

## ОТЗЫВ

официального оппонента – доцента кафедры биотехнологии переработки мясного и молочного сырья ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ)» кандидата технических наук, доцента *Казарцева Дмитрия Анатольевича* на диссертационную работу *Бородовицына Андрея Михайловича* на тему: «Совершенствование процесса сушки свекловичного жома перегретым паром для получения пектина», представленную в совет по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.01 ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств»

### **Актуальность темы**

На сегодняшний день государственная политика в области здорового питания нацелена на сохранение и укрепление здоровья населения, развитие производства новых обогащенных, диетических и функциональных пищевых продуктов.

К функциональным продуктам относятся пектины. Они представляют собой полисахарид, который получают путем экстракции вторичных сырьевых ресурсов (свекловичного жома, яблочных, виноградных и цитрусовых выжимок, корзинок подсолнечника и т. д.). Пектины используются в качестве гелеобразователя, стабилизатора, загустителя, влагоудерживающего агента, осветлителя, а также вещества, облегчающего фильтрацию и как средство для капсулирования.

В наибольшей степени этим требованиям отвечает производство пектина и пектинопродуктов, предусматривающее выработку биологически ценного комплексо- и студнеобразователя из вторичных сырьевых ресурсов, к которым относится свекловичный жом, получаемый на сахарных заводах РФ при ежегодной переработке более 40 млн т. сахарной свеклы.

В связи с этим актуальным вопросом является использование сушки как наиболее распространенного и эффективного способа для консервирования свекловичного жома, влияющего в конечном итоге на качество и выход из него пектина. При этом необходимо отметить, что сушка должна осуществляться при таких гидродинамических и температурных режимах, которые обеспечивали бы максимальный выход пектина.

### **Достоверность результатов и основных выводов диссертации**

Содержащиеся в работе научные подходы, выводы и рекомендации основаны на фундаментальных научных положениях, общепринятых теоретических закономерностях, опираются на полученные автором экспериментальные данные и являются их логическим следствием. В представленной работе нет взаимно противоречивых выводов.

Экспериментальная часть диссертационной работы выполнена на основании общепринятых методик измерения с использованием современной приборной базы. Поэтому полученные диссертантом экспериментальные данные являются достоверными.

### **Научная новизна работы**

Бородовицыным А.М. научно обоснован усовершенствованный способ сушки свекловичного жома перегретым паром, который используется для получения пектина и пектинопродуктов.

Установлены основные кинетические закономерности и представлена математическая модель процесса сушки свекловичного жома перегретым паром пониженного давления в импульсном виброкипящем слое.

Получены критериальные зависимости процесса теплообмена при сушке свекловичного жома в активном гидродинамическом слое, позволяющие использовать их в проектировании полупромышленных и промышленных сушильных установок при соблюдении гидродинамического, теплового подобия и с учетом масштабного перехода.

## **Практическая ценность**

Определены рациональные режимы процесса сушки свекловичного жома пониженного давления в сушилке с виброкипящим слоем: температура сушильного агента на входе в рабочую камеру – 418...428 К; давление перегретого пара в рабочей камере – 60...80 кПа; скорость сушильного агента в рабочей камере – 3,5...4,5 м/с; удельная нагрузка свекловичного жома на газораспределительную решетку – 12...16 кг/м<sup>2</sup>.

Определено содержание пектина и протопектина в сухом свекловичном жоме и его комплексообразующая способность в зависимости от режимных параметров процесса сушки.

Разработан способ сушки высоковлажных дисперсных материалов и установка для его осуществления (пат. РФ № 2674610), позволяющий получить готовый продукт высокого качества при высокой интенсивности проведения процесса.

Разработана установка для сушки дисперсных высоковлажных материалов (пат. РФ № 2706874), позволяющая повысить качество сухого жома и снизить удельные энергозатраты на процесс сушки за счет более полного использования теплоты сушильного агента.

## **Оценка содержания работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов и результатов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 124 страницах машинописного текста, содержит 58 рисунков и 13 таблиц. Список литературы включает 120 наименований, в том числе 13 зарубежных. Приложения к диссертации представлены на 27 страницах.

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

**В первой главе** представлены основные сведения о получении и применении свекловичного жома; дан краткий анализ техники и технологии сушки жома в сушилках различного типа; изложены особенности процессов тепло- и массооб-

мена при сушке материалов перегретым паром пониженного давления и представлена характеристика технологий получения и применения пектина.

**Во второй главе** представлена методика проведения эксперимента на сушильной установке и кинетические закономерности процесса сушки жома перегретым паром пониженного давления в импульсном виброкипящем слое.

Диссертантом получены критериальные уравнения, описывающие процесс теплообмена между материалом и сушильным агентом в периоде постоянной и убывающей скорости сушки, при этом отклонение результатов расчета от экспериментальных не превышает 17,5 %.

**В третьей главе** исследовано взаимодействие различных факторов, влияющих на процесс сушки свекловичного жома в сушильной установке перегретым паром пониженного давления. В качестве основных факторов, влияющих на процесс сушки, были выбраны: температура перегретого пара на входе в рабочую камеру, давление перегретого пара в рабочей камере, скорость перегретого пара в рабочей камере, удельная нагрузка свекловичного жома на газораспределительную решетку. По результатам планирования были получены рациональные режимы проведения процесса сушки свекловичного жома.

Представлена математическая модель, позволяющая определять не только изменение влажности и температуры частиц материала, но и параметры перегретого пара в сушильной камере с возможностью максимального использования теплоты отработанного теплоносителя. Отклонение расчетных данных от экспериментальных не превышало по абсолютному значению 12,5 %.

**В четвертой главе** показано влияние режимных параметров процесса сушки свекловичного жома на выход и комплексообразующую способность полученных пектиновых веществ. Установлено, что в образцах, высушенных дымовыми газами, содержание пектиновых веществ уступает образцам, высушенным под разрежением, но незначительно превосходит их содержание в жоме, высушенном при атмосферном давлении. На содержание пектиновых веществ разрежение совместно с перегретым паром оказывает лучшее воздействие, чем дымо-

вые газы. Внешний вид высушенного жома свидетельствует о преимуществе предлагаемого в диссертации способа сушки.

Автором выполнен эксергетический анализ и проведена оценка термодинамического совершенства процесса сушки свекловичного жома перегретым паром пониженного давления, предусматривающего использование барометрического конденсатора для создания разряжения в сушилке, при этом полученный эксергетический КПД разработанного способа равен 8,1 %, что на 3,2 % выше, чем при использовании традиционного способа сушки.

Диссертантом разработана сушильная установка с комбинированным энергоподводом (пат. РФ № 2706874), позволяющая реализовать способ сушки жома (патент РФ № 2674610) при пониженном давлении перегретого пара и получать качественный продукт без снижения интенсивности проведения процесса.

В условиях АО «АПО «Аврора» СП «Боринского сахарного завода» проведены производственные испытания по определению рациональных режимов сушки свекловичного жома перегретым паром, которые подтвердили эффективность предложенных технических и технологических решений.

**Выводы** в полном объеме отражают основные результаты диссертационной работы.

**В приложении** представлены материалы, подтверждающие практическую значимость работы.

### **Публикация основных результатов диссертации**

По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 1 статья в издании, индексируемом в международной базе цитирования WoS, 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, получено 2 патента РФ на изобретения.

### **Соответствие автореферата основным положениям**

Автореферат полностью отражает содержание диссертации и оформлен в соответствии с требованиями ВАК.

## **Степень завершенности**

Диссертационная работа Бородовицына А.М. представляет собой завершенное научное исследование. Она обладает логическим единством, все ее элементы служат достижению поставленной цели.

## **Замечания к диссертации**

1. В главе 1 следовало бы более подробно проанализировать достоинства и недостатки известных технологий получения пектина.

2. На основе анализа технологий получения пектина (глава 1, п. 1.4) и сведений о получении и применении жома (глава 1, п. 1.1) следовало бы четко сформулировать требования к сухому жому (физическим, физико-химическим, качественным показателям и т.д), что позволило бы обосновать выбор технологии сушки и режимные параметры процесса, в том числе температуру сушильного агента.

3. Соискатель не приводит пояснения, касающиеся практического смысла номограмм по сушке (глава 3, п. 3.1.2).

4. Из диссертации (глава 2, п. 2.1) не ясно как измерялась температура частиц свекловичного жома, находящихся в псевдооживленном состоянии. Так же в главе 2, п. 2.2 следовало бы привести кривые нагрева не только при различных температурах перегретого пара, но и при других режимных параметрах.

5. В диссертации отсутствуют данные о влиянии гидродинамической структуры потоков сушильного агента в рабочей камере на кинетику процесса сушки материала (стр. 45-48).

6. Недостаточно четко охарактеризован результат проверки адекватности параметров моделирования процесса сушки жома экспериментальным данным (глава 3, п. 3.2.3).

7. В работе не проведен сравнительный анализ стоимости пектина, полученного предлагаемым способом сушки жома по сравнению с жомом, полученным другими способами сушки.

8. По тексту диссертации имеются орфографические и синтаксические ошибки.

### **Заключение**

В работе *Бородовицына Андрея Михайловича* на тему: «Совершенствование процесса сушки свекловичного жома перегретым паром для получения пектина» научно и экспериментально обоснована совокупность технических и технологических решений для организации энерго и ресурсосберегающего способа сушки свекловичного жома для получения пектина.

Выполненную Бородовицыным А.М. диссертационную работу следует считать законченным научным исследованием. Научно-практические результаты диссертации широко опубликованы в печати, что позволяет сделать заключение о высоком уровне выполненной работы, которая полностью соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученой степени» предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор *Бородовицын Андрей Михайлович* заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств».

### **Официальный оппонент:**

Доцент кафедры биотехнологии переработки мясного и молочного сырья,  
ФГБОУ ВО «Московского государственного университета технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ)», к.т.н., доцент

Казарцев Д.А.

109004, Москва, ул. Земляной Вал, д. 73,

kda\_79@mail.ru

тел.:+7(903)6504208

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

Подпись Казарцева Д.А.  
Директор департамента  
подрывной безопасности  
Т.И. Чернышев