

*На правах рукописи*



**ГРЕБЕННИКОВА ТАТЬЯНА ВЛАДИМИРОВНА**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ ПЕРЕПРЕВШЕГО  
ПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

МИЧУРИНСК – НАУКОГРАД РФ, 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ»)

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
**Хмыров Виктор Дмитриевич**

**Официальные оппоненты:** **Киров Юрий Александрович**,  
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ  
ВО «Самарский государственный аграр-  
ный университет», профессор кафедры  
«Сельскохозяйственные машины и меха-  
низация животноводства»

**Марченко Виктор Иванович**,  
кандидат технических наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Ставропольский государст-  
венный аграрный университет», доцент  
кафедры «Машины и технологии АПК»

**Ведущая организация:** ФГБНУ «Институт агроинженерных и эко-  
логических проблем сельскохозяйственно-  
го производства» – филиал Федерального  
государственного бюджетного научного  
учреждения «Федеральный научный агро-  
инженерный центр ВИМ» (г. Санкт-  
Петербург)

Защита состоится «19» ноября 2019 г. в 10:00 на заседании диссертационного совета Д 220.057.03, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу: 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте: [www.rgatu.ru](http://www.rgatu.ru), с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации [www.vak.minobrnauki.gov.ru](http://www.vak.minobrnauki.gov.ru)

Автореферат разослан «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук,  
доцент



И.А. Юхин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Переработка подстилочного навоза является перспективным направлением, так как с одной стороны позволяет утилизировать отходы животноводства, с другой стороны является источником высококачественных удобрений для выращивания органической продукции.

Вопросы обоснования параметров процесса прессования перепревшего подстилочного навоза актуальны и представляют научный и практический интерес.

**Степень разработанности темы.** Анализ исследований существующих технологий и технических средств по переработке подстилочного навоза в органическое удобрение показал, что в них основное внимание уделяется вопросам конструкторской разработки отдельных машин для аэрации подстилочного навоза.

Результаты, полученные автором при подготовке диссертации, базируются на достижениях многих научных школ по созданию технических средств для АПК. Разработке и проектированию машин и технологического оборудования в области сельского хозяйства большое внимание уделяли ведущие российские ученые: Брюханов А.Ю., Гребенникова Д.В., Гриднев П.И., Киров Ю.А., Киселева Н.Г., Классен П.В., Лазарева В.С., Марченко В.И., Мачихина Ю.А., Некрашевич В.Ф., Сидельников Д.А., Фролова В.Ю., Хмыров В.Д.

**Цель работы** – повышение эффективности процесса прессования перепревшего подстилочного навоза.

**Объект исследования** – технологический процесс прессования перепревшего подстилочного навоза.

**Предмет исследования** – установление взаимосвязей между физико-механическими свойствами субстрата и параметрами процесса прессования перепревшего подстилочного навоза.

Для достижения цели, поставленной в диссертации, необходимо решить следующие **задачи исследования**:

- провести анализ существующих способов и средств переработки перепревшего подстилочного навоза, определить направление их совершенствования;

- исследовать физико-механические свойства подстилочного навоза после мезофильной переработки;
- теоретически и экспериментально обосновать параметры процесса прессования перепревшего подстилочного навоза;
- провести производственную проверку и рассчитать экономическую эффективность разработанного пресса для изготовления брикетов из перепревшего подстилочного навоза.

**Научную новизну работы представляют:**

- теоретически обоснованные зависимости для определения усилий процесса прессования и его мощности.
- теоретически обоснованные зависимости для определения температурного режима процесса прессования перепревшего подстилочного навоза;
- обоснованная энергоёмкость процесса прессования перепревшего подстилочного навоза.

**Методология и методика исследований.** В диссертационной работе при исследованиях использовали системный подход, позволяющий раскрыть целостность объекта исследований и взаимообусловленность между влажностью подстилочного навоза, его плотностью, параметрами процесса прессования. Теоретические исследования проведены с использованием математического анализа, положений математики, физики и известных законов и методов механики, теории теплопередачи и др. Экспериментальные исследования выполнены методом полного факторного эксперимента с применением теории вероятностей, математической статистики и с использованием современного оборудования. Результаты экспериментов подвергались статистической обработке с использованием прикладных компьютерных программ MathCAD 14, Excel 2013, STATISTICA 6.1, КОМПАС-3D V13.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Теоретически обоснованные зависимости для определения усилий процесса прессования и его мощности.
2. Теоретически обоснованные зависимости для определения температурного режима процесса прессования перепревшего подстилочного навоза;

3. Обоснованная энергоемкость процесса прессования перепревшего подстильного навоза.

**Достоверность результатов исследований** обеспечена достаточной сходимостью теоретических и экспериментальных данных, проведенных по критерию Фишера-Снедекорда, подтверждаемая методиками выполнения экспериментальных исследований.

**Теоретическая значимость работы.** Теоретически обоснованы усилие прессования, мощность и получена формула температурного профиля поверхности камеры прессования.

**Практическая значимость работы.** Разработано научно-обоснованное конструктивно-технологическое решение пресса для изготовления брикетов из перепревшего подстильного навоза (патент на полезную модель №151895, №157256).

**Реализация результатов исследований.** Производственные испытания пресса для гранулирования и брикетирования подстильного навоза проводились на ферме крупного рогатого скота ООО учхоз «Племзавод» Комсомолец Мичуринского района Тамбовской области и КФХ «Пчелка». Подстильный навоз гранулировали с исходной влажностью 45...50% измельченный до 5-100 мм, прошедший мезофильный процесс. Гранулы получали длиной 30-35 мм и диаметром 10 мм, влажностью 6-10%, с пределом прочности  $300-800 \text{ кг/см}^2$ . За период производственных испытаний переработали 5т подстильного навоза (ООО учхоз «Племзавод» Комсомолец). Брикеты получали размером  $25*25 \text{ мм}$ , прочностью  $830 \text{ кг/см}^2$ , плотностью  $460 \text{ кг/м}^3$ , влажностью 18%. Производительность при таких параметрах составила 6 т в смену.

**Вклад автора в решение поставленных задач** состоит в определении направления научных исследований, участии на всех этапах процесса проведения теоретических и экспериментальных исследований, получении исходных данных, разработке плана экспериментальных исследований, проведении научных экспериментов, обработке и интерпретации экспериментальных данных, разработке и модернизации установки, апробации результатов исследования, подготовке публикаций по выполненной работе.

**Апробация работы.** Результаты исследований докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях: ФГБОУВО Мичуринский ГАУ 2014-2018г, ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ им. Петра 1 2015г, ВНИИМЖ 2015, Всероссийском конкурсе на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Минсельхоза РФ в номинации «Технические науки» (ФГБОУ ВПО Ставропольский ГАУ – Диплом 5 степени), в программе «У.М.Н.И.К» 2014-2016 фонда содействию развития малых форм предприятий в научно-технической сфере.

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 18 научных работах, в том числе 4 статьи в журналах из перечня ВАК и 1 статья SCOPUS в Йельском журнале науки и образования США. Получено 5 патентов на полезную модель. Общий объем публикаций составил 4,25 п.л., из них лично соискателю принадлежит 2,98 п.л.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 155 страницах, содержит 70 рисунков, 5 таблиц, 8 приложений. Список литературы включает в себя 176 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В **первой главе «Состояние вопроса и задачи исследований»** проведен анализ конструкций прессов для изготовления гранул и брикетов перепревшего навоза, выявлены основные недостатки.

Показано, что в качестве сырья для изготовления существующих брикетов целесообразно использовать подстилочный навоз КРС. Перепревший навоз является полным органическим удобрением содержащим азот, фосфор и калий. В работе представлены конструктивно-технологические решения пресса для изготовления брикетов (Патенты на полезную модель №151895, №157256) из перепревшего подстилочного навоза.

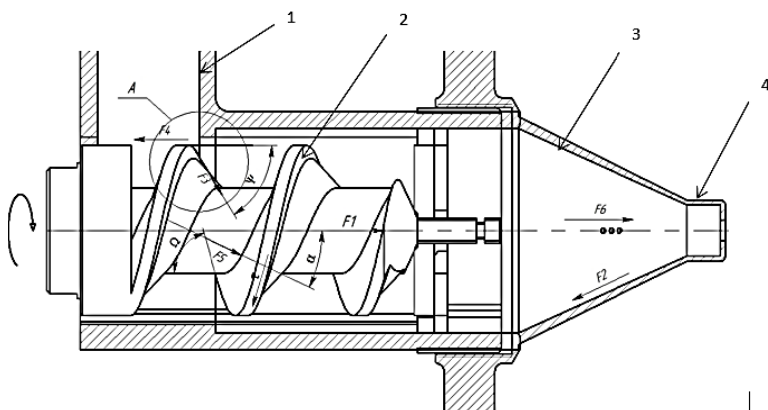
В результате анализа способов и устройств для изготовления брикетов установлено, что существующие способы и конструкции машин и прессов не позволяют изготовить рассыдный брикет из подстилочного навоза с плотностью до  $410 \text{ кг/м}^3$ , который сохранял бы форму и размеры после изготовления. Однако, наблюдения за работой шнековых прессов позволяют предположить, что такие прессы могли бы изготавливать рассыдные брикеты из перепревшего подстилочного навоза при повышении температуры массы в процессе прессования с насадкой.

Во **второй главе «Теоретическое обоснование параметров прессования»** представлена конструкция шнекового пресса для изготовления гранул и брикетов из подстилочного навоза.

На рисунке 1 показано распределение сил в камере шнекового пресса для изготовления гранул и брикетов. Движение потока энергии и материального потока внутри пресса при переработке материала осуществляется в результате приложения вращающего момента к валу шнека. В прессе возникают напряжения, пропорциональные площади, на которую воздействует сила  $F_1$  и её результирующие силы  $F_i$ .

Из всех сил, возникающих при прессовании подстилочного навоза, следует выделить силы  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $F_5$  повышающие напряжение материала и силы  $F_4$  и  $F_6$  снижающие его.

Сила  $F_1$  способствует перемещению материала вдоль оси шнека пресса. Сила  $F_2$  является силой трения о стенку. Сила  $F_3$  возникает в зоне А при прохождении массы по скосу шнека. Сила  $F_4$  возникает в результате утечки материала между винтовой поверхностью шнека пресса и корпусом. Сила  $F_5$  является результатом воздействия материала на боковую поверхность шнека. Сила  $F_6$  обеспечивает выход материала из насадки. В данном случае  $F_6$  является остаточным значением от силы прессования  $F_1$ , так как материал, выходя из широкой части корпуса 1, проходит насадку 4, что и обеспечивает его прессование.



1 – корпус шнекового пресса, 2 – шнек, 3 – камера прессования, 4 – насадка.

Рисунок 1 – Схема распределения сил в прессе при прессовании подстилочного навоза

Суммарное воздействие на прессуемый материал можно представить формулой:

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_2 + \vec{F}_5 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \vec{F}_6, \text{ Н} \quad (1)$$

При прессовании массы первоначальный объем  $V$  из насадки выходит объем органической массы  $V_k$ , что вызывает напряжения  $\sigma$  в массе.

Относительное уменьшение объёма

$$\alpha = (V - V_{\kappa}) / V \text{ или } V - V_{\kappa} = \alpha V \quad (2)$$

где  $V$  – начальный объем прессуемой массы,  $\text{м}^3$ ;  $V_{\kappa}$  – конечный объем прессуемой массы,  $\text{м}^3$ .

Работа, возникающая при прессовании подстилочного навоза, описывается следующим выражением:

$$A_{np} = \sigma \cdot \alpha \cdot V, \quad (3)$$

где  $\sigma$  – напряжение, Па;  $\alpha$  – относительное уменьшение объема;  $V$  – объем,  $\text{м}^3$

Мощность, затрачиваемая на проталкивание:

$$N_1 = A \cdot n / (60 \cdot 102) = p V_1 \cdot n / (60 \cdot 102) \quad (4)$$

$$\text{если } V = V_1 \cdot n \cdot 60 \frac{\text{м}^3}{\text{час}},$$

После преобразования уравнения (4) мощность на проталкивание будет иметь вид:

$$N_1 = p * \frac{V}{3600 \cdot 102} \text{ кВт}; \quad (5)$$

Мощность, затрачиваемая на транспортирование массы от приёмного шнека до выжимного шнека

$$N_2 = V \gamma L w / 367 \text{ кВт} \quad (6)$$

где  $V$  – производительность пресс,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;  $\gamma$  – объёмный вес массы,  $\gamma = 1,6 \text{ тонн}/\text{м}^3$ ;  $L$  – длина шнека без выжимного шнека, м;  $w$  – коэффициент сопротивления продвижению массы ( $w = 4,0-5,5$ ).

Мощность, на уплотнение массы

$$N_3 = A_{np} \cdot p \cdot n / 60 \cdot 102 = 0,81 p \cdot \alpha \cdot V_1 \cdot n / (60 \cdot 102) \text{ кВт} \quad (7)$$

$V_1$  – объём массы, подаваемый за один оборот шнека,  $\text{м}^3$ ;  $n$  – количество оборотов шнека в минуту, об/мин.

Суммарную мощность на прессование получим из выражения

$$N = (N_{mp} + N_1 + N_2 + N_3) / \eta \text{ кВт} \quad (8)$$

где:  $\eta$  – к.п.д. установки,  $\eta = 0,85$ ;  $N_{тр}$  – мощность, расходуемая на преодоление сил трения, кВт;  $N_1$  – мощность, затрачиваемая на проталкивание, кВт;  $N_2$  – мощность, затрачиваемая на транспортирование массы до камеры прессования, кВт;  $N_3$  – мощность, на уплотнение массы, кВт.

Для обоснования температурного режима шнекового пресса воспользуемся дифференциальным уравнением математической физики:

$$\frac{\partial t_i(r_i, \tau)}{\partial \tau} = a_i^2 \left( \frac{\partial^2 t_i(r_i, \tau)}{\partial r_i^2} + A_{k,i} \frac{\partial t_i(r_i, \tau)}{\partial r_i} \right) + Q_i(r_i, \tau); \quad (9)$$

где, начальные условия:

$$i = 1, 2, \dots, N; \quad R_{i-1} \leq r_i \leq R_i; \quad k = 0, 1, 2; \quad \tau > 0; \\ t_i(r_i, 0) = f_i(r_i); \quad (10)$$

Граничные условия:

$$\lambda_1 \frac{\partial t_1(R_0, \tau)}{\partial r_1} + \alpha_1 (t_1(R_0, \tau) - t_{c1}(\tau)) = 0; \quad \alpha_1 < 0; \quad (11)$$

$$\lambda_N \frac{\partial t_N(R_N, \tau)}{\partial r_N} + \alpha_N (t_N(R_N, \tau) - t_{cN}(\tau)) = 0. \quad (12)$$

$$t_j(R_j, \tau) = t_{j+1}(R_j, \tau); \quad \lambda_j \frac{\partial t_j(R_j, \tau)}{\partial r_j} = \lambda_{j+1} \frac{\partial t_{j+1}(R_j, \tau)}{\partial r_{j+1}}, \quad (13)$$

$$j = 1, 2, \dots, N - 1.$$

где  $r$  – пространственная координата;  $\tau$  – время;  $N$  – число слоев многослойной области;  $t_i(r_i, \tau)$  – температурное поле  $i$ -й

области;  $Q_i(r_i, \tau)$  – функция внутреннего источника тепла  $i$ -й области,  $\alpha_1, \alpha_N$  – коэффициенты конвективной теплоотдачи окружающей среду;

Для исключения координаты  $r$ , вдоль которой свойства тела изменяются ступенчато, используется формула перехода к изображениям:

$$U(\mu, \tau) = \sum_{m=1}^N \frac{\lambda_m}{a_m^2} \int_0^{R_m} \rho(z_m) t_m(z_m, \tau) W_m(z_m, \mu) dz_m, \quad (14)$$

где  $\rho(z)$  – весовая функция, являющаяся решением уравнения  $\lambda_i, a_i^2$  – соответственно коэффициенты теплопроводности и температуропроводности  $i$ -й области;  $W_m(z_m, \mu)$  – ядро интегрального преобразования

Решение уравнения (14) имеет вид:

$$\begin{aligned} W_m(r_m, \mu) = & C1_m \exp \left( -\frac{r_m}{2} \left( A_{k,m} + \sqrt{A_{k,m}^2 - 4 \frac{\mu^2}{a_m^2}} \right) \right) + \\ & + C2_m \exp \left( -\frac{r_m}{2} \left( A_{k,m} - \sqrt{A_{k,m}^2 - 4 \frac{\mu^2}{a_m^2}} \right) \right). \end{aligned} \quad (15)$$

В цилиндрической системе координат

$$W_m(r_m, \mu) = C1_m J_0 \left( \frac{\mu}{a_m} r_m \right) + C2_m Y_0 \left( \frac{\mu}{a_m} r_m \right), \quad (16)$$

где  $J_0(z), Y_0(z)$  – функции Бесселя первого рода, нулевого и первого порядка соответственно;  $A_{k,i}$  – коэффициенты уравнения, определяемые видом координат: для цилиндрической системы координат  $k=1$ ,  $A_{1,i} = 1/r_i$ ;  $C1$  и  $C2$  – постоянные, которые определяются в ходе интегрирования

Решение задачи в изображениях имеет вид:

$$U(\mu_n, \tau) = \text{Exp}(-\mu_n^2 \tau) * \left( U(\mu_n, 0) + \int_0^\tau (G(\mu_n, \tau) + FW(\mu_n, \tau)) \text{Exp}(\mu_n^2 \tau) d\tau \right). \quad (17)$$

$$\text{где } FW(\mu_n, \tau) = \frac{\alpha_N}{\lambda} W(R_N, \mu_n) t_{cN}(\tau) - \frac{\alpha_1}{\lambda} W(R_0, \mu_n) t_{c1}(\tau). \quad (18)$$

Обратный переход осуществляется по формуле:

$$t_m(r_m, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{U(\mu_n, \tau) W_m(r_m, \mu_n)}{S_n}, \quad (19)$$

где  $S_n$  – решение в изображениях, описывающее температурный профиль поверхности, функция содержащая оператор Лапласа, а по формуле 21 осуществляется переход к оригиналу,

Температурный профиль поверхности определяем по формуле:

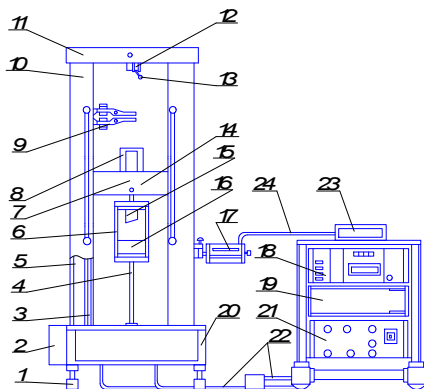
$$S_n = \sum_{m=1}^N \frac{\lambda_m}{a_m^2} \int_{R_{m-1}}^{R_m} \rho(r_m) W_m^2(r_m, \mu_n) dr_m \quad (20)$$

**В третьей главе «Методика экспериментальных исследований»** обоснованы факторы, влияющие на энергоемкость процесса прессования, так как она является основным показателем эффективности пресса, хорошо регулируется, имеет четкую область определения.

В качестве исходного материала использовался подстилочный навоз КРС, прошедший мезофильный процесс. Испытания производились в помещении при температуре воздуха  $+20^\circ\text{C}$ , режимы работы пресс-гранулятора не изменялись.

Предел прочности сжатия изготовленных органических брикетов проверяли на разрывной машине ИР5047-50-03 (рис. 2).

На основании проведенного анализа средств для изготовления гранул и брикетов, был изготовлен лабораторный шнековый пресс-экструдер (рис. 3).



а)



б)

1 – виброопоры; 2 – кожух; 3 – направляющая; 4 – крепежная стойка; 5 – винт; 6 – комплект скоб; 7, 14 – подвижный траверс; 8 – датчик – силоизмеритель; 9 – устройство измерения деформации; 10 – стойки; 11 – траверс неподвижный; 12 – арретир; 13 – тяга; 16 – стойка; 17 – пульт оператора; 18 – силоизмерительная система; 19 – микропроцессорный блок; 20 – каркас; 21 – силовой блок; 22, 24 соединительные устройства; 23 – принтер.

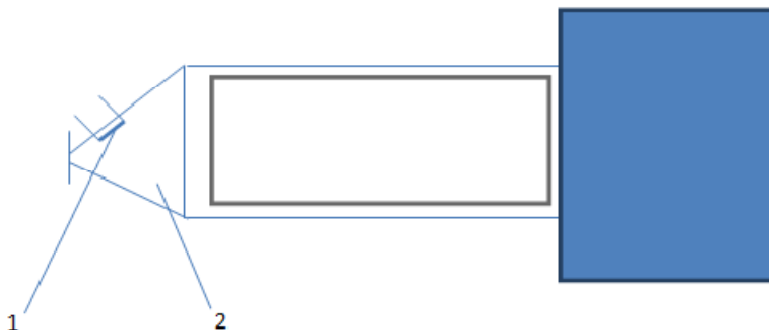
Рисунок 2 – Схема (а) и общий вид (б) разрывной машины ИР5047-50-03



1 – электропривод с редуктором, 2 – загрузочное устройство подстилочного навоза, 3 – камера прессования.

Рисунок 3 – Экспериментальный пресс для изготовления брикетов из перепревшего подстилочного навоза

Давление в камере прессования исследовали тензометрированием (рис. 4). Тензодатчик подключается к омметру, что дает возможность измерять сопротивление при различном давлении. Экран позволяет устранить влияние внешних элементных помех, которые могут исказить измеряемое значение давления. Экран представляет собой медную оплетку, выполненную из свитых между собой проводников с сечением 0,01 мм.



1 – тензодатчик; 2 – камера пресса для изготовления брикетов из перепревшего подстильного навоза.

Рисунок 4 – Схема расположения тензодатчиков на камере прессования брикетов

Выбор факторов, влияющих на энергоемкость процесса прессования, проводился на основании проведенного нами анализа теоретических исследований и полученных результатов. К числу таких факторов относятся: влажность навоза, плотность навоза, количество оборотов рабочего органа (шнеков), поступательная скорость, а также конструктивные особенности пресса.

**В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований»** приведены лабораторные опыты, в результате которых были изучены и уточнены физико-механические свойства гранул и брикетов: влажность  $W$ , плотность  $\rho$ , предел прочности, коэффициенты трения, температурные режимы.

На рисунке 5 представлена зависимость влажности гранул и брикетов от диаметра насадки.

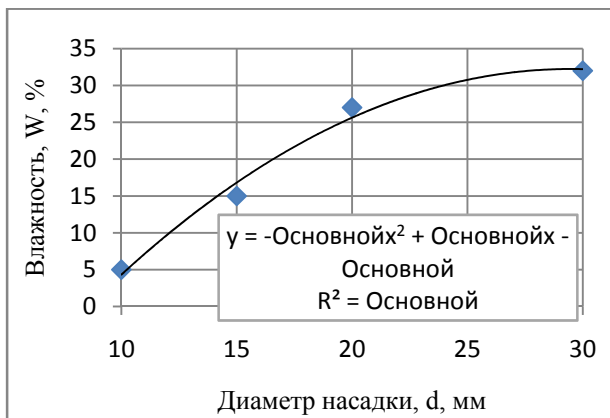


Рисунок 5 – Зависимость влажности брикетов от диаметра насадок

Из графика рисунка 5 видно, что при диаметре насадки 10 мм влажность гранул составляет 6%, а при диаметре 30 мм – влажность 30%. В процессе прессования влага за счет гравитационных сил удаляется через дренажные отверстия, изготовленные в камере прессования.

Предел прочности брикетов от усилия прессования представлены на рисунке 6.

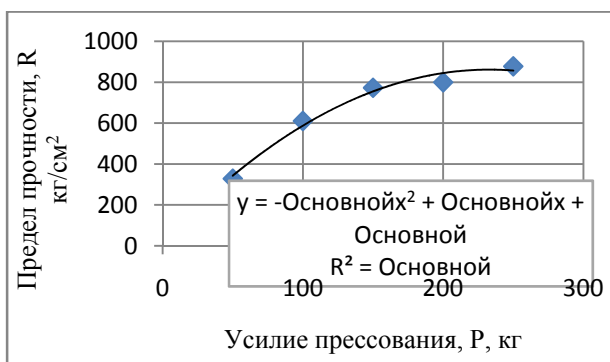


Рисунок 6 – Зависимость предела прочности органических брикетов от усилия прессования

Из графика рисунка 6 видно, что предел прочности органических брикетов при давлении 200 кг составляет в среднем  $800 \text{ кг/см}^2$ . Такая прочность позволяет их транспортировать и вносить в открытый грунт. Зависимость истинной плотности брикетов представлена на рисунке 7.

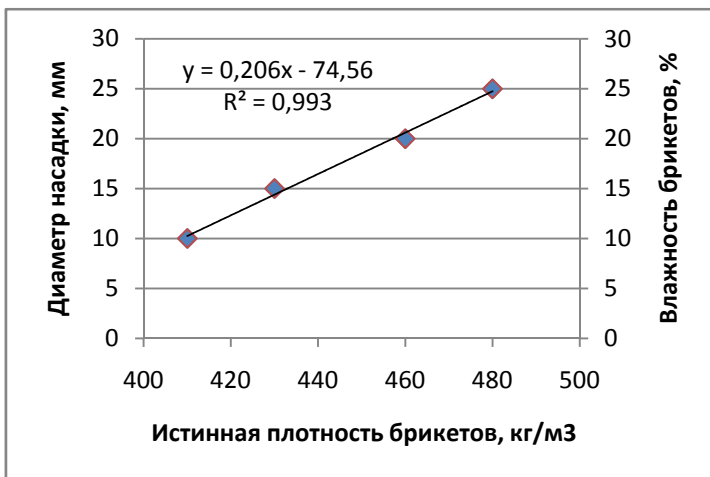


Рисунок 7 – Зависимость истинной плотности брикетов от диаметра насадки при различной влажности

Из графика рисунка 7 видно, что истинная плотность брикетов в зависимости от диаметра насадок находится в пределах  $410 \text{ кг/м}^3$  при влажности 10% и  $460 \text{ кг/м}^3$  при влажности 20%. Так как влага удаляется при прессовании через дренажные отверстия, истинная плотность брикетов меньше плотности подстилочного навоза в 2 раза.

На рисунке 8 представлена зависимость изменения давления в выходной части пресса для изготовления брикетов из перепревшего подстилочного навоза от времени при различной влажности органической массы.

Из графика видно, что в первые 20 секунд возникает максимальное давление прессования в камере, а затем снижается по мере выхода брикетов из насадки камеры.

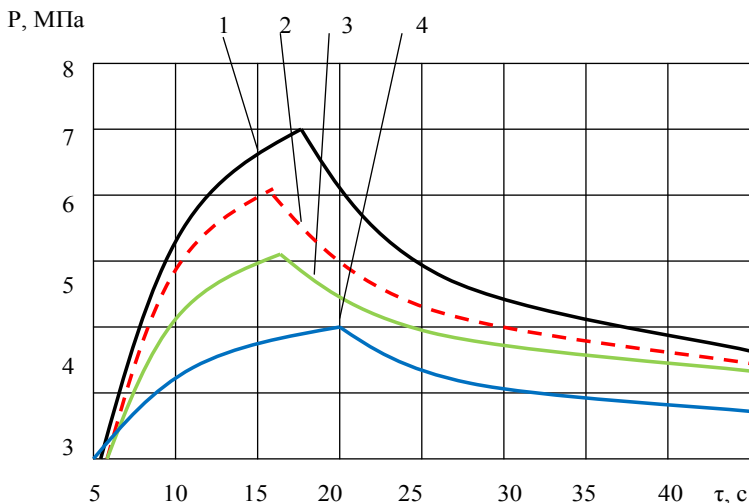


Рисунок 8 – Изменение давления органической массы в камере прессования при различной влажности: 1 – влажность 50%, 2 – 55%, 3 – 60%, 4 – 65%

Был проведен многофакторный эксперимент определения зависимости энергоёмкости от исходной влажности сырья, исходной плотности сырья и размера насадки.

В качестве критерия оптимизации процесса была выбрана «энергоёмкость процесса». Она является основным показателем эффективности установки, хорошо регулируется, имеет четкую область определения.

Выбор факторов, влияющих на энергоёмкость установки, проводился на основании проведенного нами анализа теоретических исследований и результатов ранних исследований. К числу таких факторов относится: влажность навоза, плотность, количество оборотов рабочего органа (шнеков), поступательная скорость, а также конструктивные особенности установки. В результате предварительных экспериментов было установлено, что в план эксперимента необходимо включить следующие факторы:

- $x_1$  – влажность исходного сырья, %;
- $x_2$  – плотность исходного сырья,  $\text{кг/м}^3$ ;
- $x_3$  – диаметр насадки, мм.

На основании анализа полученных данных были установлены следующие рациональные параметры: исходная влажность сырья 45-50%; исходная плотность 600-750 кг/м<sup>3</sup>; размер насадки 20 мм; энергоемкость 0,078 кВт\*ч/кг. При использовании таких параметров при прессовании было получено минимальное значение энергоемкости процесса, а так же полученные брикеты имели оптимальные параметры для произрастания растений и транспортировки: влажность 20%; плотность 460 кг/м<sup>3</sup>; предел прочности 800 кг/см<sup>2</sup>.

В процессе прессования происходит нагрев органической массы до 90<sup>0</sup>С. При этом происходит обеззараживание гранул и брикетов от болезнетворных бактерий, семян сорных и культурных растений и грибной микробиоты.

**В пятой главе «Оценка экономической эффективности»** была проведена технико-экономическая оценка разработанного пресса для изготовления брикетов из перепревшего подстилочного навоза. Производственные испытания пресса для изготовления брикетов из перепревшего подстилочного навоза проводились на ферме крупного рогатого скота ООО учхоз «Племзавод» Комсомolec Мичуринского района Тамбовской области и КФХ «Пчелка». Подстилочный навоз гранулировали с исходной влажностью 45...50% измельченный до 5-100 мм, прошедший мезофильный процесс. Гранулы получали длиной 30-35 мм и диаметром 10 мм, влажностью 6-10%, с пределом прочности 300-800 кг/см<sup>2</sup>. За период производственных испытаний переработали 5т подстилочного навоза.

Расчет экономической эффективности применения шнекового пресса для изготовления гранул и брикетов из перепревшего подстилочного навоза показал, что годовой экономический эффект составил 2 480 134,64 руб. при сроке окупаемости 0,5 года.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Анализ существующих способов и средств переработки перепревшего подстилочного навоза позволил определить, что перспективными операциями при этом являются гранулирова-

ние и брикетирование. Проведенные исследования позволили предложить конструкцию пресса для изготовления гранул и брикетов из перепревшего подстильного навоза.

2. На основе анализа полученных результатов были установлены оптимальные физико-механические свойства: исходная влажность сырья 45-50%, насыпная плотность навоза 600-750 кг/м<sup>3</sup>, полученные брикеты имели влажность 10% при плотности 410 кг/м<sup>3</sup>, а при влажности 20% плотность 460 кг/м<sup>3</sup>. Параметры полученных брикетов: плотность 410-460 кг/м<sup>3</sup>, прочность 800 кг/см<sup>2</sup>, влажность 10-20%, размеры 20\*20\*50 мм.

3. На основании теоретических исследований получены аналитические выражения для определения усилия прессования перепревшего подстильного навоза в шнековом прессе, мощности, затрачиваемой на прессование, параметров теплообмена в камере и выражения температурного профиля поверхности камеры прессования.

4. Экспериментальными исследованиями установлено, что энергоемкость процесса прессования составила 0,078 кВт\*ч/кг, максимальная температура в зоне камеры прессования составила 90<sup>0</sup>С, при выходе гранул и брикетов – 60<sup>0</sup>С.

5. Расчет экономической эффективности применения шнекового пресса для изготовления гранул и брикетов из перепревшего подстильного навоза показал, что годовой экономический эффект составил 2 480 134,64 руб. при сроке окупаемости 0,5 года.

#### **Рекомендации производству.**

Полученные результаты можно использовать при проектировании пресса для изготовления брикетов из перепревшего подстильного навоза для выращивания рассады овощных культур.

#### **Перспективы дальнейшей разработки темы.**

В дальнейшем целесообразно совершенствовать конструкцию пресса для изготовления брикетов из перепревшего подстильного навоза с учетом рекомендуемых параметров при брикетировании.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах.**

*Публикации в рецензируемых научных изданиях и журналах*

1. Гребенникова, Т.В. Обоснование некоторых параметров пресс-гранулятора подстилочного навоза / Т.В. Гребенникова, В.Д. Хмыров, Б.С. Труфанов, А.В. Аксеновский // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета – №2 – 2015 г. – С. 140-144.

2. Гребенникова Т.В. Исследование коэффициентов внешнего трения гранулированных органических удобрений, изготовленных из подстилочного овечьего навоза / Хмыров В.Д., Гурьянов Д.В., Хатунцев П.Ю. // Вестник Мичуринского ГАУ – №1 – 2017 г. С. 149-155.

3. Гребенникова Т.В. Исследование коэффициентов внутреннего трения гранулированных органических удобрений, изготовленных из подстилочного овечьего навоза / Хмыров В.Д., Гурьянов Д.В., Хатунцев П.Ю. // Вестник Мичуринского ГАУ – №2 – 2017 г. С. 155-159.

4. Гребенникова Т.В. Теоретическое обоснование силы пресования подстилочного навоза в шнековом прессе-грануляторе/ Щегольков А.В., Хмыров В.Д., Гурьянов Д.В. // Вестник Мичуринского ГАУ – №1 – 2018 г. С. 130-134.

*Публикации в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных (Scopus)*

5. Tatiana Grebennikova. Features comes into fruition pivoine variety-rootstock combinations depending on system power / Julia Guryanova, Victor Hmyrov, Pavel Hatuntsev, Alexey Gorelov // Yale Journal of Science and Education, Volume X, 2016.

*Публикации в других изданиях*

6. Гребенникова Т.В. Выращивание рассады овощных культур в органических горшочках / Хмыров В.Д. // Материалы III Международной научно-практической конференции «Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности», г. Воронеж, 11-13 февраля 2015 г.

7. Гребенникова, Т.В. Выращивание рассады овощных культур в органических брикетах / Т.В. Гребенникова, В.Д. Хмыров // Материалы 66-ой научно-практической конференции студентов и аспирантов МичГАУ – 2014 г.

8. Гребенникова, Т.В. Некоторые физико-механические свойства гранулированных органических удобрений / Т.В. Гребенникова, В.Д. Хмыров // Проблемы и перспективы научного садоводства, Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 80-летию со дня рождения В.А. Потапова. – 2014 г. – г. Мичуринск. – С. 142-146.

9. Гребенникова Т.В. Пресс по изготовлению брикетов из подстильного навоза для выращивания рассады / Хмыров В.Д. // 18-я Международная научно-практическая конференция «Стратегия развития механизации и автоматизации животноводства на период до 2030 года» ВЕСТНИК ВНИИМЖ, г. Москва, 2015 г.

10. Гребенникова, Т.В. Экспериментальная установка для приготовления брикетов из подстильного навоза / Т.В. Гребенникова, В.Д. Хмыров // Международная научно-практическая конференция, 15-17 октября, «Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК» – г. Мичуринск – 2015. – С. 71-76.

11. Гребенникова Т.В. Результаты экспериментальных исследований переработки и прессования подстильного навоза / Хмыров В.Д., Хатунцев П.Ю. // Международная научно-практическая конференция «В.И. Вернадский: устойчивое развитие регионов», 7-9 июня 2016 г.

12. Гребенникова, Т.В. Разбрасыватель органических удобрений в садах / Т.В. Гребенникова, В.Д. Хмыров, П.Ю. Хатунцев // Инновационные технологии продуктов здорового питания. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию со дня рождения И.В. Мичурина – Мичуринск-наукоград – 2015 – С. 210-213.

13. Гребенникова, Т.В. Обоснование производительности пресс-гранулятора подстильного навоза / Т.В. Гребенникова, В.Д. Хмыров, Ю.В. Гурьянова, П.Ю. Хатунцев // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию со дня рождения заслуженного работника высшей школы РФ, доктора с.-х. наук, профессора Ю.Г. СКРИПНИКОВА – Мичуринск-наукоград – 2016 г. – С. 318-323.

#### *Патенты*

14. Патент на полезную модель 151895 Российская Федерация, МПК С 05F 3/06. Пресс для изготовления брикетов из подстильного навоза/ Гребенникова Т.В., Хмыров В.Д., Труфанов Б.С.,

Гурьянова Ю.В.; заявитель и патентообладатель Мичуринский ГАУ. – №2014119384/13; заявл. 13.05.2014; опубл. 20.04.15, Бюл. №11. – 1 с.

15. Патент на полезную модель 157256 Российская Федерация, МПК С 05F 3/00. Пресс для изготовления брикетов из подстилочного навоза / Гребенникова Т.В., Хмыров В.Д., Труфанов Б.С., Гурьянова Ю.В., Куденко В.Б.; заявитель и патентообладатель Мичуринский ГАУ. – №2015109500/13; заявл. 18.03.2015; опубл. 27.11.15, Бюл. №33. – 1 с.

16. Патент на полезную модель 147043 Российская Федерация, МПК А 01С 3/06. Разбрасыватель – измельчитель подстилочного навоза / Хмыров В.Д., Труфанов Б.С., Гурьянова Ю.В., Куденко В.Б., Гребенникова Т.В.; заявитель и патентообладатель Мичуринский ГАУ. – №2014126916/13; заявл. 01.07.2014; опубл. 27.10.14, Бюл. №30. – 1 с.

17. Патент на полезную модель 147045 Российская Федерация, МПК А 01С 3/00. Разбрасыватель органических гранулированных удобрений/ Хмыров В.Д., Труфанов Б.С., Гурьянова Ю.В., Куденко В.Б., Гребенникова Т.В.; заявитель и патентообладатель Мичуринский ГАУ. – №2014119386/13; заявл. 13.05.2014; опубл. 27.10.14, Бюл. № 30. – 1 с.

18. Патент на полезную модель 161542 Российская Федерация, МПК А 01С 3/00. Разбрасыватель органических гранулированных удобрений/ Хмыров В.Д., Хатунцев П.Ю., Куденко В.Б., Гребенникова Т.В.; заявитель и патентообладатель Мичуринский ГАУ. – №2015151838/13; заявл. 02.12.2015; опубл. 27.04.16, Бюл. №12. – 1 с.

Подписано в печать 18.09.2019 г. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,28.  
Тираж 100 экз. Заказ № 19274

392008, Тамбов, ул. Советская, 190 г.  
Издательский дом «Державинский».

Отпечатано в типографии Издательского дома «Державинский»