} = 0,028; \quad b_{23} = 0,038.$$

Проверка значимости полученных коэффициентов

Определяем дисперсию воспроизводимости

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{1}{N} \sum S_j^2 = \frac{0,0022}{8} = 0,000275.$$

Находим дисперсию ошибки определения коэффициентов регрессии

$$S_{bi}^2 = \frac{1}{Nm} S_{\text{воспр}}^2 = \frac{0,000275}{8 \cdot 2} = 0,000017.$$

Определяем число степеней свободы $f_3 = N(m-1) = 8(2-1) = 8$.

Выбираем уровень значимости $q = 0,05$.

В таблице [4] по заданным q и f_3 находим $t_{kp} = 2,31$.

Для коэффициентов уравнения регрессии подсчитываем доверительный интервал

$$\Delta t_i = \pm t_{kp} \cdot \sqrt{S_{bi}^2} = \pm 2,31 \sqrt{0,000017} = 0,0095.$$

Коэффициент значим, если его абсолютная величина больше доверительного интервала, следовательно, все коэффициенты признаются значимыми и уравнение регрессии имеет вид

$$y = 1,615 + 0,063x_1 + 0,012x_2 + 0,1x_3 - 0,045x_1x_2 + 0,028x_2x_3 - 0,038x_1x_3$$

Проверка адекватности математической модели

Проверку адекватности математической модели исследуемому процессу выполним по критерию Фишера (F -критерий).

Для удобства вычислений составим таблицу Л.8.

Таблица Л.8 - Расчет дисперсии адекватности

Номер опыта	y_{cp}	y_p	$(y_{cp} - y_p)^2$
1	1,45	1,46	0,0001
2	1,63	1,62	0,0001
3	1,51	1,5	0,0001
4	1,47	1,48	0,0001
5	1,54	1,53	0,0001
6	1,79	1,8	0,0001
7	1,71	1,72	0,0001
8	1,82	1,81	0,0001

Дисперсию адекватности найдем по формуле (Л.8)

$$S_{ad}^2 = \frac{m}{N-l} \sum_{j=1}^N (y_j - y_j^*)^2,$$

$$\text{Так как } \sum_{j=1}^N (y_{cpj} - y_p)^2 = 0,0008, \quad S_{ad}^2 = \frac{2}{8-7} \cdot 0,0008 = 0,0016.$$

Найдем дисперсионное отношение

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_{восп}^2} = \frac{0,0016}{0,000275} = 5,17.$$

Определяем числа степеней свободы

$$f_4 = N - l = 8 - 7 = 1, f_3 = N(m - 1) = 8.$$

Табличное значение для уровня значимости $q = 0,05$ [4] будет $F_{kp} = 5,3$.

Так как $F < F_{kp}$ ($5,17 < 5,3$), то гипотеза об адекватности модели не отвергается, и уравнение регрессии имеет вид

$$y = 1,615 + 0,063x_1 + 0,012x_2 + 0,1x_3 - 0,045x_1x_2 + 0,028x_2x_3 - 0,038x_1x_3$$

Продолжение приложения Л

Как видно из полученного уравнения наибольшее влияние на параметр оптимизации оказывает фактор x_3 (вакуумметрическое давление в контейнере). В меньшей степени влияют факторы x_1 (влажность силосной массы) и фактор x_2 (время откачивания воздуха). Характер влияния всех факторов одинаков. Для уменьшения энергоемкости необходимо уменьшать все факторы. Влияние факторов проявилось и в парных взаимодействиях. Эффект взаимодействия факторов ярко выражен, т.е. степень влияния каждого фактора зависит от того на каком уровне находится другие факторы.

Коэффициент взаимодействия b_{12} имеет отрицательный знак. Это означает, что с уменьшением фактора x_1 (влажность силосной массы) время откачивания воздуха нужно увеличивать (фактор x_2).

Используем полученное уравнение регрессии для оптимизации исследуемого процесса.

Таблица Л.9 - Градиентный метод

№	Последовательность операций наискорейшего спуска	Влажность силосной массы %	Vремя откачивания воздуха, мин.	Вакуумированное давление	Энергоемкость откачивания жидкости, кВт·мин/кг
			x_1	x_2	x_3
1.	Основной уровень	70	5	40	
2.	Интервал варьирования	10	4	10	
3.	Верхний уровень	80	9	50	
4.	Нижний уровень	60	1	30	
5.	Опыты:				
	1	-	-	-	1,45
	2	+	-	-	1,63
	3	-	+	-	1,51
	4	+	+	-	1,47
	5	-	-	+	1,54
	6	+	-	+	1,79
	7	-	+	+	1,71
	8	+	+	+	1,82
6.	Коэффициенты b_i	0,063	0,012	0,1	
7.	Шаг градиента $\Delta \tilde{x}_i \cdot b_i$	0,63	0,048	1,0	
8.	Изменение шага градиента	1,89	0,144	3	
9.	Округление шага	2	0,15	3	
10.	Опыты	9	5	40	1,66
		10	72	5,15	1,7

№	Последовательность операций наискорейшего спуска	Влажность силосной массы %	Время откачивания воздуха, мин.	Вакуумированное давление	Энергоемкость откачивания жидкости, кВт·мин/кг
					y
	11	74	5,3	46	1,75
	12	75	5,45	49	1,78
	13	76	5,6	50	1,83
	14	78	5,75	50	1,85
	15	80	5,9	50	1,86
	16	80	6,05	50	1,87
	17	80	6,2	50	1,88

Наилучший результат получен в 17 опыте.

Как было сказано ранее, часть результатов расчета (по максимальной энергоёмкости) выходят за границы варьирования факторов в эксперименте. Принимая показатель влажности переувлажненного силосуемого сырья с в качестве ограничения, тогда по результатам таблицы Л. 9 можно рекомендовать время прокачивания воздуха через силосуемое сырье в мягком контейнере до 6 мин, при вакууме до 49 кПа. При этом можно энергоёмкость процесса составит до 1,78 кВт·мин/кг. Учитывая, что влажность измельченной массы кукурузы с початками для силосования не должна быть более 70%. Обобщая оба результата, то в целом можно рекомендовать следующие рациональные значения при приготовлении силоса из увлажнённом сырье для достижения рекомендуемой влажности при рабочем вакуумметрического давления 46-49 кПа время, время осушения воздухом 6-7 минут, при энергоёмкости процесса составит 1,7-1,78 кВт·мин/кг.

Раскодирование уравнения регрессии

Раскодирование уравнения регрессии проведем по формулам (Л.11)

Подставляя формулы в уравнение регрессии

$y = 2,8 + 0,8x_1 + 0,5x_2 + 0,6x_3 + 0,25x_1x_2 + 0,1x_2x_3 - 0,1x_1x_3$ и приводя подобные, получим расчетную формулу для прогноза выхода жидкости в процессе вакуумирования

Продолжение приложения Л

$$y = -0,537 + 0,0273\tilde{x}_1 + 0,0538\tilde{x}_2 + 0,03338\tilde{x}_3 - 0,00112\tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_2 + 0,00085\tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_3 - 0,00038\tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_3.$$

Обозначим:

$\tilde{x}_1 = B$ - влажность силосной массы, %

$\tilde{x}_2 = T$ - время откачивания воздуха, мин.

$\tilde{x}_3 = P$ - давление в контейнере, кПа.

$y = E$ - энергоемкость процесса откачивания жидкости, кВт /кг.

$$E = -0,537 + 0,0273 \cdot B + 0,0538 \cdot T + 0,03338 \cdot P - 0,00112 \cdot B \cdot T + \\ + 0,00085 \cdot T \cdot P - 0,00038 \cdot B \cdot P.$$

На рисунках Л.4 – Л.6 построены поверхности отклика по результатам проведенного многофакторного эксперимента.

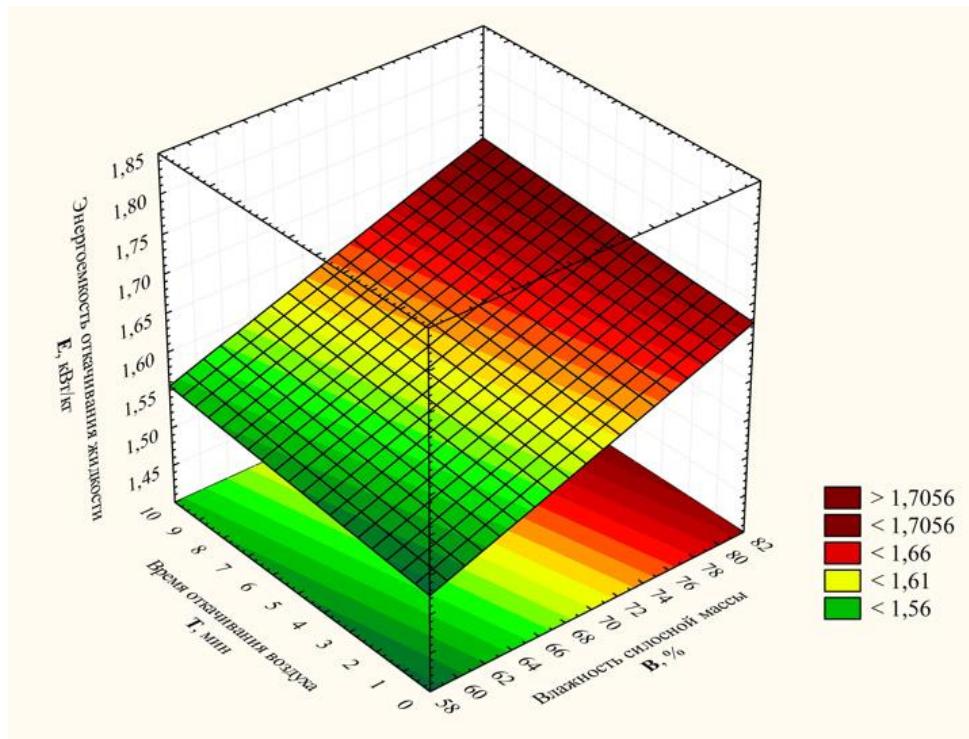


Рисунок Л.4 – Зависимость энергоемкости процесса от влажности силосуемой массы и времени прокачивания воздуха

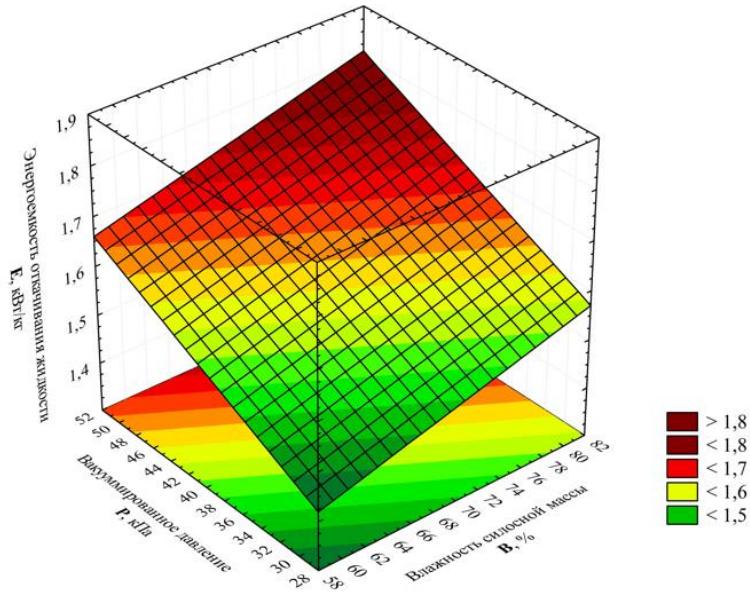


Рисунок Л. 5 - Зависимость энергоемкости процесса от влажности силосуемой массы и вакуумметрического давления

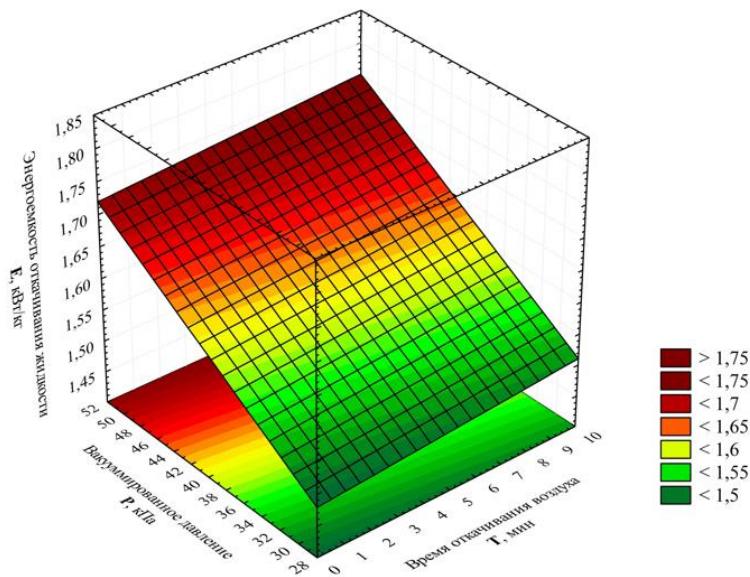


Рисунок Л.6 - Зависимость энергоемкости процесса от времени прокачивания воздуха и вакуумметрического давления

Из анализа графических зависимостей, представленных на рисунках Л.1 – Л.6, а также пошаговой обработки полученных данных в программе «Statistica», решаем компромиссную задачу.

Продолжение приложения Л

Таблица Л.10 - Обработка полученных данных в программе «Statistica»

Влажность, Время, Вакуум	Объем откаченной жидкости	Энергоемкость	Влажность, Время, Вакуум	Объем откаченной жидкости	Энергоемкость
f2[75,1,50]	3.4625	1.7325	f2[75,3,50]	3.69375	1.74625
f2[75,1,49]	3.38125	1.72487	f2[75,3,49]	3.61875	1.73675
f2[75,1,48]	3.3	1.71725	f2[75,3,48]	3.54375	1.72725
f2[75,1,47]	3.21875	1.70962	f2[75,3,47]	3.46875	1.71775
f2[75,1,46]	3.1375	1.702	f2[75,3,46]	3.39375	1.70825
f2[75,1,45]	3.05625	1.69437	f2[75,3,45]	3.31875	1.69875
f2[75,1,44]	2.975	1.68675	f2[75,3,44]	3.24375	1.68925
f2[75,1,43]	2.89375	1.67912	f2[75,3,43]	3.16875	1.67975
f2[75,1,42]	2.8125	1.6715	f2[75,3,42]	3.09375	1.67025
f2[75,1,41]	2.73125	1.66387	f2[75,3,41]	3.01875	1.66075
f2[75,1,40]	2.65	1.65625	f2[75,3,40]	2.94375	1.65125
f2[75,1,39]	2.56875	1.64862	f2[75,3,39]	2.86875	1.64175
f2[75,1,38]	2.4875	1.641	f2[75,3,38]	2.79375	1.63225
f2[75,1,37]	2.40625	1.63337	f2[75,3,37]	2.71875	1.62275
f2[75,1,36]	2.325	1.62575	f2[75,3,36]	2.64375	1.61325
f2[75,1,35]	2.24375	1.61812	f2[75,3,35]	2.56875	1.60375
f2[75,1,34]	2.1625	1.6105	f2[75,3,34]	2.49375	1.59425
f2[75,1,33]	2.08125	1.60287	f2[75,3,33]	2.41875	1.58475
f2[75,1,32]	2.	1.59525	f2[75,3,32]	2.34375	1.57525
f2[75,1,31]	1.91875	1.58762	f2[75,3,31]	2.26875	1.56575
f2[75,1,30]	1.8375	1.58	f2[75,3,30]	2.19375	1.55625
f2[75,2,50]	3.57812	1.73937	f2[75,4,50]	3.80937	1.75312
f2[75,2,49]	3.5	1.73081	f2[75,4,49]	3.7375	1.74269
f2[75,2,48]	3.42187	1.72225	f2[75,4,48]	3.66562	1.73225
f2[75,2,47]	3.34375	1.71369	f2[75,4,47]	3.59375	1.72181
f2[75,2,46]	3.26562	1.70512	f2[75,4,46]	3.52187	1.71137
f2[75,2,45]	3.1875	1.69656	f2[75,4,45]	3.45	1.70094
f2[75,2,44]	3.10937	1.688	f2[75,4,44]	3.37812	1.6905
f2[75,2,43]	3.03125	1.67944	f2[75,4,43]	3.30625	1.68006
f2[75,2,42]	2.95312	1.67087	f2[75,4,42]	3.23437	1.66962
f2[75,2,41]	2.875	1.66231	f2[75,4,41]	3.1625	1.65919
f2[75,2,40]	2.79687	1.65375	f2[75,4,40]	3.09062	1.64875
f2[75,2,39]	2.71875	1.64519	f2[75,4,39]	3.01875	1.63831
f2[75,2,38]	2.64062	1.63662	f2[75,4,38]	2.94687	1.62787
f2[75,2,37]	2.5625	1.62806	f2[75,4,37]	2.875	1.61744
f2[75,2,36]	2.48437	1.6195	f2[75,4,36]	2.80312	1.607
f2[75,2,35]	2.40625	1.61094	f2[75,4,35]	2.73125	1.59656
f2[75,2,34]	2.32812	1.60237	f2[75,4,34]	2.65937	1.58612
f2[75,2,33]	2.25	1.59381	f2[75,4,33]	2.5875	1.57569
f2[75,2,32]	2.17187	1.58525	f2[75,4,32]	2.51562	1.56525
f2[75,2,31]	2.09375	1.57669	f2[75,4,31]	2.44375	1.55481
f2[75,2,30]	2.01562	1.56812	f2[75,4,30]	2.37187	1.54437

Влажность, Время, Вакуум	Объем откаченной жидкости	Энергоемкость	Влажность, Время, Вакуум	Объем откаченной жидкости	Энергоемкость
f2[75,5,50]	3.925	1.76	f2[75,7,50]	4.15625	1.77375
f2[75,5,49]	3.85625	1.74862	f2[75,7,49]	4.09375	1.7605
f2[75,5,48]	3.7875	1.73725	f2[75,7,48]	4.03125	1.74725
f2[75,5,47]	3.71875	1.72587	f2[75,7,47]	3.96875	1.734
f2[75,5,46]	3.65	1.7145	f2[75,7,46]	3.90625	1.72075
f2[75,5,45]	3.58125	1.70312	f2[75,7,45]	3.84375	1.7075
f2[75,5,44]	3.5125	1.69175	f2[75,7,44]	3.78125	1.69425
f2[75,5,43]	3.44375	1.68037	f2[75,7,43]	3.71875	1.681
f2[75,5,42]	3.375	1.669	f2[75,7,42]	3.65625	1.66775
f2[75,5,41]	3.30625	1.65762	f2[75,7,41]	3.59375	1.6545
f2[75,5,40]	3.2375	1.64625	f2[75,7,40]	3.53125	1.64125
f2[75,5,39]	3.16875	1.63487	f2[75,7,39]	3.46875	1.628
f2[75,5,38]	3.1	1.6235	f2[75,7,38]	3.40625	1.61475
f2[75,5,37]	3.03125	1.61212	f2[75,7,37]	3.34375	1.6015
f2[75,5,36]	2.9625	1.60075	f2[75,7,36]	3.28125	1.58825
f2[75,5,35]	2.89375	1.58937	f2[75,7,35]	3.21875	1.575
f2[75,5,34]	2.825	1.578	f2[75,7,34]	3.15625	1.56175
f2[75,5,33]	2.75625	1.56662	f2[75,7,33]	3.09375	1.5485
f2[75,5,32]	2.6875	1.55525	f2[75,7,32]	3.03125	1.53525
f2[75,5,31]	2.61875	1.54387	f2[75,7,31]	2.96875	1.522
f2[75,5,30]	2.55	1.5325	f2[75,7,30]	2.90625	1.50875
<hr/>					
f2[75,6,50]	4.04062	1.76687	f2[75,8,50]	4.27187	1.78062
f2[75,6,49]	3.975	1.75456	f2[75,8,49]	4.2125	1.76644
f2[75,6,48]	3.90937	1.74225	f2[75,8,48]	4.15312	1.75225
f2[75,6,47]	3.84375	1.72994	f2[75,8,47]	4.09375	1.73806
f2[75,6,46]	3.77812	1.71762	f2[75,8,46]	4.03437	1.72387
f2[75,6,45]	3.7125	1.70531	f2[75,8,45]	3.975	1.70969
f2[75,6,44]	3.64687	1.693	f2[75,8,44]	3.91562	1.6955
f2[75,6,43]	3.58125	1.68069	f2[75,8,43]	3.85625	1.68131
f2[75,6,42]	3.51562	1.66837	f2[75,8,42]	3.79687	1.66712
f2[75,6,41]	3.45	1.65606	f2[75,8,41]	3.7375	1.65294
f2[75,6,40]	3.38437	1.64375	f2[75,8,40]	3.67812	1.63875
f2[75,6,39]	3.31875	1.63144	f2[75,8,39]	3.61875	1.62456
f2[75,6,38]	3.25312	1.61912	f2[75,8,38]	3.55937	1.61037
f2[75,6,37]	3.1875	1.60681	f2[75,8,37]	3.5	1.59619
f2[75,6,36]	3.12187	1.5945	f2[75,8,36]	3.44062	1.582
f2[75,6,35]	3.05625	1.58219	f2[75,8,35]	3.38125	1.56781
f2[75,6,34]	2.99062	1.56987	f2[75,8,34]	3.32187	1.55362
f2[75,6,33]	2.925	1.55756	f2[75,8,33]	3.2625	1.53944
f2[75,6,32]	2.85937	1.54525	f2[75,8,32]	3.20312	1.52525
f2[75,6,31]	2.79375	1.53294	f2[75,8,31]	3.14375	1.51106
f2[75,6,30]	2.72812	1.52062	f2[75,8,30]	3.08437	1.49687

Продолжение приложения Л

Влажность, Время, Вакуум	Объем откаченной жидкости	Энергоемкость	Влажность, Время, Вакуум	Объем откаченной жидкости	Энергоемкость
f2[75,9,50]	4.3875	1.7875			
f2[75,9,49]	4.33125	1.77237			
f2[75,9,48]	4.275	1.75725			
f2[75,9,47]	4.21875	1.74212			
f2[75,9,46]	4.1625	1.727			
f2[75,9,45]	4.10625	1.71187			
f2[75,9,44]	4.05	1.69675			
f2[75,9,43]	3.99375	1.68162			
f2[75,9,42]	3.9375	1.6665			
f2[75,9,41]	3.88125	1.65137			
f2[75,9,40]	3.825	1.63625			
f2[75,9,39]	3.76875	1.62112			
f2[75,9,38]	3.7125	1.606			
f2[75,9,37]	3.65625	1.59087			
f2[75,9,36]	3.6	1.57575			
f2[75,9,35]	3.54375	1.56062			
f2[75,9,34]	3.4875	1.5455			
f2[75,9,33]	3.43125	1.53037			
f2[75,9,32]	3.375	1.51525			
f2[75,9,31]	3.31875	1.50012			
f2[75,9,30]	3.2625	1.485			

ПРИЛОЖЕНИЕ М

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «СТАНЦИЯ АГРОХИМИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ «РЯЗАНСКАЯ»

АККРЕДИТОВАННАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства федерального государственного бюджетного учреждения «Станция агрохимической службы «Рязанская»

Юридический адрес:
390025, г. Рязань, ул. Щорса, д. 38а
тел. (4912)98-56-64 факс. (4912)98-55-57
e-mail: agrohim_62_1@mail.ru

Аттестат аккредитации
Рег. № RA.RU.21AC16



ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 30/17

1. Наименование заказчика: Боронтова Мария Александровна
2. Адрес заказчика: г. Рязань, ул. Загородная, д.12, кв.15
3. Наименование испытуемых образцов (проб): Силос кукурузный расплющенный
4. Количество проб: 1
5. Место и дата отбора проб: Рязанская область, Рязанский район, с. Разбердеево; 27.01.2017 г.
6. Цель отбора образцов (проб): Оценка качества и питательности кормов
7. Дата и время получения образцов (проб): 27 января 2017 г.
8. Сопроводительный документ: Заявка № 16/17 от 27 января 2017 г.
9. Дата проведения испытаний: С 27.01.2017 г. по 03.02.2017 г.

Продолжение приложения М

Продолжение протокола № 30/17
Лист 2
Всего листов 2

10. Климатические условия проведения испытаний:

Относительная влажность воздуха: 63 %

Температура воздуха: 22 °C

11. Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	Свидетельство о поверке	Срок действия	Кем выдано свидетельство
1	Анализатор жидкости «Экотест-2000»	633	№ 14115	До 11.08.2017 г.	ФБУ «Рязанский ЦСМ»
2	Спектрофотометр ПЭ 5400УФ	UEC 1206015	№ 54472	До 30.11.2017 г.	ФБУ «Рязанский ЦСМ»
3	Анализатор азота Hannon K1100F	K221250034	№ 67843	До 14.12.2017 г.	ФБУ «Рязанский ЦСМ»

12. Результаты испытаний:

Номер пробы в ИЛ – <u>с9</u>		Код (шифр) заявителя - <u>Силос кукурузный расплющенный</u>	
Наименование показателей, размерность	НД, регламентирующие методики проведения испытаний	Фактическое значение показателей	Погрешность метода испытаний
– Цвет		Зеленый (желто-зеленый)	
– Запах		Ароматный (хлебный)	
Наличие плесени, ослизостей	ГОСТ 23638-90	Отсутствие	
Содержание сухого вещества, %	ГОСТ 31640-2012	35,49	± 0,35
pH, единицы pH	ГОСТ 26180-84	3,6	± 0,1
<u>Массовая доля в пересчете на сухое вещество, %:</u>			
- сырого протеина	ГОСТ 13496.4-93	8,09	± 0,08
- сырой клетчатки	ГОСТ 52839-2007	31,05	± 0,31
- сырой золы	ГОСТ 26226-95	1,62	± 0,02
<u>Массовая доля при естественной влажности:</u>			
- масличной кислоты, абс. %	ГОСТ 23637-90	0,05	± 0
- молочной кислоты, относ. %	ГОСТ 23637-90	79	± 0,08
- каротина, мг/кг	ГОСТ 13496.17-95	3	± 0,3
- нитратов, мг/кг	ГОСТ 13496.19-93	250	± 35
<u>Питательность 1 кг корма естественной влажности:</u>			
- обменная энергия, МДж	МУ по оценке качества и питательности кормов, ЦИНАО, 1993 г.	3,58	-
- кормовые единицы, кг		0,32	-
- перевариваемый протеин, г		13,7	-

13. Ответственный за оформление протокола:

Макарова С. А.

14. Исполнители:

Карпова В. Н.

Никитина Л. А.

Бычкова М. А.

Протокол касается только образцов, подвергнутых испытанию.
Протокол испытаний не может быть воспроизведен полностью или частично без письменного разрешения ИЛ ФГБУ «САС «Рязанская».

7

Продолжение приложения М

Продолжение протокола № 30/17
Лист 3
Всего листов 2

Дополнение к Протоколу испытаний № 30/17

Наименование продукции	Наименование показателей	Методические указания по оценке качества и питательности кормов	Класс качества
Силос кукурузный расплющенный	Сухое вещество	Не менее 25	1
	Сырой протеин	Не менее 8	2
	pH	3,6-4,4	3
	Сырая клетчатка	Не более 33	3
	Молочная кислота	Не менее 55	1
	Масляная кислота	Не более 0,1	1
	Обменная энергия	Не менее 2,5	1
	Кормовые единицы	Не менее 0,22	1
Вывод:			1

Протокол касается только образцов, подвергнутых испытанию.
Протокол испытаний не может быть воспроизведен полностью или частично без письменного разрешения ИЛ ФГБУ «САС «Рязанская».

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «СТАНЦИЯ АГРОХИМИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ «РЯЗАНСКАЯ»

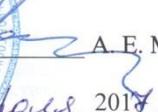
АККРЕДИТОВАННАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства федерального государственного бюджетного учреждения «Станция агрохимической службы «Рязанская»

Юридический адрес:

390025, г. Рязань, ул. Щорса, д. 38а
тел. (4912)98-56-64 факс. (4912)98-55-57
e-mail: agrohim_62_1@mail.ru

Аттестат аккредитации
Рег. № RA.RU.21AC16

Утверждаю
Начальник ИЛ

М.П.  А. Е. Морозов



ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 31/17

1. Наименование заказчика: Боронтова Мария Александровна
2. Адрес заказчика: г. Рязань, ул. Загородная, д.12, кв.15
3. Наименование испытуемых образцов (проб): Силос кукурузный
4. Количество проб: 1
5. Место и дата отбора проб: Рязанская область, Рязанский район, с. Разбердеево; 27.01.2017 г.
6. Цель отбора образцов (проб): Оценка качества и питательности кормов
7. Дата и время получения образцов (проб): 27 января 2017 г.
8. Сопроводительный документ: Заявка № 16/17 от 27 января 2017 г.
9. Дата проведения испытаний: С 27.01.2017 г. по 03.02.2017 г.

Продолжение приложения Н

Продолжение протокола № 31/17
Лист 2
Всего листов 2

10. Климатические условия проведения испытаний:

Относительная влажность воздуха: 63 %

Температура воздуха: 22 °C

11. Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	Свидетельство о поверке	Срок действия	Кем выдано свидетельство
1	Анализатор жидкости «Экотест-2000»	633	№ 14115	До 11.08.2017 г.	ФБУ «Рязанский ЦСМ»
2	Спектрофотометр ПЭ 5400УФ	UEC 1206015	№ 54472	До 30.11.2017 г.	ФБУ «Рязанский ЦСМ»
3	Анализатор азота Hannpol K1100F	K221250034	№ 67843	До 14.12.2017 г.	ФБУ «Рязанский ЦСМ»

12. Результаты испытаний:

Номер пробы в ИЛ – <u>с10</u>		Код (шифр) заявителя - <u>Силос кукурузный</u>	
Наименование показателей, размерность	НД, регламентирующие методики проведения испытаний	Фактическое значение показателей	Погрешность метода испытаний
- Цвет	ГОСТ 23638-90	Зеленый (желто-зеленый)	
- Запах		Ароматный (хлебный)	
Наличие плесени, ослизлостей		Отсутствие	
Содержание сухого вещества, %	ГОСТ 31640-2012	34,61	± 0,35
pH, единицы pH	ГОСТ 26180-84	3,7	± 0,1
<i>Массовая доля в пересчете на сухое вещество, %:</i>			
- сырого протеина	ГОСТ 13496.4-93	8,33	± 0,08
- сырой клетчатки	ГОСТ 52839-2007	30,36	± 0,31
- сырой золы	ГОСТ 26226-95	1,58	± 0,02
<i>Массовая доля при естественной влажности:</i>			
- масляной кислоты, абс. %	ГОСТ 23637-90	0,05	± 0
- молочной кислоты, относ. %	ГОСТ 23637-90	79	± 0,08
- каротина, мг/кг	ГОСТ 13496.17-95	3	± 0,3
- нитратов, мг/кг	ГОСТ 13496.19-93	287	± 40
<i>Питательность 1 кг корма естественной влажности:</i>			
- обменная энергия, МДж	МУ по оценке качества и питательности кормов, ЦИНАО, 1993 г.	3,5	-
- кормовые единицы, кг		0,32	-
- перевариваемый протеин, г		14,2	-

13. Ответственный за оформление протокола:

Макарова С. А.

14. Исполнители:

Карпова В. Н.

Никитина Л. А.

Бычкова М. А.

Протокол касается только образцов, подвергнутых испытанию.

Протокол испытаний не может быть воспроизведен полностью или частично без письменного разрешения ИЛ ФГБУ «САС «Рязанская».

Продолжение приложения Н

Продолжение протокола № 31/17
Лист 3
Всего листов 2

Дополнение к Протоколу испытаний № 31/17

Наименование продукции	Наименование показателей	Методические указания по оценке качества и питательности кормов	Класс качества
Силос кукурузный	Сухое вещество	Не менее 25	1
	Сырой протеин	Не менее 8	2
	pH	3,6-4,4	3
	Сырая клетчатка	Не более 30	2
	Молочная кислота	Не менее 55	1
	Масляная кислота	Не более 0,1	1
	Обменная энергия	Не менее 2,5	1
	Кормовые единицы	Не менее 0,22	1
Вывод:			1

Протокол касается только образцов, подвергнутых испытанию.
Протокол испытаний не может быть воспроизведен полностью или частично без письменного разрешения ИЛ ФГБУ «САС «Рязанская».

ПРИЛОЖЕНИЕ П

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «Разбердеевское»
«Разбердеевское»
Белкин А.Е.

«25» 10 2016 г

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО РГАТУ
имени П.А. Костычева
проф. д.т.н.

Вышлов Н.В.
«25» 10 2016 г

Акт

Мы, ниже подписавшиеся, от ООО «Разбердеевское» Спасского района Рязанской области агроном Левин М.Н. и инженер Сеняев А. М. с одной стороны, и от Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» заведующий кафедрой технических систем в АПК Ульянов В.М., аспиранта Боронтова М.А. с другой стороны, составили настоящий акт о том, что с 16 сентября 2016 г по 16 ноября 2016 г в производственных условиях ООО «Разбердеевское» проводились испытания приготовления и хранения силоса в вакуумированных контейнерах с удалением жидкой фракции. Конструкция контейнера была разработана в ФГБОУ ВО РГАТУ. Контейнер для силосования кормов содержит емкость из воздухонепроницаемой пленки с поперечным сечением в виде квадрата, которая в верхней части имеет горловину для загрузки силосуемой массы. К нижней части стенки контейнера герметично прикреплена жесткая вставка с резьбой, в которую с внешней стороны контейнера ввернут клапан для отсоса жидкой фракции и воздуха, а внутри контейнера к ней подсоединен трубчатый коллектор, выполненный по форме внутренней поверхности контейнера. В качестве исходного сырья для приготовления силоса использована кукуруза сорта «Родник-180» с початками в фазе восковой спелости, возделываемая в

хозяйстве. Зеленый корм, подлежащий силосованию, прошел проверку на состав и питательность в лаборатории по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства федерального государственного бюджетного учреждения «Станция агрохимической службы «Рязанская».

В результате проведенного производственного эксперимента установлены следующие технико-экономические характеристики мягкого вакуумированного контейнера с устройством для отвода жидкости для приготовления силоса:

- размеры контейнера, м	1,0x1,0x1,0;
- объем контейнера, м ³	1,0;
- плотность измельченной массы кукурузы в контейнере, кг/м ³	770...800;
- масса полученного силоса, кг	400;
- количество откаченной жидкости (сок, дождевая вода), л	23,5;
- величина вакуума, кПа	50...55;
- вакуумная система	АИД-1;

Приготовление силоса в мягких контейнерах осуществлялось следующим образом. Скошенная и измельченная зеленая масса кукурузы доставлялась с поля на прифермерскую площадку и выгружалась в бункер. Откуда происходило заполнение мягких контейнеров измельченной силосуемой массой. Затем клапан мягкого контейнера подключали к шлангу агрегата АИД-1 и откачивали воздух с жидкой фракцией через доильное ведро агрегата. Затем мягкий контейнер герметизировали путем запаивания пленки в верхней части горловины. После герметизации из контейнера откачивают воздух через обратный клапан агрегатом АИД-1. В результате чего силосуемая масса в контейнере уплотнялась и контейнер готов к хранению, для чего их укладывали в штабель в ангаре.

За период производственных исследований было приготовлено с дальнейшим хранением силос в количестве 3,6 т.

Продолжение приложения П

Характеристика силоса после двух месяцев хранения в мягких вакуумированных контейнерах с устройством для отвода жидкости:

- класс силоса	1 класс;
- массовая доля сухого вещества, %	34,61
- массовая доля в пересчете на сухое вещество:	
сырого протеина, %	8,33
сырой клетчатки, %	30,36
сырой золы, %	1,58
pH, единицы pH	3,7

Испытание качества силоса подтверждено запротоколированными данными лабораторией по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства федерального государственного бюджетного учреждения «Станция агрохимической службы «Рязанская».

Таким образом, силос, приготовленный и прошедший хранение в контейнерах из воздухонепроницаемой пленки, имеет высокое качество. Поэтому технологию приготовления и хранения силоса в мягких вакуумированных контейнерах с устройством для отвода жидкости следует рекомендовать к внедрению в производство.

От ООО «Разбердеевское»:

агроном

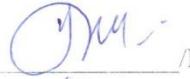
 /М. Н. Левин/

инженер

 /А. М. Сеняев/

От ФГБОУ ВО РГАТУ

д. т. н., профессор

 /В.М. Ульянов/

аспирант

 /М.А.Боронтова/