

На правах рукописи

Смотряков Дмитрий Андреевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА
ФОРМИРОВАНИЯ СУБСТРАТНЫХ БЛОКОВ
ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ГРИБОВ
ПУТЕМ ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ
И РАЗРАБОТКИ ПОРШНЕВОГО ПРЕССА**

Специальность 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова».

Научный руководитель – **Павлов Павел Иванович**,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Фролов Владимир Юрьевич**,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Механизация
животноводства и БЖД» ФГБОУ ВО
«Кубанский государственный аграрный
университет имени И. Т. Трубилина»

Назаров Игорь Васильевич,
кандидат технических наук, доцент
Азово-Черноморский инженерный
институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ,
доцент кафедры «Технологии и средства
механизации агропромышленного
комплекса»

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет».

Защита диссертации состоится « ___ » _____ 2025 г. в ___
на заседании диссертационного совета 35.2.035.03 на базе ФГБОУ
ВО «Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» по адресу: г.
Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО
«Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» и на сайте
<http://www.vavilovsar.ru/>

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 410012, г.
Саратов, пр. им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3., ученому
секретарю диссертационного совета 35.2.035.03, e-mail:
chekmarev.v@yandex.ru

Автореферат разослан « ___ » _____ 2025 г.

**Ученый секретарь
диссертационного совета**

**Василий Васильевич
Чекмарёв**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Выращивание грибов становится всё более востребованным направлением сельского хозяйства, что связано с растущим спросом на продукцию, обладающую высокими пищевыми и диетическими качествами. Грибы являются источником белка, витаминов и микроэлементов, при этом они обладают низким содержанием жиров и углеводов, что делает их ценным продуктом. В последние годы особое внимание уделяется развитию технологии промышленного грибоводства, которая позволяет обеспечить стабильное производство грибов в больших объёмах, удовлетворяя потребности рынка.

В России грибное производство за последние 7 лет выросло в 10 раз, однако оно не может полностью удовлетворить имеющийся спрос. Объем производства грибов в России 86,3 тыс. т, при этом в ежегодно в нашей стране потребляется до 180 тыс. т.

Грибы вешенки получили наибольшее распространение и выращиваются на специально подготовленных субстратных блоках. Распространена ксеротермическая технология подготовки субстрата, которая отличается высоким уровнем технологичности. Субстрат для выращивания грибов включает в себя разнообразные компоненты, содержащие легниноцеллюлозу. Используют солому, лузгу подсолнечника, древесную щепу и др.

Важную роль играют машины для формирования субстратных блоков. В настоящее время серийное производство таких машин практически отсутствует. В промышленном грибоводстве используют оборудование, разработанное самими грибоводческими предприятиями.

Наибольшее распространение получили технологические схемы изготовления субстратных блоков сжатием субстрата в корпусе пресса за счет использования гидроцилиндров с поршнем. Субстрат дозируют, в него вносят рассчитанное количество посевного материала, далее следует загрузка в камеру сжатия, затем субстрат сжимается и подается через фильеру в полиэтиленовый пакет.

Проведенный анализ существующих конструкций машин, используемых для механизации формирования субстратных блоков, показал, что их применение в условиях промышленного производства требует повышенных трудозатрат, многие конструкции не обеспечивают необходимых качественных характеристик при формировании субстратных блоков.

Степень разработанности темы. Вопросами разработки и обоснования параметров прессов для различных отраслей сельскохозяйственного производства занимались отечественные ученые В. Ю. Фролов, И. Н. Краснов, Т. А. Мальцева, И. В. Назаров, Д. В. Гурьянов, Л. Н. Родина и др.

Вместе с тем исследований процессов формирования субстратных блоков для выращивания грибов недостаточно. Также практически отсутствует обоснование параметров машин данного назначения. В связи с этим применяемые разработки часто не обеспечивают необходимых характеристик субстратных блоков, что приводит к снижению эффективности производства.

Цель работы – Обоснование конструктивно-режимных параметров гидравлического поршневого пресса, обеспечивающего требуемое качество и повышение производительности формирования субстратных блоков.

Задачи исследований:

- на основе анализа существующих исследований технических средств, используемых для формирования субстратных блоков, определить возможность повышения их эффективности и разработать новую конструкционную схему гидравлического поршневого пресса;
- провести анализ основных физико-механических характеристик исходных материалов субстрата, используемого для искусственного культивирования грибов;
- исследовать теоретически процесс изготовления субстратного блока и разработать аналитические выражения для определения усилий взаимодействия рабочих органов, производительности и энергоемкости предлагаемого пресса;
- провести экспериментальные исследования для выявления влияния конструктивных параметров и режимов движения поршня на качество формирования субстратных блоков и усилия взаимодействия поршня с субстратом;
- провести испытания предлагаемой конструкции пресса для формирования субстратных блоков в условиях производства и определить его технико-экономическую эффективность.
- **Объект исследования** – технологический процесс формирования субстратного блока в поршневом прессе при культивировании грибов.

Предмет исследования – закономерности изменения усилий взаимодействия и качественных показателей субстратных блоков от конструктивных параметров и режимов работы пресса.

Научная новизна работы состоит:

- в обосновании новой конструктивно-технологической схемы поршневого пресса, оснащенного камерой сжатия переменного сечения;

- в получении аналитических выражений для определения усилий взаимодействия поршня с субстратом, мощности привода, производительности и энергоемкости гидравлического поршневого пресса для формирования субстратных блоков;

- в получении экспериментальных зависимостей и уравнений регрессии, описывающих влияние параметров пресса на плотность получаемого субстратного блока, усилий его прессования и формирования.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в получении аналитических выражений, используемых для определения необходимых производительности и энергоемкости рабочих органов пресса. Проведен силовой анализ, описывающий процесс формирования субстратного блока. Обоснованы конструктивные и режимные параметры. Полученные результаты могут быть использованы для определения параметров прессов грибного субстрата в проектных и конструкторских организациях при различных условиях на стадии проектирования. Внедрен в производство и прошел производственные испытания в ООО «Дерли».

Методология и методы исследования. Основу методологических исследований составили методы системного анализа и математической статистики. Теоретические исследования проводили на основании математического анализа и классической механики. Экспериментальные исследования были проведены с применением существующих ГОСТов и методик; также были разработаны частные экспериментальные методики. Результаты экспериментов обрабатывали при помощи ПК и типовых программ MathCad и Excel.

Положения, выносимые на защиту:

- теоретическое обоснование конструктивно-технологической схемы гидравлического поршневого пресса для грибного субстрата;

- аналитические зависимости, позволяющие определить влияние конструктивных и режимных параметров на значения усилия

взаимодействия поршня с субстратом, необходимой приводной мощности пресса, а также производительности и энергоёмкости процесса формирования субстратных блоков;

- результаты экспериментально-теоретического обоснования рациональных конструктивных и режимных параметров поршневого пресса.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов экспериментов подтверждена необходимым количеством проведенных исследований, а также их высокой степенью точности, осуществлением статистического анализа полученных данных при помощи типового программного обеспечения; применены современные методики для обработки полученных в ходе исследования экспериментальных данных; в ходе проведения эксперимента использованы поверенные измерительные приборы.

Основные положения научно-квалификационной работы были изложены на конференциях профессорско-преподавательского состава по итогам научно-исследовательской деятельности за 2021–2024 гг. Саратовского государственного аграрного университета имени Н. И. Вавилова; на Международном научно-техническом конференции им. В. В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» (Саратов, Вавиловский университет, 2023 и 2024 гг.); на Региональной научно-технической конференции, посвященной 110-летию Вавиловского университета «Проблемы и перспективы развития АПК: технические и сельскохозяйственные науки».

По результатам исследований опубликовано 10 печатных работ, в том числе 2 статьи в рецензируемых журналах, получены 2 патента РФ. Общий объём публикаций составляет 1,75 печ. л., из которых 1,1 печ. л. принадлежат лично соискателю.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 120 наименований (в том числе 5 на иностранном языке). Текст диссертации изложен на 148 страницах компьютерного текста, содержит 6 таблиц, 61 рисунок и 5 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы работы, а также изложены основные научные положения и приведены отдельные статистические показатели.

В первой главе «*Состояние вопроса, цель и задачи исследований*» рассмотрены существующие машины, которые могут быть применены для формирования субстратных блоков. Проанализированы существующие технологические схемы подготовки субстрата для грибов. Установлено, что для повышения эффективности необходимо сократить количество операций при формировании субстратного блока и обеспечить его равномерную плотность. Определены параметры качества субстратного блока.

Анализ показал, что исследований, направленных на обоснование параметров машин для подготовки субстрата для выращивания грибов недостаточно. В результате процесс формирования блока сопровождается низкой производительностью и недостаточным качеством. Создание поршневого пресса, способного обеспечить формирование блока грибного субстрата при требуемых параметрах производительности и качества, а также обоснование его параметров являются актуальной задачей.

Во второй главе «*Теоретическое исследование процесса формирования блока субстрата для выращивания грибов поршневым прессом*» на основании положений классической механики и математического анализа представлены результаты проведенного исследования процесса формирования субстратных блоков.

В существующих прессах блок субстрата формируется в канале прямоугольного сечения. Субстрат, на который воздействует поршень силой $F_{\text{п}}$, оказывается в объеме, ограниченном стенками корпуса. Проведенный силовой анализ формирования блока при указанных условиях показывает различие в силах, действующих на сжимаемый субстрат на боковых, верхней и нижней стенках. Теоретически установлено, что на верхней стенке сила нормального давления меньше, чем на нижней. Вследствие этого возникает неравномерное уплотнение субстрата. Вблизи нижней стенки плотность выше, чем у верхней, что ухудшает качество блока.

Для повышения эффективности данного процесса создана новая конструкция машины (пресса) для формирования блоков грибного субстрата. Ее отличие от существующих конструкций состоит в том, что камера сжатия имеет переменное сужающееся сечение.

Пресс для наполнения пакетов субстратом для выращивания грибов (рисунок 1) содержит корпус 1, установленный на раму 2, камеру загрузки 3, гидроцилиндр 4 с поршнем, камеру прессова-

ния 5, фильеру 6, масляную станцию 7, полиэтиленовый пакет 8, стол 9 для пакета, наполненного субстратом.

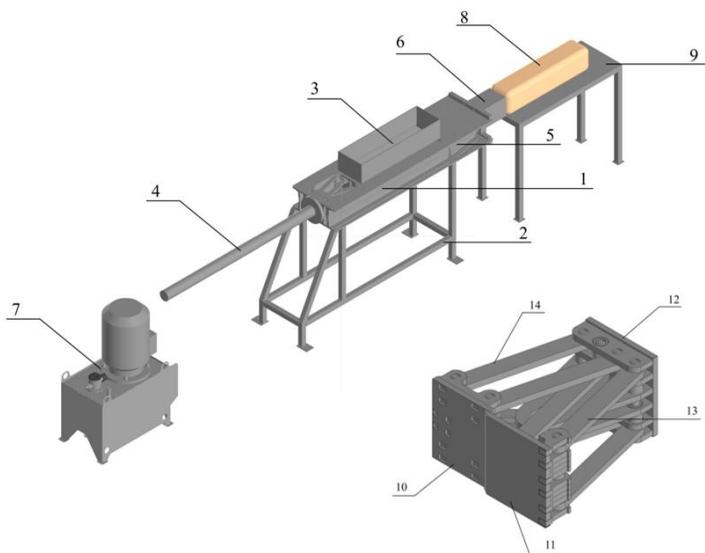


Рисунок 1 – Пресс для наполнения пакетов грибным субстратом

В корпусе 1 закреплен гидроцилиндр 4 с поршнем, для привода использована масляная станция 7. Между корпусом 1 и фильерой 6 расположена камера прессования 5. Для получения равномерной плотности субстрата она выполнена сужающейся в сторону фильеры. Опорой при наполнении пакета с субстратом служит на стол 9.

Для обеспечения возможности движения в сужающейся части камеры и прессования субстрата поршень выполнен в виде двух подвижных соприкасающихся рабочих пластин 10, 11, которые шарнирно закреплены на основании 12 с возможностью перемещения относительно друг друга с помощью рычагов 13, 14.

Наполнение пакетов грибным субстратом происходит следующим образом. В исходном положении шток гидроцилиндра 4 с поршнем втянут. Субстрат поступает в эту камеру 3, а из нее – в корпус 1. При включении устройства поршень при движении смещает субстрат к камере прессования 5. Далее субстрат попадает в камеру прессования 5, имеющую уменьшающееся сечение. Субстрат, выталкиваемый поршнем при прохождении через сужение, сжимается и через фильеру 6 наполняет полиэтиленовый пакет 8.

При движении поршня внешняя и внутренняя рабочие пластины 10, 11 смещаются относительно друг друга благодаря шарнирному креплению на основании 12 с помощью рычагов 13,14.

Такая конструкция обеспечивает следующие преимущества: субстратные блоки формируются требуемой и равномерной плотности и повышается производительность процесса.

В процессе формирования блока одним из основных параметров является усилие прессования, или усилие на поршне $F_{\text{п}}$. Анализ позволил выделить три положения, отличающиеся силами, действующими на субстрат (рисунок 2). В первом положении происходит разгон и предварительное обжатие поступившей массы субстрата. Во втором положении за счет уменьшения поперечного сечения корпуса пресса осуществляется основное сжатие субстрата до требуемой плотности формирующегося блока. В третьем положении сформированный блок подается в упаковочный пакет.

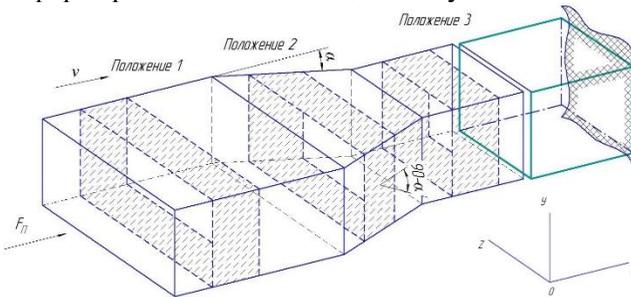


Рисунок 2 – Схема канала в предлагаемом прессе

В положении 1 (рисунок 3) порция субстрата поступает в корпус и при движении поршня разгоняется и сжимается на участке прямоугольной формы с прямыми стенками.

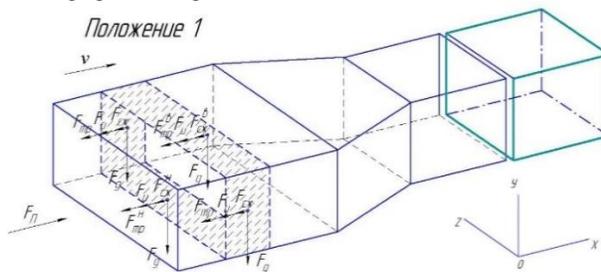


Рисунок 3 – Схема сил, действующих на субстрат в первом положении

На элементарный объем в первом положении действуют: сила тяжести F_g , направленная вертикально вниз; сила трения $F_{\text{тр}}$, направленная в сторону, противоположную движению поршня и субстрата; сила инерции $F_{\text{и}}$, также направленная в сторону, противоположную движению поршня и субстрата массой m ; сила предварительного сжатия $F_{\text{сж}}$, создающая сопротивление движению поршня и поэтому также направленная в сторону, противоположную движению поршня и субстрата.

Силы, действующие на боковые, нижнюю и верхнюю стенки, будут отличаться друг от друга. Процесс взаимодействия в первом положении практически совпадает с процессом взаимодействия в канале прямоугольного сечения существующих прессов. Проекция суммы сил сопротивления движению поршня на ось OX будет иметь вид:

$$F_{\text{пл}} = 2F_{\text{тр}}^1 + F_{\text{и}} + 2F_{\text{сж}}^1 + F_{\text{тр}}^{\text{H}} + F_{\text{тр}}^{\text{B}} + F_{\text{сж}}^{\text{H}} + F_{\text{сж}}^{\text{B}}, \quad (1)$$

где $F_{\text{тр}}^1$, $F_{\text{тр}}^{\text{B}}$, $F_{\text{тр}}^{\text{H}}$ – силы трения соответственно по боковой, на верхней и нижней стенках корпуса; $F_{\text{сж}}^1$, $F_{\text{сж}}^{\text{H}}$, $F_{\text{сж}}^{\text{B}}$ – силы сжатия субстрата соответственно на боковых, на нижней и верхней стенках.

Сумма проекций сил на боковой стенке:

$$\Sigma F_x^{\text{б}} = F_{\text{и}} - fpA_{\text{б}} - \frac{v}{t}m - k_{\text{сж}}fpA_{\text{б}} = 0. \quad (2)$$

Сумма проекций сил на нижней стенке:

$$\Sigma F_x^{\text{H}} = F_{\text{и}} - f(pA_{\text{H}} + mg) - \frac{v}{t}m - k_{\text{сж}}f(pA_{\text{H}} + mg) = 0. \quad (3)$$

Сумма проекций сил на верхней стенке:

$$\Sigma F_x^{\text{B}} = F_{\text{и}} - f(pA_{\text{B}} - mg) - \frac{v}{t}m - k_{\text{сж}}f(pA_{\text{B}} - mg) = 0. \quad (4)$$

Применительно ко всей массе субстрата M , находящейся в корпусе при формировании блока в первом положении, выражение (1) будет иметь вид:

$$F_{\text{пл}}^1 = 2(fpA_{\text{б}} + k_{\text{сж}}fpA_{\text{б}}) + \frac{v}{t}M + f(pA_{\text{H}} + Mg) + k_{\text{сж}}f(pA_{\text{H}} + Mg) + f(pA_{\text{B}} - Mg) + k_{\text{сж}}f(pA_{\text{B}} - Mg), \quad (5)$$

где f – коэффициент трения субстрата о поверхность стенок корпуса; p – нормальное давление субстрата на стенки корпуса при движении в положении 1; A_6, A_n, A_v – площадь соответственно боковой, нижней и верхней проекций блока на стенки корпуса прессы, $k_{сж}$ – коэффициент сжатия; v – скорость движения поршня; t – время разгона поршня.

Основным процессом является сжатие субстрата (рисунок 4), который движется прямолинейно с постоянной скоростью, равной скорости поршня, поэтому сила инерции отсутствует.

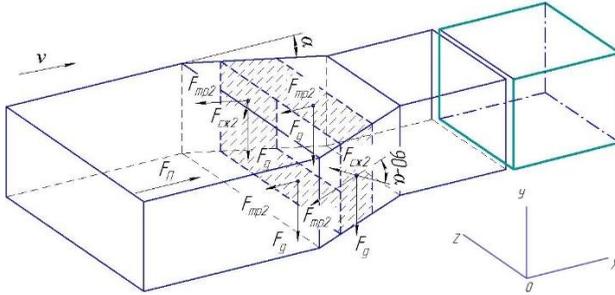


Рисунок 4 – Схема сил, действующих на субстрат

Камера сжатия сужается по боковым стенкам корпуса по ходу поршня, т. е. в направлении движения. Благодаря этому субстрат сжимается, его плотность становится равномерной, давление на боковых, нижней и верхней стенках выравнивается. Поэтому давление p примем одинаковым на всех четырех стенках корпуса.

Сумма проекций сил на ось Ox с учетом принятых условий:

- на верхней и нижней стенках:

$$\Sigma F_x^B = F_{\Pi} - F_{\text{тр}2} = 0; \quad (6)$$

$$\Sigma F_x^H = F_{\Pi} - F_{\text{тр}2} = 0; \quad (7)$$

- на боковых стенках:

$$\Sigma F_x^6 = F_{\Pi} - F_{\text{тр}2} \cos \alpha - F_{\text{сж}2} \sin \alpha = 0. \quad (8)$$

На верхней и нижней стенках нет сил, действующих вдоль оси Oz . На боковых стенках сумма проекций сил на эту ось:

$$\Sigma F_z^6 = F_{\text{тр}2} \sin \alpha - F_{\text{сж}2} \cos \alpha. \quad (9)$$

Сила трения на боковых стенках во втором положении:

$$F_{\text{тр}2} = fp_2 A_{62}, \quad (10)$$

где p_2 – нормальное давление на боковых стенках; A_{62} – площадь проекции боковой стенки.

Нормальное давление на боковых стенках равно напряжениям сжатия $\sigma_{\text{сж}}$ субстрата, тогда сила трения $F_{\text{тр}2}$:

$$F_{\text{тр}2} = f\sigma_{\text{сж}} A_{62}. \quad (11)$$

Сила сжатия субстрата на сужающемся участке также будет определяться сопротивлением сжатию, или напряжениями сжатия:

$$F_{\text{сж}2} = \sigma_{\text{сж}} A_{62}. \quad (12)$$

После преобразований была получена формула для расчета усилия на поршне пресса:

$$F_{\text{п}2} = 2\sigma_{\text{сж}} A_{62} (f + \sin \alpha + f \cos \alpha). \quad (13)$$

Характеристиками, определяющими усилие поршня во втором положении, являются напряжения сжатия субстрата, коэффициент трения по поверхности корпуса, а также площадь взаимодействия.

В третьем положении субстрат также движется с постоянной скоростью, равной скорости движения поршня, боковые стенки канала корпуса пресса – прямые. На сопротивление движению субстрата оказывают влияние сила трения и сила, необходимая для наполнения пакета. Данные силы действуют вдоль оси OX .

Сила трения определяется в данном положении напряжениями сжатия субстрата, поэтому их величина будет равной на всех четырех стенках. Уравнение сил с учетом четырех стенок корпуса:

$$\Sigma F_x^B = F_{\text{п}3} - 2F_{\text{тр}3}^6 - 2F_{\text{тр}3}^H - F_{\text{сж}}^H = 0. \quad (14)$$

Усилие на поршне $F_{\text{п}3}$:

$$F_{\text{п}3} = 2f\sigma_{\text{сж}} A_{63} + 2f\sigma_{\text{сж}} A_{\text{н}3} + F_{\text{сж}}^H = 2f\sigma_{\text{сж}} (A_{63} + A_{\text{н}3}) + F_{\text{сж}}^H, \quad (15)$$

где A_{63} – площадь боковых стенок в третьем положении; $A_{\text{н}3}$ – площадь нижней стенки в этом же положении, равная площади верхней стенки; $F_{\text{сж}}^H$ – сила, необходимая для наполнения пакета.

Таким образом, определены значения силы на поршне пресса для формирования пакета субстрата в трех положениях.

Производительность Q :

$$Q = \frac{abl\rho_k}{t_{\text{п}} + t_{\text{ф}} + t_{\text{с}} + t_{\text{х}}}, \quad (16)$$

где a, b, l – ширина, высота и длина сформированного блока; ρ_k – конечная плотность блока; $t_{\text{п}}$ – время на подачу субстрата в загрузочное устройство; $t_{\text{ф}}$ – время формирования блока; $t_{\text{с}}$ – время на снятие готового блока; $t_{\text{х}}$ – дополнительное время.

Сумма составляющих времени на операции, указанных в выражении (16), определяет время цикла $t_{\text{ц}}$.

Энергоемкость формирования блока – отношение мощности, затрачиваемой на выполнение процесса, к производительности:

$$E = \frac{2t_{\text{ц}}[(fpA_{\text{в}} + k_{\text{сж}}fpA_{\text{о}}) + \frac{v}{t}M + f(pA_{\text{н}} + Mg) + k_{\text{сж}}f(pA_{\text{н}} + Mg) + f(pA_{\text{в}} - Mg) + k_{\text{сж}}f(pA_{\text{в}} - Mg)]v + 2\sigma_{\text{сж}}A_{\text{б2}}(f + \sin\alpha + f\cos\alpha)v + [2f\sigma_{\text{сж}}(A_{\text{б3}} + A_{\text{н3}}) + F_{\text{сж}}^{\text{п}}]v}{abl\rho_k} \quad (17)$$

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» изложены программа и методика экспериментальных исследований и производственных испытаний.

Для экспериментального исследования был изготовлен опытный образец пресса (рисунок 5). Скорость движения поршня задавали изменением подачи гидравлической жидкости с помощью дросселя. Давление в гидросистеме p (МПа) замеряли манометром, что позволяло определять усилие на штоке гидроцилиндра.



а



б

Рисунок 5 – Общий вид пресса (а) и поршня (б)

В качестве исходного материала использовали резку соломы, лозгу подсолнечника, древесную щепу.

В четвертой главе «*Результаты экспериментальных исследований*» приведены результаты экспериментальных исследований, которые включали в себя двухфакторные эксперименты, направленные на анализ влияния параметров на показатели прессы.

В первом эксперименте изучали зависимость получаемой плотности субстратного блока от скорости движения поршня и угла сужения камеры сжатия. На основании результатов составлены уравнения регрессии и графические зависимости.

Графическая зависимость плотности субстратных блоков ρ , сформированных из резки соломы, от скорости v движения поршня и угла сужения камеры прессы α представлена на рисунке 6.

Уравнение регрессии имеет вид:

$$\rho = 157,51 + 841,224v + 55,071\alpha - 2222,05v^2 + 14,783v\alpha - 3,346\alpha^2. \quad (18)$$

Оптимальные параметры плотности формируемого блока из резки соломы достигаются при угле сужения $7,5^\circ \dots 8,5^\circ$ и средней скорости движения поршня $0,04 - 0,06$ м/с. Блок формируется равномерной плотности во всех точках замеров, коэффициент вариации плотности не превышает 3 %.

Графическая зависимость плотности субстратных блоков, сформированных из лузги подсолнечника, от угла сужения камеры и скорости перемещения поршня представлена на рисунке 7.

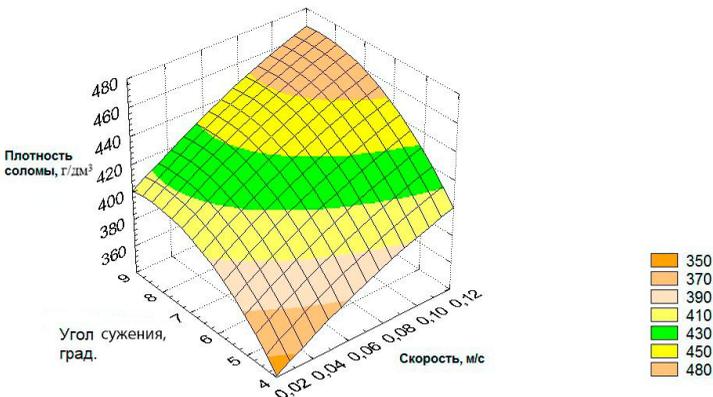


Рисунок 6 – Экспериментальная зависимость плотности субстратного блока ρ , сформированного из резки соломы, от угла сужения α (град.) и скорости перемещения поршня v (м/с)

Зависимость носит нелинейный характер и адекватно описывается квадратичным уравнением:

$$\rho = 305,545 + 721,429 \nu - 1,051 \alpha - 2821,43 \nu^2 + 58 \nu \alpha + 0,129 \alpha^2. \quad (19)$$

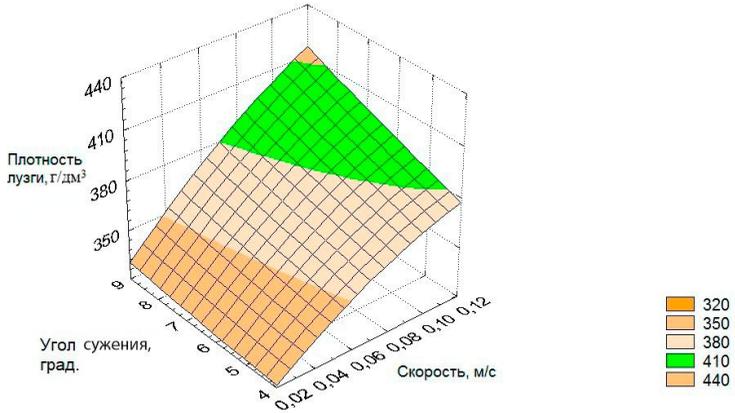


Рисунок 7 – Экспериментальная зависимость плотности субстратного блока ρ , сформированного из лузги подсолнечника, от угла сужения α (град.) и скорости перемещения поршня ν (м/с)

Проведенные эксперименты с использованием лузги показали диапазон угла сужения от $6,0^\circ$ до $8,5^\circ$. Рекомендуемые значения скорости движения поршня – от $0,08$ до $0,12$ м/с, коэффициент вариации неравномерности плотности не превышает 2% .

Аналогично получены зависимости для плотности субстратных блоков, изготовленных из древесной щепы. Оптимальная для выращивания грибов плотность древесной щепы в блоках составляет 520 – 540 г/л. Такое значение достигается при угле сужения $4,5^\circ$... $6,5^\circ$ и рекомендуемой скорости в среднем диапазоне $0,06$ – $0,1$ м/с, коэффициент вариации не превышает $3,5\%$.

Во втором эксперименте изучали, как скорость поршня и угол сужения камеры прессования влияют на усилие на поршне во время сжатия. В результате была получена зависимость (рисунок 8), описываемая уравнением:

$$F = 15,824 - 44,046 \nu - 5,968 \alpha - 146,429 \nu^2 + 2,95 \nu \alpha + 0,88 \alpha^2. \quad (20)$$

Анализ позволил обосновать величину усилия на поршне при рекомендуемых значениях исследуемых факторов. При угле сужения $7,5^\circ \dots 8,5^\circ$ и средней скорости движения поршня $0,04\text{--}0,06$ м/с величина усилия составила $20,0\text{--}24,9$ кН.

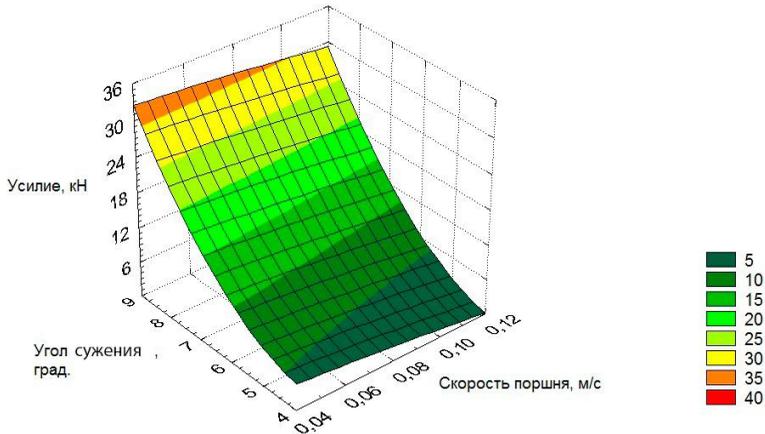


Рисунок 8 – Зависимость усилия на поршне при формировании блока с использованием резки соломы от угла сужения (град.) и скорости (м/с)

Исследования влияния угла сужения камеры α и скорости перемещения поршня v на усилие при формировании субстратных блоков с использованием лузги подсолнечника позволили получить графическую зависимость (рисунок 9) и уравнение:

$$F = -2,775 + 135,054v - 3,786\alpha - 471,428v^2 + 3,35v\alpha + 0,776\alpha^2. \quad (21)$$

При угле сужения $7,5^\circ \dots 8,5^\circ$ и скорости движения поршня $0,04\text{--}0,06$ м/с величина усилия составила $20,1\text{--}29,8$ кН.

Проведены исследования влияния указанных факторов на величину усилия на поршне при формировании блоков из древесной щепы. Рекомендуемое значение угла сужения составляет $5,5^\circ \dots 6,5^\circ$, рекомендуемая скорость – $0,06\text{--}0,1$ м/с.

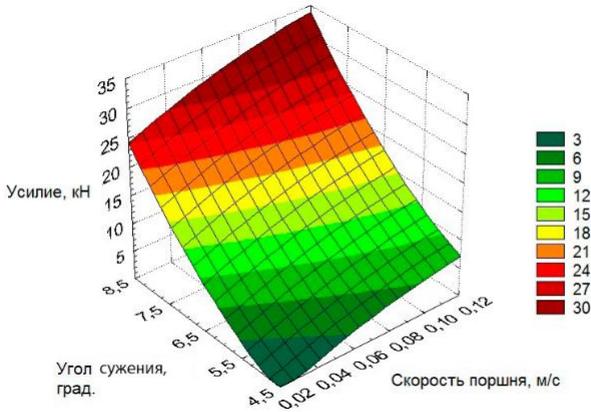


Рисунок 9 – Зависимость усилия на поршне при формировании блока с использованием лужки подсолнечника от угла сужения α (град.) и скорости v (м/с)

Важнейшим показателем эффективности процесса формирования субстратных блоков является производительность. В результате исследований установлено влияние исследуемых факторов на этот показатель (рис. 10, 11).

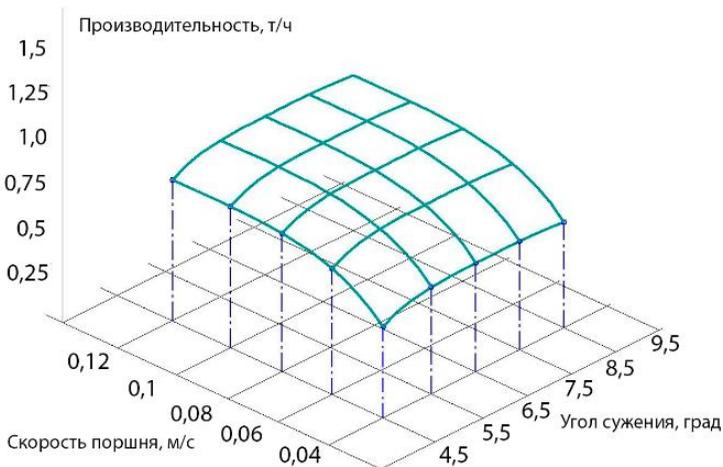


Рисунок 10 – Влияние скорости движения поршня и угла сужения стенок камеры прессования на производительность формирования субстратных блоков из резки соломы

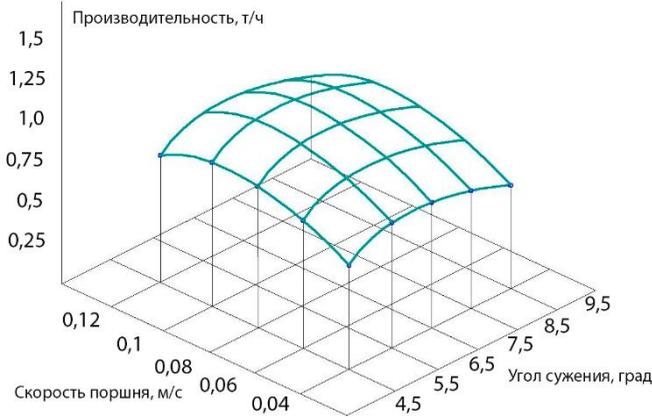


Рисунок 11 – Влияние скорости движения поршня и угла сужения стенок камеры прессования на производительность формирования субстратных блоков из древесной щепы

Наибольшая производительность 0,95 т/ч при использовании в качестве исходного материала резки соломы достигается при скорости 0,08 м/с и более и угле сужения 7,5°. При использовании лузги подсолнечника в качестве исходного материала наибольшая производительность 1,06 т/ч достигается при скорости 0,1 м/с и угле сужения 6,5°. Далее с увеличением обоих факторов производительность практически не меняется. При использовании в качестве исходного материала древесной щепы характер производительности существенно меняется. Максимальная производительность 0,86 т/ч достигается при скорости движения поршня 0,09 м/с и угле сужения стенок камеры прессования 6°. Уменьшение или увеличение исследуемых факторов от указанных значений приводит к снижению производительности.

Проведена оценка сходимости теоретических и экспериментальных исследований для подтверждения их достоверности (рис. 12). Результаты обоснования параметров и величина критериев оптимизации, определенные по аналитическим выражениям и уравнениям регрессии, имеют расхождение по усилию прессования 2,5 %; по производительности – 3,9 %.

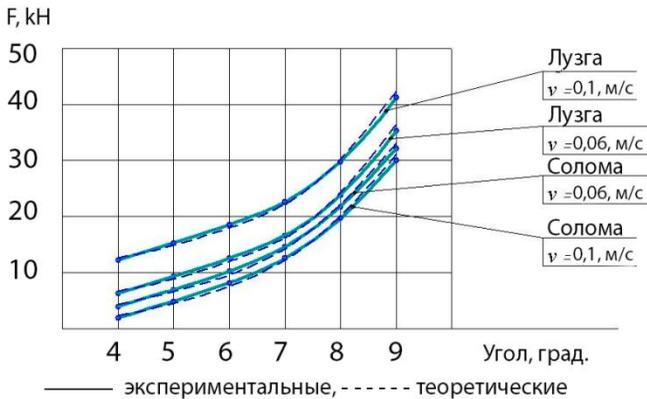


Рисунок 12 – Сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований усилия на поршне

В пятой главе *«Технико-экономическая эффективность»* представлены результаты исследования работы машины для формирования субстратных блоков в производственных условиях и дана оценка экономической эффективности ее использования.

Гидравлический пресс для формирования субстратных блоков внедрен в производство и прошел производственные испытания в ООО «Дерли» Пензенской области. Достижение экономического эффекта обеспечивается за счет увеличения производительности и улучшения качества субстратного блока. Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемой машины – 328,611 тыс. руб. при объеме работ 480 т в год, срок окупаемости капитальных вложений – 1,26 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана и обоснована конструктивно-технологическая схема гидравлического поршневого пресса с сужающейся камерой сжатия, обеспечивающая формирование субстратного блока требуемой плотности и однородности. В результате теоретических и экспериментальных исследований получены зависимости критериев оптимизации – плотности материала в блоке и усилия на поршне – от геометрических параметров камеры сжатия, скорости движения и физико-механических свойств материала субстрата. Установлены рациональные значения: для резки соломы – угол сужения камеры сжатия $7,5^{\circ} \dots 8,5^{\circ}$, скорость движения поршня

0,04–0,06 м/с; для лузги подсолнечника – угол сужения от $6,0^\circ$ до $8,5^\circ$, скорость поршня 0,08–0,12 м/с; для древесной щепы – угол сужения камеры сжатия $4,5^\circ \dots 6,5^\circ$ и скорость в диапазоне 0,06–0,1 м/с. Внедрение предлагаемого пресса обеспечивает высокую производительность технологического процесса формирования субстратного блока.

1. Проведенный анализ существующих в настоящее время исследований, литературных источников и полученного производственного опыта показал высокие трудовые затраты при формировании блоков субстрата для грибов. В данном технологическом процессе используется несколько операций, что неизбежно приводит к потерям в производительности и увеличению энергетических затрат. Процесс формирования блоков субстрата для выращивания грибов недостаточно изучен. В результате возникает недостаточная эффективность используемых технических средств для механизации процесса формирования блоков.

2. Основным направлением совершенствования данной категории машин является снижение времени операций и повышение качества формирования субстратного блока. В соответствии с данным направлением разработана новая конструктивно-технологическая схема пресса (патент на полезную модель № 219973 U1) обеспечивающая формирование субстратного блока требуемой плотности и однородности.

3. В ходе теоретических исследований получены аналитические выражения, позволяющие обосновать параметры поршневого пресса, определить требуемое усилие (выражение 15) и необходимую мощность привода, производительность (выражение 16) и энергоемкость (выражение 17). Установлено, что наибольшее влияние на критерии оптимизации оказывают физико-механические свойства исходных материалов для формирования блоков субстрата, скорость движения поршня и угол сужения камеры пресса.

4. Исследованы физико-механические свойства исходных материалов для формирования субстратных блоков. Наибольшей величиной относительного уплотнения также обладает резка соломы, а наименьшей – древесная щепа. Исходная насыпная плотность соломы – 230 г/дм^3 , лузги подсолнечника – 250 г/дм^3 , древесной щепы – 350 г/дм^3 . Древесная щепа обладает наибольшим из исследуемых материалов коэффициентом трения 0,9, сопротивле-

нием деформациям сжатия – 0,15 кПа и сдвига – 0,12 кПа. Резка соломы – 0,06 и 0,09 кПа соответственно.

5. В результате экспериментальных исследований установлены рациональные значения исследуемых факторов, при которых плотность формируемого субстратного блока соответствует качественным показателям и требованиям технологии выращивания грибов: значение 410–450 г/дм³ достигается для резки соломы при угле сужения камеры сжатия 7,5°...8,5°, скорости движения поршня 0,04–0,06 м/с; для лузги подсолнечника – угол сужения от 6,0° до 8,5°, скорость поршня – от 0,08 до 0,12 м/с; для древесной щепы – угол сужения 4,5°...6,5° и скорость в диапазоне от 0,06 до 0,1 м/с. Коэффициент вариации плотности формируемых блоков составил 2,0–3,5 %.

6. Анализ полученных результатов позволяет обосновать величину усилия на поршне при рекомендуемых по плотности значениях исследуемых факторов. При исходном сырье – резка соломы для угла сужения камеры сжатия, равном 7,5°...8,5° и скорости движения поршня 0,04–0,06 м/с величина усилия составит 20,0–24,9 кН; при исходном сырье – лузга подсолнечника для угла сужения 6,0° до 8,5° и средней скорости движения поршня 0,08 до 0,12 м/с величина усилия составит 20,1–29,8 кН; при исходном сырье – древесная щепа при значении угла сужения 5,5°...6,5° и рекомендуемой скорости в среднем диапазоне от 0,06 до 0,1 м/с усилие составит 39,0–46,7 кН.

Производительность составляет: при использовании резки соломы – 0,95 т/ч, лузги подсолнечника – 1,06 т/ч, древесной щепы – 0,86 т/ч.

7. При проведении испытаний в производственных условиях экономический эффект составил 328,611 тыс. руб., срок окупаемости дополнительных капиталовложений – 1,26 года.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Предложенная конструктивно-технологическая схема гидравлического поршневого пресса, результаты исследований и обоснования параметров соответствуют технологии выращивания грибов вешенка и могут быть использованы производителями техники для грибоводства в процессе разработки и проектирования новых моделей машин.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

В дальнейших исследованиях рекомендуется совершенствование технологического процесса формирования блоков субстрата для выращивания грибов при использовании других исходных компонентов и различных вариантов смесей исходных компонентов. Также перспективным является исследование всего комплекса машин технологии производства субстратных блоков для выращивания грибов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. *Павлов, П. И.* Исследование поршневого пресса для формирования блоков субстрата при выращивании грибов / П. И. Павлов, Д. А. **Смотряков**, И. Л. Дзюбан // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 8. – С. 138–143.

2. *Павлов, П. И.* Теоретическое исследование процесса формирования блоков грибного субстрата в поршневом прессе / П. И. Павлов, Д. А. **Смотряков**, И. Л. Дзюбан // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 10. – С. 131–137.

Патенты

3. Пат. на полезную модель 219973 U1 Российская Федерация, МПК В 65 В 3/12, В 30 В 9/30. Устройство для наполнения пакетов субстратом для выращивания грибов / **Смотряков Д. А.**, Павлов П. И., Смотряков А. А. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова». – № 2022131485 ; заявл. 01.12.2022 ; опубл. 16.08.2022, Бюл. № 23.

4. Патент 2828380 С1 Российская Федерация, МПК В 30 В 9/30. Устройство для наполнения пакетов субстратом для выращивания грибов / **Смотряков Д. А.**, Павлов П. И., Курунин В. А. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова». – № 2024107156 ; заявл. 19.03.2023 ; опубл. 10.10.2024, Бюл. № 28.

Публикации в других изданиях

5. *Павлов, П. И.* Устройство для наполнения пакетов субстратом для выращивания грибов / П. И. Павлов, **Д. А. Смотряков**, В. А. Курунин // Проблемы и перспективы развития АПК : технические и сельскохозяйственные науки : матер. региональной науч.-техн. конф., посвящ. 110-летию Вавиловского университета. – Саратов, 2023. – С. 23–25.

6. *Павлов, П. И.* Анализ средств механизации, используемых при выращивании грибов / П. И. Павлов, **Д. А. Смотряков**, В. А. Курунин // Проблемы и перспективы развития АПК : технические и сельскохозяйственные науки : матер. региональной науч.-техн. конф., посвящ. 110-летию Вавиловского университета. – Саратов, 2023. – С. 20–22.

7. *Смотряков, Д. А.* Конструктивно-технологическая схема машины для формирования блоков / Д. А. Смотряков, П. И. Павлов, В. А. Курунин // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники : матер. XXXVI Междунар. науч.-техн. конференции им. В. В. Михайлова. – Саратов, 2023. – Вып. 36. – С. 84–86.

8. *Павлов, П. И.* Анализ средств механизации, используемых при выращивании грибов / П. И. Павлов, **Д. А. Смотряков**, В. А. Курунин // Научный диалог в языковом пространстве : сб. статей IV междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2023. – С. 328–330.

9. *Павлов, П. И.* Экспериментальное исследование пресса для формирования блоков грибного субстрата / П.И. Павлов, **Д. А. Смотряков**, Т. В. Овчинникова // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: Материалы Международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова. – Саратов, 2024 – Вып. 37. – С. 234–237.

10. *Smotryakov D.A.* Review of existing devices for growing mushrooms / D.A. Smotryakov, V.A. Kurunin, P.I. Pavlov // Научный диалог в языковом пространстве: Сборник статей IV Международной научно-практической конференции – Саратов, 2023 – С. 328–330.