

На правах рукописи



**ЗОБОВА Светлана Николаевна**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ  
СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА НА ПРЕССЕ ГЛУБОКОГО  
ОТЖИМА**

Специальность 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых  
производств»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Воронеж – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ»)

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент  
**Фролова Лариса Николаевна**

Официальные оппоненты – **Решетова Раиса Степановна**  
заслуженный деятель науки Кубани,  
доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный  
технологический университет», профессор,  
**Федорук Владимир Алексеевич**  
кандидат технических наук, доцент  
ООО «БМА Руссланд», главный специалист  
отдела технического проектирования

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара имени А.Л. Мазлумова»

Защита состоится «21» апреля 2022 г. в 13<sup>30</sup> ч. на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.01 при ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» по адресу: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, 19, конференц-зал.

Отзывы (в двух экземплярах) на автореферат, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять в адрес совета университета.

Автореферат размещен в сети Интернет на официальных сайтах Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru> и ФГБОУ ВО «ВГУИТ» <http://www.vsuet.ru> «18» февраля 2022 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «ВГУИТ».

Автореферат разослан «14» марта 2022 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций  
на соискание ученой степени кандидата наук,  
на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.01  
профессор

А. В. Дранников



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В 2016-2019 гг. в стране наблюдалось перепроизводство сахара, при этом посевные площади сахарной свеклы в этот период находились на уровне 1,1-1,2 млн га. В 2020 г. ситуация существенно изменилась, поскольку производители сахарной свеклы сократили посевные площади культуры на 19,1 %. В 2020 г. российскими предприятиями было выпущено 5 781 791 т свекловичного сахара, что на 20,6 % меньше по сравнению с результатами 2019 г.

По данным Минсельхоза в РФ в 2021 году переработано 35087,2 тыс. т свеклы, выработано сахара 5007,3 тыс. т.

Производство сушеного жома связано со значительными энергозатратами, обусловленными высокой начальной влажностью и необходимостью испарения влаги при его тепловой сушке в барабанных сушилках. Используемые на отечественных сахарозаводах прессы предварительного отжима жома ПСЖН-68 позволяют получить жом с влажностью 90-89 %, а жомоотжимные прессы ГХ-2 – с влажностью 82-86 %. Применение прессов глубокого отжима позволяет получать жом с влажностью 65-70 %. Учитывая, что стоимость тепловой энергии примерно в 30 раз превышает стоимость механической энергии, необходимо стремиться к максимально возможному механическому обезвоживанию жома и снижению потребления газа на сушку отжатого жома. Поэтому сахарозаводы оснащаются прессами глубокого отжима, что даёт возможность получить прессованный жом с содержанием СВ 25–30 %, что позволяет сократить расход топлива на сушку жома до 28,2-24,1 % к массе сушёного жома. Кроме того, из-за снижения поголовья крупного рогатого скота на сахарных заводах России возникла проблема утилизации сырого жома. Вместе с тем из-за возросшего спроса на сухой гранулированный жом в Европейском Союзе российские производители увеличили экспорт жома за последние три года на 31 %.

В связи с этим весьма актуально совершенствование процессов прессования свекловичного жома на прессах глубокого отжима для снижения содержания влаги и уменьшения энергоза-

трат при его гранулировании и сушке. Для этого необходимо дальнейшее изучение кинетических закономерностей процесса прессования свекловичного жома на прессе глубокого отжима при переменных кинематических режимах с обоснованием рациональных параметров процесса отжима жомопрессовой воды, а также разработка новых видов пресс-грануляторов.

Теоретические основы процессов прессования и гранулирования свекловичного жома отражены в работах Авророва В.А., Вайстиха Г.Я., Решетовой Р.С., Дарманьяна П.М., Классена П.В., Круглика С.В., Казакова К.В., Славянского А.А. и др.

Работа проводилась в соответствии с планом госбюджетной НИР кафедры технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств ФБГОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

**Цель диссертационной работы** – развитие научно-практических основ процесса прессования свекловичного жома на прессе глубокого отжима при переменных кинематических режимах; разработка конструкции комбинированного пресс-гранулятора и перспективной технологии, направленной на снижение энергозатрат.

В соответствии с целью решались **следующие задачи**:

– исследование кинетических закономерностей процесса прессования свекловичного жома на прессе глубокого отжима при переменных кинематических режимах с обоснованием рациональных параметров процесса отжима жомопрессовой воды;

– математическое моделирование процесса прессования свекловичного жома на прессе глубокого отжима при переменных кинематических режимах, разработка методики инженерного расчета пресс-гранулятора для свекловичного жома; разработка методики инженерного расчета пресс-гранулятора с кольцевой матрицей;

– разработка конструкции комбинированного пресс-гранулятора, состоящего из последовательно соединенных наклонного трехзонного шнекового пресса и гранулятора с плоской матрицей, реализующего высокую эффективность отжатия жидкой фазы из свекловичного жома;

– разработка переменных кинематических режимов работы

пресса глубокого отжима, технологической линии производства гранулированного свекловичного жома с использованием кормовых добавок;

- комплексная оценка химического состава, физико-химических свойств и показателей качества свекловичного жома;
- проведение промышленной апробации и производственных испытаний разработанных переменных кинематических режимов работы пресса глубокого отжима.

**Научная новизна.** Разработана перспективная технология глубокого отжима свекловичного жома на двухшнековых прессах при переменных кинематических режимах, направленная на снижение содержания влаги и сокращение энергозатрат при гранулировании и сушке жома.

Выявлены кинетические закономерности процесса прессования свекловичного жома на прессе глубокого отжима при переменных кинематических режимах с обоснованием рациональных параметров процесса отжима жомопрессовой воды.

Разработана математическая регрессионная модель процесса прессования свекловичного жома на прессе глубокого отжима, которая описывает изменение содержания сахара в жоме и его кормовой ценности в зависимости от кислотности и влажности жома, а также от длины свекловичной стружки.

Получена математическая модель процесса прессования свекловичного жома в двухшнековом прессе глубокого отжима, позволяющая определить силовые и энергетические параметры процесса. Установлен характер влияния переменных кинематических режимов на физико-химические свойства и показатели качества свекловичного жома и жомопрессовой воды.

**Практическая ценность.** Определены и обоснованы рациональные технологические режимы процесса прессования свекловичного жома на прессе глубокого отжима при переменных кинематических режимах с обоснованием рациональных параметров процесса отжима жомопрессовой воды.

Разработаны методики инженерного расчета пресс-гранулятора для свекловичного жома и пресс-гранулятора с кольцевой матрицей, позволяющие рассчитать основные кинематические параметры процесса и конструктивные размеры проек-

тируемых видов оборудования.

Выполненная комплексная оценка химического состава, физико-химических свойств и показателей качества свекловичного жома позволила оценить повышенную кормовую ценность жома.

Разработана конструкция комбинированного пресс-гранулятора, состоящего из наклонного трехзонного шнекового пресса и гранулятора с плоской матрицей, обеспечивающая высокую эффективность отжатия жидкой фазы из свекловичного жома. Разработана технологическая линия производства гранулированного свекловичного жома с использованием кормовых добавок.

Достоверность научных разработок подтверждена актами производственной апробации и промышленного производства прессованного жома на СП «Боринский сахарный завод» и СП «Хмелинецкий сахарный завод» АО «АПО «Аврора».

#### **Положения, выносимые на защиту:**

– выявленные кинетические закономерности процесса прессования свекловичного жома на прессе глубокого отжима при переменных кинематических режимах с обоснованием рациональных параметров процесса отжима жомопрессовой воды;

– математическая регрессионная модель процесса прессования свекловичного жома на прессе глубокого отжима, описывающая изменение содержания сахара в жоме и его кормовой ценности в зависимости от кислотности и влажности жома, а также от длины свекловичной стружки;

– математическая модель процесса прессования свекловичного жома в двухшнековом прессе глубокого отжима, позволяющая определить силовые и энергетические параметры процесса;

– конструкция комбинированного пресс-гранулятора, состоящего из последовательно соединенных наклонного трехзонного шнекового пресса и гранулятора с плоской матрицей, и технологическая линия производства гранулированного свекловичного жома с использованием кормовых добавок;

– перспективная технология глубокого отжима свекловичного жома на двухшнековых прессах при переменных кинематических режимах, направленная на снижение содержания влаги и

сокращение энергозатрат при гранулировании и сушке жома.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях: (Воронеж, 2020, 2021), (Курск, 2021). (Красноярск, 2021), (Пермь, 2021). Результаты работы демонстрировались на VI Международной выставке изобретений и инноваций имени Н.Г. Славянова (Воронеж, 2021), X Агропромышленном конгрессе (Воронеж, 2021), по итогам которых работа награждена дипломами.

Соискатель – заслуженный работник сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности Липецкой области, награжден почетной грамотой Минсельхоза России, отмечен благодарственными письмами Минсельхоза России, областного Совета депутатов и администрации Липецкой области.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 10 работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, и 6 тезисов докладов.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 170 страницах машинописного текста, содержит 51 рисунок и 24 таблицы. Список литературы включает 150 наименований, в том числе 27 на иностранных языках. Приложения к диссертации представлены на 26 страницах.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, научная новизна и практическая значимость выполненных исследований.

**В первой главе** дана краткая характеристика свекловичного жома как объекта исследования, систематизированы литературные данные о современном состоянии технологий прессования свекловичного жома, приведен обзор конструкций прессов и грануляторов, а также анализ математических моделей процесса прессования свекловичного жома. На основании проведенного анализа сформулированы цель и задачи работы и определены методы их решения.

**Во второй главе** приведено исследование кинетических закономерностей процесса прессования свекловичного жома.

Подаваемый на прессование свежий жом имел содержание сухих веществ 12,7 %. В качестве объекта исследования был использован свекловичный жом (длина стружки от 0,5 до 85,0 мм, с начальной влажностью 88,3 %) (таблица 1).

Т а б л и ц а 1 – Параметры и гранулометрический состав свекловичной стружки перед и после прессования, а также гранулированного жома

Наименование параметров	Жом перед прессом		Жом после пресса		Гранулированный жом	
pH	4,94		5,10		5,37	
Влажность, %	88,3		71,8		11,1	
Содержание сахара, %	2,28		1,9		4,64	
Размер частиц	Длина стружки, мм	%	Размер сита, Ø, мм	%	Диаметр гранул 10 мм	
	0,5	0,5	>4	58,9	Длина гранул, мм	%
	<10	24,8	3,5	3,8	10-14	2
	10-20	30,3	3,0	27,4	15-20	8,7
	20-35	9,3	2,5	0,3	25-30	19,3
	35-40	14,7	2,0	3,4	30-35	16,5
	40-85	20,9	1,5	2,1	35-40	26,0
			1,2	2,3	41-47	27,5
			1,0	0,8		
		0,8	1			

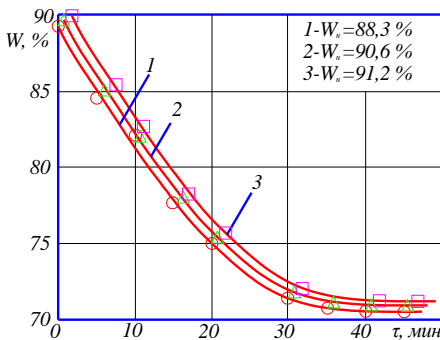


Рисунок 1 – Зависимость изменения влажности жома в процессе прессования свекловичного жома с различной начальной влажностью  $W_n$ , %: 1 – 88,3; 2 – 90,6; 3 – 91,2

Выявлено существенное влияние формы стружки: при изрезывании стружки в пластины содержание сухих веществ в отжатом жоме составляло 25,8-26,1 %, а при придании стружке желобчатой формы – снизилось до 24 %.

Исследование закономерностей изменения



основных параметров свекловичного жома в процессе отжата позволило установить зависимости изменения влажности свекловичного жома в процессе прессования при различных начальных влажностях  $W_n$  (рисунок 1). Экспоненциальный характер изменения влажности свекловичного жома в процессе прессования характерен для всех трех значений начальной влажности  $W_n$  в диапазоне от 88,3 до 91,2 %.

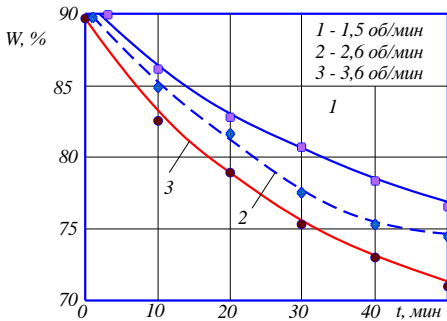


Рисунок 2 – Зависимость изменения влажности жома в процессе прессования свекловичного жома при различных скоростях вращения шнеков  $n$ ,  $\text{мин}^{-1}$ : 1 – 1,5; 2 – 2,6; 3 – 3,6

Выявлено, что увеличение скорости вращения шнеков с 1,5 до 3,6  $\text{мин}^{-1}$  существенно влияет на изменение конечной влажности свекловичного жома: она снижается от 77,2 до 71,3 % (рисунок 2).

При разработке математической регрессионной модели процесса прессования свекловичного жома на прессе глубокого отжима в качестве целевых функций при переработке свекловичного жома были выбраны: остаточное содержание сахара в жоме и кормовая ценность (содержание кормовых единиц), а параметрами – кислотность рН, влажность, размер частиц, длина свекловичной стружки. Для реализации предлагаемой методики используется модуль Fuzzy Logic Toolbox, входящий в пакет MatLab, а для представления результатов моделирования в графическом виде используют модуль Surfase Viewer. Исследования предварительно проводили с помощью пакета прикладных программ CurveExpert 1.3.

Были получены регрессионные уравнения:

– изменения содержания остаточного сахара в свекловичном жоме в процессе прессования:

$$y_c = 4,248 - 0,180x_{\text{pH}} - 0,020x_w + 0,022x_L; \quad (1)$$

– изменения содержания кормовых единиц в свекловичном жоме в процессе прессования:

$$y_c = 1328,178 - 142,566x_{pH} - 6,299x_w - 6,499x_L. \quad (2)$$

Выявлена значимость влияния каждого из основных технологических параметров (кислотность и влажность свекловичного жома, длина свекловичной стружки) на величину содержания сахара в жоме и его кормовую ценность. Графические результаты исследований приведены на рисунках 3-8.

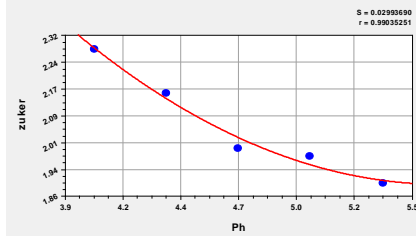


Рисунок 3 – Изменение содержания сахара в жоме в зависимости от его кислотности в течение процесса прессования

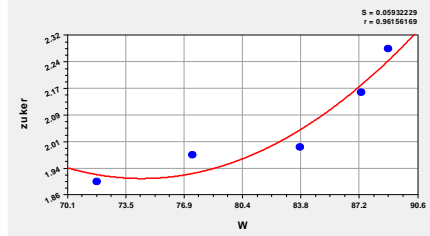


Рисунок 4 – Изменение содержания сахара в жоме в зависимости от влажности в течение процесса прессования

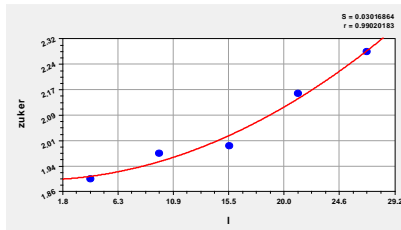


Рисунок 5 – Изменение содержания сахара в жоме в зависимости от длины стружки в течение процесса прессования

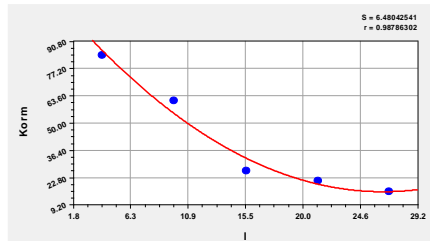


Рисунок 6 – Изменение кормовой ценности жома в зависимости от длины стружки в течение процесса прессования

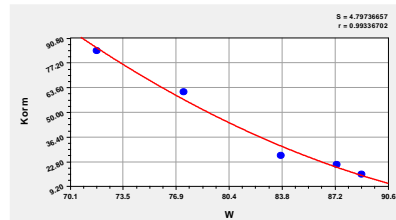


Рисунок 7 – Изменение кормовой ценности жома в зависимости от влажности стружки в течение процесса прессования

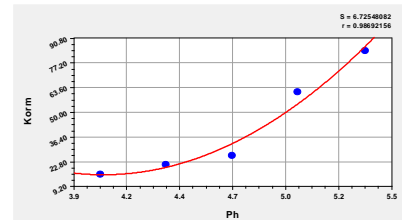


Рисунок 8 – Изменение кормовой ценности жома в зависимости от кислотности стружки в течение процесса прессования

Полученные регрессионные уравнения (1)-(2) имеют высокие коэффициенты  $R^2$  и, следовательно, хорошо отражают закономерности изменения важнейших параметров: кормовой ценности прессованного жома и содержания в нем сахаров. Они позволяют объективно оценивать работу пресса глубокого отжима и обосновать кинематический режим вращения шнеков, позволяющий минимизировать себестоимость готовой продукции.

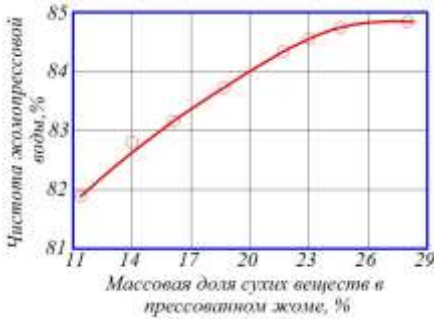


Рисунок 9 – Зависимость чистоты жомо-прессовой воды от массовой доли сухих веществ в прессованном жоме

Анализ полученной зависимости чистоты жомопрессовой воды от массовой доли сухих веществ в прессованном жоме (рисунок 9) свидетельствует о значительном влиянии массовой доли сухих веществ в прессованном жоме на чистоту жомопрессовой воды: она увеличилась с 81,83 до 84,81 %.

**Во главе 3** для обоснования переменного кинематического режима работы пресса глубокого отжима свекловичного жома были рассмотрены четыре стадии процесса отжима на основе аналитического анализа силовых и энергетических параметров процесса. При этом решались следующие задачи: определение величины энергии для механического выдавливания влаги из свекловичного жома и обоснование кинематических параметров шнеков. Рабочая камера двухшнекового пресса разделена на четыре секции: загрузочную, уплотнения, отжима и выгрузочную.

Учитывая, что отжим жомопрессовой воды из жома происходит при его движении в межвитковом пространстве шнеков, была составлена расчетная схема (рисунок 10), используя которую, выделены три основные силы: сила давления  $F_p$ ; сила, создаваемая в винтах шнека  $F_v$  и сила трения  $F_{тр}$ .

Учитывая закономерности движения шнеков пресса (рисунок 10), выражение для проекции силы давления на ось  $OX$  равно:

$$F_x = 3,75\omega(D_{\text{вит}}^2 - d_b^2)P_{\text{max}}, \quad (3)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения шнека,  $\text{с}^{-1}$ ;  $D_{\text{вит}}$  – наружный диаметр корпуса рабочей камеры пресса, м;  $d_b$  – наружный диаметр вала шнека, м;  $P_{\text{max}}$  – максимальное давление, создаваемое шнеком, Па.

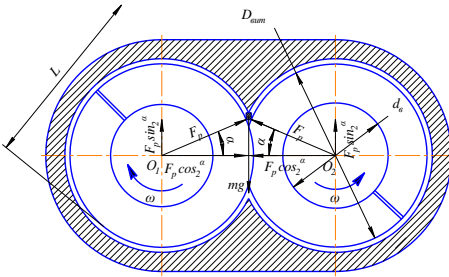


Рисунок 10 – Схема определения геометрических параметров шнеков пресса на поперечном разрезе рабочей камеры пресса:  $D_{\text{вит}}$  – внешний диаметр витка шнека,  $d_b$  – диаметр вала шнека;  $L$  – длина виткового канала шнека;  $O_1, O_2$  – центры валов;  $\omega$  – угловая скорость вала

Рассчитывая силу трения свеколочного жома о внутреннюю поверхность корпуса рабочей камеры пресса:

$$F_{\text{тр}} = f \cdot F_d \cdot F_{\text{сц}}, \quad (4)$$

где  $f$  – коэффициент трения жома о внутреннюю поверхность корпуса пресса;  $F_d$  – сила деформация свеколочного жома  $F_d = F_x$ ;  $F_{\text{сц}}$  – сила сцепления, учитывающая адгезию жома к внутренней поверхности корпуса пресса.

Затем находили проекции импульса элементов исследуемой системы по осям координат

$$m_1 v_z = (F_b - F_b \cdot k_t - F_{\text{сц}}) \tau_1, \quad (5)$$

где  $m_1$  – масса свеколочного жома;

Далее находили проекции массовых сил системы:

$$F_z = \frac{(F_b(1 - k_t) - F_{\text{сц}})}{m_1} = \frac{v_z}{\tau_1} = \frac{v_z^2}{z}, \quad (6)$$

где  $z$  – текущая координата;

$$F_x = \frac{(2F_p \sin \frac{\alpha}{2} + F_x(1 - k_t) - m_1 g - F_{\text{сц}})}{m_1} = \frac{v_x}{\tau_2} = \frac{v_x^2}{x}, \quad (7)$$

где  $x$  – текущая координата;  $g$  – ускорение силы тяжести.

После ряда преобразований находили усилие прессования из уравнения сохранения количества движения:

$$F_p = \frac{1}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \left[ \frac{\omega^2 r_b^2}{L} - \frac{\omega^2 r_b^2 \rho \ln L_k}{Lzh} \left( m_1 - \frac{\rho \ln L}{zh} \right) (1 - k_t) + m_1 g + F_{cu} \right] \quad (8)$$

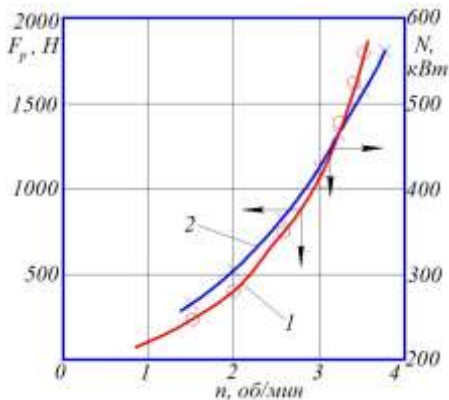


Рисунок 11 – Зависимости силы давления на свекловичный жом витками шнеков  $F_p$  и мощности, затрачиваемой на отжим жомпрессовой воды  $N$ , от числа оборотов шнеков  $n$

На основе полученных уравнений и с использованием программной среды MathCAD были получены графические зависимости для силы прессования жомпрессовой воды из жома (рисунок 11).

**В** главе 4 приведены исследования динамики изменения физико-химических и микробиологических показателей свекловичного жома в процессе прессования и гранулирования.

Для исследований были представлены три пробы жома, полученные на Боринском сахарном заводе: перед и после пресса глубокого отжима и гранулированного жома. Показатели качества и физико-химические показатели вышеуказанных проб свекловичного жома приведены в таблице 2.

Результаты исследований химического состава сырого, прессованного и сушеного свекловичного жома представлены в таблице 3.

Выявлена динамика изменения физико-химических показателей свекловичного жома в процессе прессования и гранулирования, свидетельствующая об увеличении сырого протеина, сырого жира и обменной энергии. Проведенные микробиологические исследования по следующим показателям: бактерии рода *Proteus*, сальмонеллы, токсинообразующие анаэробы и энтеропатогенные типы кишечной палочки, показали их полное отсутствие во всех трех пробах жома.

Т а б л и ц а 2 – Показатели качества и физико-химические показатели свекловичного жома

Наименование показателей	Показатели качества и физико-химические показатели свекловичного жома		
	перед прессом глубокого отжима	после прессы глубокого отжима	гранулированного жома
<i>Показатели качества</i>			
Массовая доля сырого протеина в сухом веществе, %	8,45± 0,56	9,95± 0,60	9,44± 0,62
Массовая доля сырой клетчатки в сухом веществе, %	16,43± 1,74	22,75± 2,06	25,50± 2,19
Обменная энергия, МДж/кг	21,68	25,38	27,08
<i>Физико-химические показатели</i>			
Массовая доля сырого жира в сухом веществе, %	0,46± 0,39	0,57± 0,40	0,41± 0,39
Массовая доля сырой золы в пересчете на сухое вещество, %	5,2± 0,2	4,5± 0,2	3,3± 0,2

Т а б л и ц а 3 –Химический состав сырого, прессованного и сушеного свекловичного жома

Наименование показателя	Показатели		
	сырого жома	прессованного жома	сушеного жома
Сухие вещества, %	6,0-9,0	14,0-20,0	87,0-86,0
Вода, %	91,0-94,0	80,0-86,0	13,0-14,0
Сырой протеин, %	1,2-1,5	1,7-1,9	7,9
Сырая клетчатка, %	3,5-4,5	5,0-7,0	17,6
Безазотистые экстрактивные вещества, %	4,3-6,0	8,5-10,0	61,2
Жир, %	0,4-0,7	0,6-0,9	0,5
Зола, %	0,6-1,0	1,1-1,4	3,7
Кормовая единица* в 100 кг корма	6-9	15-20	0,85
Обменная энергия, МДж	0,73	1,88	

\*Единица измерения питательности кормов, равная питательности 1 кг овса.

**В пятой главе** приведено описание разработанных конструкции комбинированного пресс-гранулятора (рисунок 12) и

технологической линии производства гранулированного свекловичного жома с использованием кормовых добавок (рисунок 13).

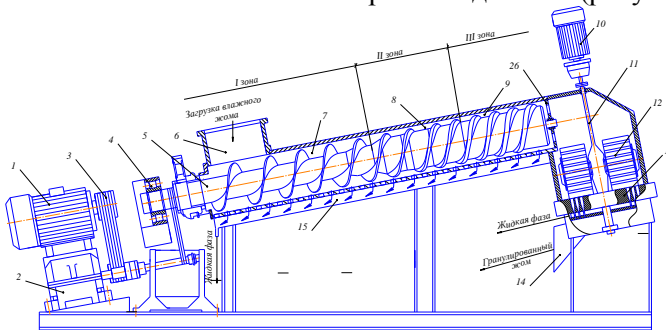


Рисунок 12 – Комбинированный пресс-гранулятор: 1 – электродвигатель; 2 – станина; 3 – ременная передача; 4 – опора; 5 – шнековый вал; 6 – загрузочный бункер; 7, 8, 9 – зоны рабочей камеры наклонного шнекового пресса; 10 – матрица; 11 – привод; 12 – ролики; 13 – плоская матрица; 14 – выгрузочный патруб-  
бок; 15 – двутельный корпус; 16 – матрица

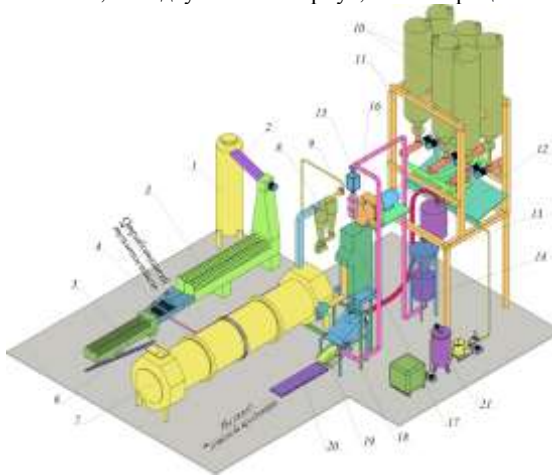


Рисунок 13 – Технологическая линия производства гранулированного свекловичного жома с использованием кормовых добавок: 1 – емкость с влажным жомом; 2 – питатель; 3 – пресс для предварительного отжатия влаги; 4 – разрыхлитель-рекуператор; 5 – пресс для окончательного отжатия влаги; 6 – транспортер; 7 – сушилка; 8 – циклоны-уловители; 9 – вентилятор; 10 – бункеры; 11 – дозаторы; 12 – надсмесительный бункер; 13 – смеситель; 14 – подсмесительный бункер; 15 – магнитный сепаратор; 16 – гранулятор; 17 – охладитель; 18 – просеиватель; 19 – тензовесы; 20 – транспортер; 21 – установка ввода жидких компонентов

## Основные выводы и результаты

1. Выявленные кинетические закономерности процесса прессования свекловичного жома на прессе глубокого отжима при переменных кинематических режимах позволили обосновать рациональные параметры процесса отжима жомопрессовой воды и установлен характер влияния их технологических параметров. Установлен характер влияния переменных кинематических режимов на физико-химические свойства и показатели качества свекловичного жома и жомопрессовой воды.

2. Разработана математическая регрессионная модель процесса прессования свекловичного жома на прессе глубокого отжима, описывающая изменение содержания сахара в жоме и его кормовой ценности в зависимости от кислотности и влажности жома, а также от длины свекловичной стружки.

3. Разработана математическая модель процесса прессования свекловичного жома в двухшнековом прессе глубокого отжима, позволяющая определить силовые и энергетические параметры процесса.

4. Разработаны методики инженерного расчета пресс-гранулятора для свекловичного жома и пресс-гранулятора с кольцевой матрицей, позволяющие рассчитать основные кинематические параметры процесса и конструктивные размеры проектируемых видов оборудования.

5. Разработана конструкция комбинированного пресс-гранулятора, состоящего из последовательно соединенных наклонного трехзонного шнекового пресса и гранулятора с плоской матрицей реализующий высокую эффективность отжатия жидкой фазы из свекловичного жома. Разработана технологическая линия производства гранулированного свекловичного жома с использованием кормовых добавок, использование которой позволит повысить существенно сократить энергозатраты за счет получения прессованного жома с более низким содержанием влаги.

6. Выполнена комплексная оценка химического состава, физико-химических свойств и показателей качества свекловичного жома, которая позволила оценить повышенную кормовую



ценность жома.

7. Разработана перспективная технология глубокого отжима свекловичного жома на двухшнековых прессах при переменных кинематических режимах, направленная на снижение содержания влаги и сокращение энергозатрат при гранулировании и сушке жома.

8. Проведенные на СП «Боринский сахарный завод» и СП «Хмелинецкий сахарный завод» АО «АПО «Аврора» производственная апробация и промышленное производство прессованного жома при переменных кинематических режимах работы пресса глубокого отжима подтвердили сокращение энергозатрат на 12-14 %, экономическая эффективность составила в 2021 г. 557,37 млн. р.

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

**Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ**

1. Зобова, С. Н. Разработка математической регрессионной модели процесса прессования свекловичного жома на прессе глубокого отжима / С.Н. Зобова, Л.Н. Фролова, Г.В. Алексеев, А.А. Бирченко, И.С. Богомолов // Вестник ВГУИТ. – 2021. – Т. 83. – № 4. – С. 31–36.

2. Зобова, С. Н. Влияние технологических режимов на изменения состава свекловичного жома при его переработке на Боринском сахарном заводе / С.Н. Зобова, А.Н. Остриков, Л.Н. Фролова, М.В. Копылов, И.С. Богомолов // Вестник ВГУИТ. – 2021. – Т. 83. – № 1. – С. 71–77.

3. Афанасьев, В. А. Математическая модель процесса экструзии зерновых культур при неизотермическом течении их расплава до температуры начала реакции Майяра / В.А. Афанасьев, Л.Н. Фролова, К.А. Сизиков, А.Н. Остриков, С.Н. Зобова // Вестник ВГУИТ. – 2021. – Т. 83. – № 1. – С. 23–29.

4. Городецкий, В. О. Особенности подготовки экстрагента для диффузионно-прессового извлечения сахарозы из свекловичной стружки / В.О. Городецкий, С.О. Семенихин, А.Д. Городецкая, С.Н. Зобова, А.А. Швецов / Сахар. – 2015. – № 1. – С. 44-46.

5. Зобова, С. Н. Совершенствование технологии сушеного свекловичного жома методом двукратного прессования / С.Н. Зобова, А.Н. Остриков // Материалы LIV отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2020 год. В 3 ч. Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2021. Ч. 2. – С. 23-25.

6. Остриков, А. Н. Разработка технологической линии получения сушеного гранулированного свекловичного жома с использованием добавок / А.Н. Остриков, Л.Н. Фролова, С.Н. Зобова // Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: сборн. статей IX Междунар. науч.-техн. конф. Воронеж: ВГУИТ, 2021. – С. 487-490.

7. Зобова, С. Н. Разработка методики расчета пресс-гранулятора с кольцевой матрицей / С. Н. Зобова // Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях: сб. научных статей 9-й Международной научно-практ. конф., Курск, 2021. – С. 176-180.

8. Зобова, С.Н. Динамика изменения физико-химических и микробиологических показателей свекловичного жома в процессе прессования и гранулирования / С. Н. Зобова, А. Н. Остриков // Научно-практические аспекты развития АПК: матер. национ. науч. конф. – Красноярск, 2021. Ч. 2. – С. 86-88.

9. Василенко, В. Н. Разработка системы автоматизированного проектирования экструзионного оборудования / В. Н. Василенко, Л. Н. Фролова, И. В. Драган, Н. А. Михайлова, С. Н. Зобова // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения: сб. науч. тр. по матер. Междунар. науч. экол. конф. – Краснодар : КубГАУ, 2021 – С. 193-194.

10. Зобова, С. Н. Исследование кинетики процесса прессования свекловичного жома / С. Н. Зобова, А. Н. Остриков // Технологическое предпринимательство, коммерциализация результатов интеллектуальной деятельности и трансфер технологий : материалы II Всероссийской научно-практической конференции. – Пермь, 2021. – с. 219-223.

Подписано в печать 18.02.2022. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ .

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

ФГБОУ ВО ВГУИТ

Отдел полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

Адрес университета и отдела полиграфии

394036, Воронеж, пр. Революции, 19