

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

И.т.н., профессор



\_\_\_\_\_  
Попов В.Н.

\_\_\_\_\_» *октябрь* 2021 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

**Миленького Ильи Олеговича «Исследование и совершенствование процесса охмеления пивного сусла с помощью роторно-пульсационного аппарата», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств (технические науки)**

### Актуальность темы исследований

Автором проанализированы достоинства и недостатки современных способов охмеления, а также необходимость разработки нового способа охмеления пивного сусла. Обзор известного оборудования для охмеления пивного сусла показал, что применение роторно-пульсационного аппарата (РПА) является перспективным способом для интенсификации процесса охмеления. Поэтому, исследования внедрения РПА в технологическую линию производства пива и разработка нового способа охмеления пивного сусла, является актуальным для пивоваренных производств.

Конструкции этих аппаратов позволяют добиться однородности смешения хмеля с пивным сусликом и промывными водами, ускоряют протекание процессов экстрагирования изогумулонов за счет генерирования в них

гидромеханической кавитации и упругих колебаний. К основным достоинствам РПА относятся: энергоэффективность, малогабаритность.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Целью настоящей работы является совершенствование процесса охмеления пивного суслу с применением роторно-пульсационного аппарата. Для достижения поставленной цели был поставлен и выполнен ряд соответствующих задач.

Сформулированные в диссертационной работе научные положения, выводы и рекомендации, полученные в результате проведенных исследований, обоснованы. Используемые в диссертации методы исследований, теоретические и практические разработки соответствуют целям и задачам работы. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций базируются на использовании современных физико-механических методов анализа в испытательных лабораториях, в воспроизводимости экспериментальных данных в пределах заданной точности измерений, в том числе при опытно-промышленных испытаниях в условиях реального производства.

Обоснованность научных результатов исследования, степень достоверности полученных выводов и рекомендаций обеспечена корректностью поставленной цели, использованием существующих научных положений, достаточным количеством данных экспериментального материала, подтверждающих теоретические предпосылки.

Основное содержание диссертационной работы отражено в 14 работах, в том числе 1 публикация в международном издании, входящем в наукометрические базы данных Scopus, 2 публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 патента РФ.

**Научная новизна полученных результатов, положений, выводов и рекомендаций диссертационного исследования**

Научно обоснован способ охмеления пивного сусла с применением РПА, позволяющий сократить продолжительность технологической операции в 1,5 – 2 раза по сравнению с классическим способом, увеличить выход горьких веществ хмеля (изогумулонов) в 2,07 раза. Получены уравнения регрессии, описывающие процесс выхода изогумулонов хмеля в зависимости от переменных, представляющих собой рациональные технические и технологические параметры работы роторно-пульсационного аппарата.

Получена динамическая модель процесса охмеления пивного сусла на основе кибернетического подхода с применением структурно-параметрической идентификации, которая позволяет подобрать оптимальные физические параметры экстракции хмеля в РПА (зазор между ротором и статором, температура обрабатываемой среды, частота вращения ротора, время обработки) для обработки смеси пивного сусла или промывных вод с хмелем, позволяющих обеспечить наибольшую экстракцию изогумулонов хмеля.

#### **Значимость диссертационного исследования для науки и практики**

Теоретическая значимость работы заключается в возможности оптимизации процесса охмеления пивного сусла за счет применения полученных уравнений на основе структурно-параметрической идентификации, математически описывающих процесс экстракции изогумулонов хмеля в РПА.

Практическая значимость работы состоит в:

- определении рациональных параметров работы РПА и степень их влияния на выход горьких веществ хмеля: зазор между ротором и статором 0,3 мм, температура обрабатываемой среды 85°C, частота вращения ротора 3000 мин<sup>-1</sup>, время обработки 3 мин.

- разработке способа охмеления пивного сусла, защищенного патентом РФ № 2634870, позволяющего сократить продолжительность стадии охмеления пивного сусла и снизить нормы внесения хмеля.

- модернизации технологической линии производства пива с использованием в производственном цикле роторно-пульсационного аппарата.

**Оценка содержания диссертации, ее завершенности в целом**

Диссертационная работа Миленького Ильи Олеговича состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Основная часть диссертации изложена на 137 страницах. Содержит 68 рисунков, 10 таблиц. Список литературы включает 99 наименований.

Основные этапы диссертационной работы, выводы и результаты представлены в автореферате. Работа написана автором в логической последовательности и системно изложена, является законченным, целостным научным исследованием. Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее содержание.

**Во введении**, автором обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи работы, представлена общая характеристика работы.

**В первой главе** представлены и проанализированы технологические особенности производства пива. Факторы, оказывающие влияние на процесс охмеления пивного сусла, а также конструкции суслотварочных аппаратов и смежного оборудования, которое позволит интенсифицировать процесс охмеления пивного сусла. Обзор известного оборудования для охмеления пивного сусла показал, что применение РПА – это один из перспективных способов интенсификации процесса охмеления. Поэтому исследования в данной области являются актуальными.

**Во второй главе** представлено описание опытно-исследовательского стенда, состоящего из роторно-пульсационного аппарата и блока приборов, для управления и контроля режимов работы. Описаны характеристики материалов, применяемых в экспериментальных исследованиях. Определены методы экспериментальных исследований проведения качественных показателей пивного сусла.

**В третьей главе** приводятся результаты и анализ экспериментальных данных по исследованию влияния оптимальных параметров работы РПА на процесс охмеления пивного сусла. На основе варьируемых параметров, приведенной в автореферате и полученных значений содержания изогумулона  $I$ , мг/дм<sup>3</sup> в экстракте с различными экстрагентами были построены графики зависимости содержания изогумулона в хмелевом экстракте от времени

приготовления и частоты вращения ротора в РПА при различных температурах экстрагента.

В результате статистической оценки, проведенной с помощью регрессионного анализа получено уравнение, описывающее зависимость содержания изогумулонов,  $I$  в хмелевом экстракте от температуры,  $t$  в диапазоне 55-85 °С с зазором между ротором и статором,  $s$  0,3 мм, частотой вращения ротора,  $n = 2000 - 3000 \text{ мин}^{-1}$ , временем обработки,  $\tau - 1-3$  минуты.

В четвертой главе рассмотрена математическая модель, позволяющая смоделировать процесс получения хмелевого экстракта в РПА, с применением структурно-параметрической идентификации.

Применение структурно-параметрической идентификации на базе нетрадиционного алгоритмического аппарата непрерывных дробей дает возможность создать динамическую модель процесса для получения хмелевого экстракта с минимальным количеством экспериментальных данных или их отсутствием.

В пятой главе описан новый способ охмеления пивного сусла на который получен Патент РФ на изобретение № 2634870. Данный способ заключается во внесении предварительно приготовленного хмелевого экстракта на основе пивного сусла в РПА в пивное сусло во время процесса кипячения. Он позволяет интенсифицировать стадию охмеления, а именно сократить продолжительность технологической операции в 1,5 – 2 раза по сравнению с классическим способом, увеличить выход горьких веществ хмеля (изогумулонов) в 2,07 раза. За счет лучшей экстракции полифенолов усиливается эффект комплексообразования и осаждения белков в пивном сусле, что приводит к его лучшему осветлению и повышению коллоидной стойкости готового пива.

Проведены опытно-промышленные испытания РПА в составе технологической линии производства пива ООО «Бавария» на стадии охмеления. Оценка органолептических показателей двух образцов пива, сваренных по классической схеме и с применением РПА показала, что пиво, приготовленное с применением РПА обладает более насыщенным ароматом и хмелевой горечью.

### **Вопросы и замечания по диссертационной работе**

1. Из диссертационной работы не ясно по какому принципу происходит гидравлическое диспергирование в роторно-пульсационном аппарате.

2. Автором не приведена сравнительная характеристика затрат хмеля для классического способа приготовления пива и с применением роторно-пульсационного аппарата.

3. В диссертационной работе не рассмотрен такой важный показатель для пивного сула как рН, оказывающий значительное влияние на выход горьких веществ из хмеля.

4. Не ясно, почему в математическом моделировании процесса выхода горьких веществ из хмеля была применена передаточная функция первого порядка, а не второго или третьего?

5. В диссертационной работе не представлен экономический эффект от внедрения роторно-пульсационного аппарата в технологическую линию производства пива, что добавило бы солидности данной работе.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Учитывая актуальность темы исследования, научную новизну, высокий уровень проведенных экспериментальных исследований, практическую значимость, рекомендуется:

- внедрить результаты данной диссертационной работы на предприятия пивоваренной промышленности с целью получения пива заданного качества;

- использовать результаты и выводы диссертации в учебном процессе ВУЗов, реализующих основные образовательные программы подготовки аспирантов по направлению 19.06.01 – Промышленная экология и биотехнологии.

### **Заключение о соответствии диссертации требованиям Положения о присуждении ученых степеней**

Диссертация Миленького И.О. на тему «Исследование и совершенствование процесса охмеления пивного сула с помощью роторно-пульсационного аппарата» является законченной на должном уровне научной квалификационной работой и соответствует паспорту научной специальности 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств по пунктам 1, 2, 3.

гидромеханической кавитации и упругих колебаний. К основным достоинствам РПА относятся: энергоэффективность, малогабаритность.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Целью настоящей работы является совершенствование процесса охмеления пивного суела с применением роторно-пульсационного аппарата. Для достижения поставленной цели был поставлен и выполнен ряд соответствующих задач.

Сформулированные в диссертационной работе научные положения, выводы и рекомендации, полученные в результате проведенных исследований, обоснованы. Используемые в диссертации методы исследований, теоретические и практические разработки соответствуют целям и задачам работы. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций базируются на использовании современных физико-механических методов анализа в испытательных лабораториях, в воспроизводимости экспериментальных данных в пределах заданной точности измерений, в том числе при опытно-промышленных испытаниях в условиях реального производства.

Обоснованность научных результатов исследования, степень достоверности полученных выводов и рекомендаций обеспечена корректностью поставленной цели, использованием существующих научных положений, достаточным количеством данных экспериментального материала, подтверждающих теоретические предпосылки.

Основное содержание диссертационной работы отображено в 14 работах, в том числе 1 публикация в международном издании, входящем в наукометрические базы данных Scopus, 2 публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 патента РФ.

**Научная новизна полученных результатов, положений, выводов и рекомендаций диссертационного исследования**

Диссертационная работа отвечает требованиям п.9-14 «Положения о присвоении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор, Миленский Илья Олегович, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 - Процессы и аппараты пищевых производств.

Официальный отзыв подготовил заведующий кафедрой «Машины и аппаратов пищевых производств» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», доктор технических наук, профессор Виталий Николаевич Василенко.

Отзыв на диссертацию И.О. Миленского обсужден на заседании кафедры «Машины и аппаратов пищевых производств» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» «5» октября 2021 г., протокол № 3. На заседании присутствовало 17 человек. Результаты голосования: «за» 17 человек, «против» нет, «воздержались» - нет.

Заведующий кафедрой «Машины  
и аппаратов пищевых производств»

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
университет инженерных технологий»,

доктор технических наук, профессор



/Василенко Виталий Николаевич/

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Тел: 8(800)100-0024

e-mail: priem@vsuet.ru

394036, г. Воронеж, пр. Революции, д. 19

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»  
Подпись: Василенко В.Н.  
22.10.2021 ЗАВЕРЯЮ  
Начальник управления кадров Жульцова Елена

