

На правах рукописи

РУКАВИЦЫН ПАВЕЛ ВЛАДИМИРОВИЧ

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ОХМЕЛЕНИЯ
В ПИВОВАРЕНИИ: ПОДБОР СЫРЬЯ, ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ
И НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ**

05.18.01 – «Технология обработки, хранения и переработки злаковых,
бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции
и виноградарства»

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»

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Новикова Инна Владимировна
(ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
университет инженерных технологий»)

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Помозова Валентина Александровна
(ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет»);

кандидат технических наук, доцент
Зипаев Дмитрий Владимирович
(ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет»)

Ведущая организация: **ВНИИПБ и ВП – филиал ФГБНУ
«Федеральный научный центр пищевых
систем им. В.М. Горбатова» РАН, г. Москва**

Защита состоится «20» июня 2022 года в 15³⁰ ч на заседании
совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата
наук, на соискание ученой степени доктора наук Д.212.035.04 при ФГБОУ
ВО «Воронежский государственный университет инженерных
технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ») по адресу: 394036, г. Воронеж, пр-т
Революции, 19, конференц-зал.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах), заверенные
гербовой печатью учреждения, просим направлять ученому секретарю
совета Д.212.035.04.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке
ФГБОУ ВО «ВГУИТ». Полный текст диссертации размещен в сети
«Интернет» на официальном сайте ФГБОУ ВО «ВГУИТ» www.vsuet.ru
«5» апреля 2022 г.

Автореферат размещен в сети Интернет на официальном сайте
ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ по адресу:
www.vak2.minobrnauki.gov.ru и на официальном сайте ФГБОУ ВО
«ВГУИТ» www.vsuet.ru «20» апреля 2022 г.

Автореферат разослан «26» апреля 2022 г.

Ученый секретарь по защите
диссертаций на соискание
ученой степени кандидата
наук, на соискание доктора
наук Д.212.035.04, к.т.н.,
доцент

Е.В. Белокурова

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. В настоящее время неотъемлемой частью современного пивоварения является сухое охмеление. Для распространенных сортов пива характерно высокое содержание ароматических компонентов, экстрагируемых из хмеля, наряду с нормируемым количеством горьких веществ. Развитие крафтовых сортов пива со сложными фруктовыми, цветочными и цитрусовыми тонами, поиск оригинального вкуса и возрождение старинных рецептур служат предпосылками для применения сухого охмеления. По сравнению с традиционным процессом сухое охмеление способствует экстрагированию значительного количества ароматобразующих компонентов, в частности, эфирных масел, теряемых при традиционном кипячении сула с хмелем. При сухом охмелении сенсорный профиль готового пива максимально приближается к профилю используемого хмеля.

Учитывая важность этапа охмеления в технологии пива, необходимо отметить содержание в сырье соединений, обладающих биологически активными свойствами: горьких веществ, фенольных соединений, эфирных масел, повышенное содержание которых может отрицательно сказаться на безопасности продукции. Сухое охмеление также может служить источником улучшения сенсорных характеристик пива с вероятностью увеличения содержания в пивоваренной продукции соединений, оказывающих благоприятное воздействие на организм человека. Способ позволяет в большей степени раскрыть потенциал хмеля.

Поэтому исследование, направленное на выявление закономерностей при комбинировании сортов хмеля, внесении хмеля на различных этапах пивопроизводства, оптимизация условий и продолжительности процесса охмеления с последующей модификацией установки для динамического сухого охмеления, является актуальным. Оно позволит снизить временные, производственные и финансовые затраты при реализации динамического сухого охмеления для разработки новых сортов готовой продукции, увеличить эффективность использования растительного сырья, повысить технико-экономические показатели пивопроизводства, реализовать тенденцию импортозамещения основного сырья в пивоварении, что особенно важно для предприятий малого и среднего бизнеса.

Степень разработанности темы. В раздел теоретических и практических основ технологий пивоварения весомый вклад внесли ученые: Гернет М.В., Меледина Т.В., Федоренко Б.Н., Ермолаева Г.А., Помозова В.А., Пермьякова Л.В., Фараджева Е.Д., Матвеева Н.А., Карпенко Д.В., Wolfe P., Qian M.C., Shellhammer T.H., Podeszwa T. и др.

Противоречие между стремлением снизить временные, производственные и финансовые затраты за счет обоснования, разработки и внедрения способа сухого охмеления и уровнем знаний о закономерностях процессов формирования физико-химических и органолептических показателей пива, характеризующих изменения в динамике, а также их связях с основными параметрами процесса экстрагирования целевых

компонентов из хмеля, подтверждает актуальность проблемы, на решение которой направлена диссертационная работа.

Работа выполнена в рамках прикладных научных исследований и экспериментальных разработок приоритетного направления развития НОЦ «Живые системы» ВГУИТ «Живые системы в технологиях переработки сельхозсырья»; плана госбюджетной инициативной научно-исследовательской работы кафедры «Технологии броидильных и сахаристых производств» по теме «Совершенствование технологических процессов броидильных и сахаристых производств с использованием физико-химических, ресурсосберегающих, биохимических методов воздействия и нетрадиционного сырья».

Цель диссертационной работы: научное обоснование повышения эффективности использования хмеля при исследовании и оптимизации условий процесса охмеления с совершенствованием аппаратурного обеспечения.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие **задачи:** разработать методику для обоснования различий в качественном и количественном составе ароматобразующих компонентов хмеля с помощью сенсорных технологий; теоретически обосновать режим динамического сухого охмеления с оценкой эффективности перехода ароматических соединений и целевых компонентов хмеля в пиво; разработать методику интегральной оценки качества пива и математическую модель для оптимизации параметров процесса динамического сухого охмеления; провести исследование образцов охмеленного и неохмеленного зернового сула с помощью микроядерного теста в буккальном эпителии человека; модифицировать установку для проведения процесса динамического сухого охмеления; провести апробацию и технико-экономическую оценку разработанного способа динамического сухого охмеления в опытно-производственных условиях.

Научная новизна. Осуществлен подбор химических сенсоров с разработкой методики и получением данных для идентификации проб гранулированного хмеля в статическом детектирующем устройстве «пьезоэлектронный нос». Теоретически обоснованы параметры технологического процесса с реализацией динамического охмеления для повышения эффективности извлечения целевых компонентов из хмеля. Разработана методика интегральной оценки качества пива, оптимизированы технологические параметры процесса динамического сухого охмеления с комбинацией линейной интерполяции и аппроксимации нейронной сетью. Экспериментально доказано отсутствие влияния хмеля на индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений с помощью микроядерного теста в буккальном эпителии человека.

Теоретическая и практическая значимость. Обоснованы количество сенсоров, продолжительность пробоподготовки и измерения, границы допустимых отклонений, изменение объема равновесной газовой фазы, природа и масса покрытий на электродах при реализации методики оценки ароматобразующих компонентов хмеля.

Сформулирован принцип расчета эффективности перехода ароматических соединений (мирцен, β -кариофиллен, фарнезен, α -гумулен, линалоол, гераниол) и нелетучих компонентов хмеля (гумулиноны, α -кислоты, изо- α -кислоты, полифенолы) в пиво при реализации сухого охмеления.

Разработан математический аппарат – комбинация линейной интерполяции и аппроксимации радиальной нейронной сетью – для получения аналитических дифференцируемых функций показателей эффективности процесса для решения общей задачи оптимизации.

С помощью математического аппарата рассчитаны оптимальные технологические параметры процесса сухого охмеления: сорт Saphir, длительность процесса 12 ч, температура 3,0 °С; сорт Chinook, продолжительность процесса 10,5 ч, температура 3,0 °С.

Разработан способ идентификации проб гранулированного хмеля с применением химических сенсоров в статическом устройстве «пьезоэлектронный нос» детектированием нескольких компонентов легколетучей фракции запаха, визуализацией индивидуального профиля химического состава аромата проб.

Усовершенствована установка для реализации процесса динамического сухого охмеления с интенсификацией экстрагирования ароматических веществ хмеля в пиво, снижением расхода хмеля в 2–3 раза и потерь пива на 15 % по сравнению со статическим способом сухого охмеления. Предложены рецептуры напитков, что позволит увеличить ассортимент и конкурентоспособность продукции.

Новизна технических решений и практическая значимость работы подтверждена патентом на изобретение № 2670651 «Способ установления идентичности проб гранулированного хмеля по запаху с применением химических сенсоров» и патентом на полезную модель № 187478 «Установка для сухого охмеления пива».

Разработаны проекты технической документации на сорта пива с применением сухого охмеления: технологическая инструкция по производству пива «Индийский Пэйл Эль», ТУ 11.05.10-553-02068108-2022, ТИ к ТУ 11.05.10-553-02068108-2022. Указаны физико-химические и органолептические показатели готовой продукции, параметры технологического процесса, режимы и сроки хранения разработанной продукции.

Экономическая эффективность внедрения результатов исследований в производство подтверждена финансово-экономическими показателями выполненных технологических и технических разработок: расчетный экономический эффект от реализации предлагаемых технических и технологических решений составляет 1 719,30 тыс. р. при производстве 90 000 дал пива в год.

Методы исследования. На различных этапах исследований для приготовления образцов применяли горькие и горько-ароматические сорта хмеля (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика образцов хмеля гранулированного

| Наименование | α -кислоты | β -кислоты | Когумулон | Всего масел мл/100 г. | Описание хмеля |
|---------------------|-------------------|------------------|-----------|-----------------------|--|
| Hallertau Magnum | 7,0–11,5 | 3,5–5,5 | 18–25 | 0,6–1,7 | Очень мягкий и приятный, пряный, с травяными и цветочными тонами |
| Chinook | 12,0–15,0 | 3,0–4,0 | 29–34 | 1,5–2,5 | Отчетливый, среднеинтенсивный пряный, хвойный, с тонкими нотами грейпфрута |
| Amarillo | 8,0–11,0 | 6,0–7,0 | 21–24 | 1,5–1,9 | Цветочные, тропические фрукты и цитрусовые (апельсин) тона |
| Cascade | 4,5–7,0 | 4,5–7,0 | 33–40 | 0,8–1,5 | Среднеинтенсивный пряный, цветочный, цитрусовый и грейпфрутовый |
| Saphir (тип 90) | 2,0–4,5 | 4,0–7,0 | 12–17 | 0,8–1,4 | Четкие пряные и фруктовые тона |
| Perle (тип 45) | 7,0–9,5 | 4,0–5,0 | 27–32 | 0,7–0,9 | Слегка пряный с травяным и цветочным характером |

Для приготовления образцов пива применяли сырье: солод пивоваренный ячменный (светлый, карамельный), по базисным и ограничительным нормам соответствующий ГОСТ 29294-2014 «Солод пивоваренный. Технические условия», хмель гранулированный тип 45 и тип 90 по ГОСТ 32912-2014 «Хмелепродукты. Общие технические условия», предназначенный для использования в пивоваренной промышленности; воду по СанПиН 2.1.4.1074-01, подготовленную для процесса пивоварения для производства пива (ТИ 10-5031536-73-90; дрожжи пивные Fermentis Safale S-33 с показателями: спиртоустойчивость 12 % об., способность к флокуляции – средняя, степень сбраживания 86 %, дозировка 0,55 г/дм³, диапазон температур брожения 12-25 °С.

Исследование ароматобразующих компонентов хмеля проводили в НИЛ ООО «Сенсорика – Новые Технологии» на анализаторе запахов «MAG-8» с методологией «Электронный нос», а также на базе компании Hopsteiner (сравнительный HPLC-анализ). Отклики сенсоров зафиксированы, обработаны и сопоставлены в программном обеспечении анализатора «MAG Soft».

Ароматические вещества хмеля (мирцен, β -кариофиллен, фарнезен, α -гумулен, линалоол, гераниол) количественно определяли газохроматографическим методом после разделения эфирных масел на углеводородную и кислородную фракции с помощью ГХ «Хромос-2000».

Кислоты хмеля и их производные: гумулиноны (гумулоны), изо- α -кислоты, α -кислоты, β -кислоты и их относительные концентрации в хмеле и пиве определяли с помощью метода ВЭЖХ. Общее содержание полифенолов, а также катехинов, кверцетина, низкомолекулярных полифенолов контролировали спектрофотометрическим методом. Для оценки влияния хмеля на частоту ядерных аберраций был использован микроядерный тест в буккальном эпителии человека.

Оценки состава и свойств исследуемых объектов осуществляли в соответствии с НД: методы отбора проб – по ГОСТ 12786; определение спирта – по ГОСТ 12787; определение экстрактивности начального сусле – по ГОСТ 12787; определение кислотности – по ГОСТ 12788; определение рН – по ГОСТ 31764; определение цвета – по ГОСТ 12789; определение органолептических показателей – по ГОСТ 30060.

Экспериментальные данные представлены после статистической обработки результатов 3–4 опытов. Погрешности инструментальных измерений не превышали определенных значений, указанных в нормативной документации отрасли.

Научные положения, выносимые на защиту. Качественные и количественные критерии, позволяющие объективно принимать решение о степени идентичности проб гранулированного хмеля для оценки воспроизводимости аромата, изменений в процессе хранения; математический аппарат – комбинация линейной интерполяции и аппроксимации данных радиальной нейронной сетью, что позволяет получить функции при изменении продолжительности охмеления, температуры или состава хмелей; оптимизация параметров процесса динамического сухого охмеления при экономии сырьевых ресурсов в пивоварении; получение данных при изучении влияния употребления охмеленного и неохмеленного зернового сусле на частоту встречаемости ядерных аберраций в буккальном эпителии человека; эффективность и оперативность процесса извлечения компонентов хмеля путем применения динамического способа сухого охмеления и новых технических решений.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационное исследование соответствует пунктам 2, 8, 12 паспорта специальности 05.18.01 – «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства».

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных научных результатов подтверждается сравнительной проработкой информационно-патентных данных, применением объективных современных методов исследований, приборов и оборудования; применением статистических методов обработки экспериментальных данных; воспроизводимостью результатов исследований; апробацией разработанных технических и технологических

решений в опытно-производственных условиях, представлением и обсуждением в научных печатных изданиях.

Научные положения и результаты диссертационного исследования обсуждались на ежегодных отчетных научных конференциях в ФГБОУ ВО «ВГУИТ» (2017, 2019, 2021), на научно-практических, научно-технических всероссийских, международных конференциях: «Явления переноса в процессах и аппаратах химических и пищевых производств», 2016, г. Воронеж; «Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья», 2016, г. Воронеж; «Актуальные вопросы нутрициологии; биотехнологии и безопасности пищи», 2017, г. Москва; «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение», 2018, 2019, г. Воронеж; «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство», 2018, г. Воронеж; «Инновационные технологии студентов, аспирантов и молодых ученых», 2019, г. Севастополь.

По результатам работы получены дипломы выставок инновационных разработок в рамках VIII Международного Агропромышленного конгресса (Воронеж, 2018), III Международного семинара компании «Профимальт» (Липецк, 2019), Международных конференций «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение» (Воронеж, 2018–2020); получена награда – бронзовая медаль на IV Международной выставке изобретений и инноваций (Воронеж, 2019).

Новые технические решения апробированы на этапах производства пива с подтверждением реальных возможностей внедрения в условиях ООО «Пивовар» (г. Воронеж, 2022).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 16 научных работ, в том числе 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ (2 статьи в изданиях, индексируемых в БД Web of Science), 9 статей в изданиях РИНЦ, получены патент на изобретение № 2670651 «Способ установления идентичности проб гранулированного хмеля по запаху с применением химических сенсоров» и патент на полезную модель № 187478 «Установка для сухого охмеления пива».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести основных глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 158 страницах машинописного текста, содержит 29 таблиц и 46 рисунков. Список литературы включает 135 наименований, в том числе 96 иностранных источников. Приложения к диссертации представлены на 35 страницах.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертационном исследовании, состоит в формулировании научных целей и задач исследования, анализе информационных источников, выборе объектов и методов исследований, реализации этапов научно-исследовательского процесса, обработке результатов, формулировании выводов, апробации теоретических положений и практических рекомендаций.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и задачи, научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе систематизированы результаты патентно-информационного поиска об опыте и перспективах применения сухого охмеления. На основании проведенного анализа сформулированы актуальность, цель и задачи диссертационной работы. **Во второй главе** в соответствии с целью и задачами представлена структурная схема теоретических и экспериментальных исследований (рисунок 1). Изучали характеристики и свойства объектов исследования: сырья, полупродуктов и готовой продукции. Обработку результатов проводили в лабораториях кафедры технологии броидильных и сахаристых производств ФГБОУ ВО «ВГУИТ», в лабораториях ЦКП «Испытательный центр» ФГБОУ ВО «ВГУИТ»; в лаборатории «Молекулярной генетики и клеточной биологии» кафедры генетики, цитологии и биоинженерии ФГБОУ ВО «ВГУ», в условиях лабораторно-производственной базы ООО «П.И.Н.Т.А КРАФТ». Исследования проводили с применением сырья и материалов компании Norstainer.

В третьей главе проводили экспресс-оценку аромата сортов хмеля с помощью систем с искусственным интеллектом, а также методом HPLC-анализа. Было установлено, что различия в составе органических соединений в образцах хмеля составляют более 40 %. В равновесной газовой фазе над пробой хмеля В меньшее содержание азотсодержащих и других сильнополярных соединений. Образцы А и В значительно отличались по содержанию сложных и простых эфиров, кислот и спиртов.

Результаты сенсорного метода дали «визуальные отпечатки» максимумов, что позволило установить наличие идентичных компонентов в смеси ароматобразующих веществ в газовой фазе анализируемых образцов с подтверждением различий в количественном составе ароматобразующих компонентов образцов хмеля хроматографическим методом.

Методика обеспечивает получение качественных (параметры А) и количественных (площадь «визуального отпечатка») критериев, позволяющих объективно принимать решение как о степени идентичности проб сортового хмеля различных лет урожая, так и для оценки изменений органолептических характеристик в процессе хранения (рисунок 2).

Установили, что для сухого охмеления будет рациональным использование хмеля сорта В (сорт Saphir) различных лет урожая с определенным содержанием ароматических компонентов (гумулен, 400б ppm; соотношение гумулен/кариофиллен 3,07), сочетание которых гармонизирует органолептические характеристики готового продукта.

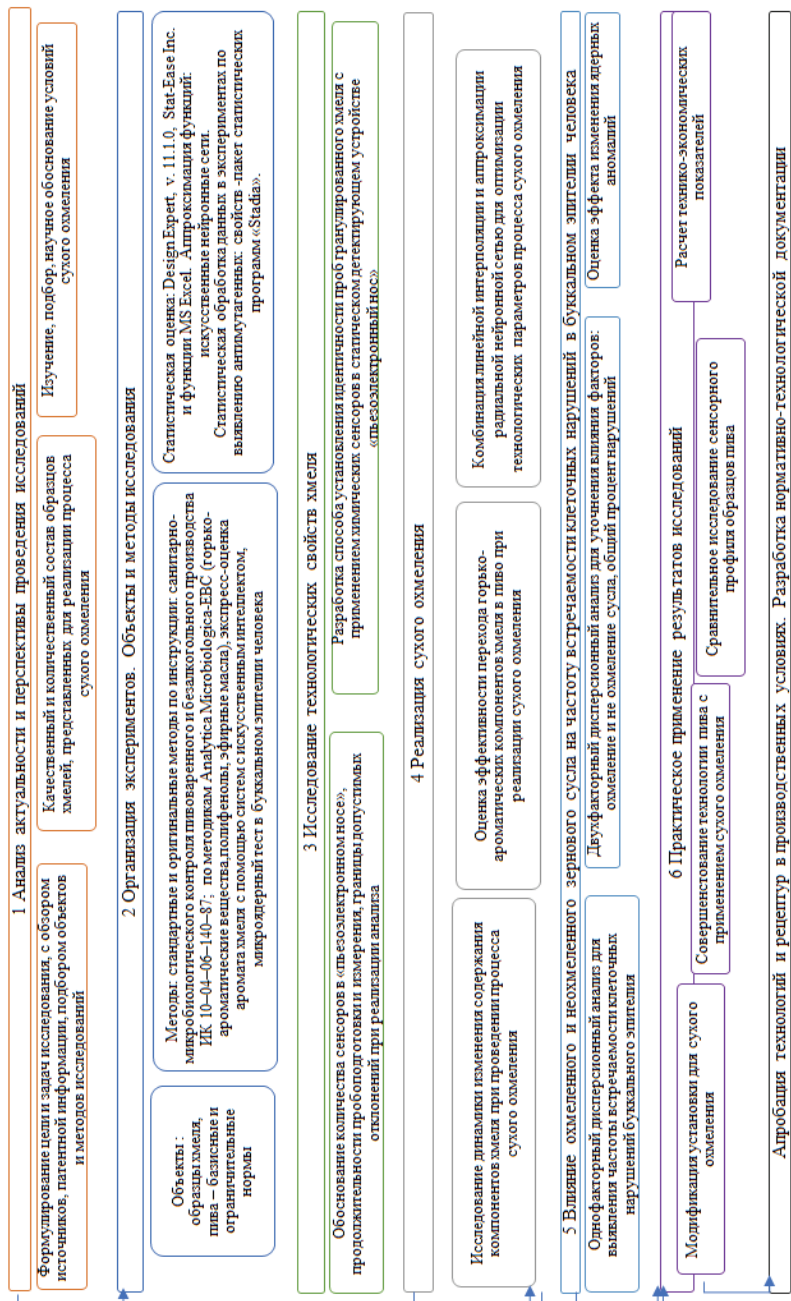
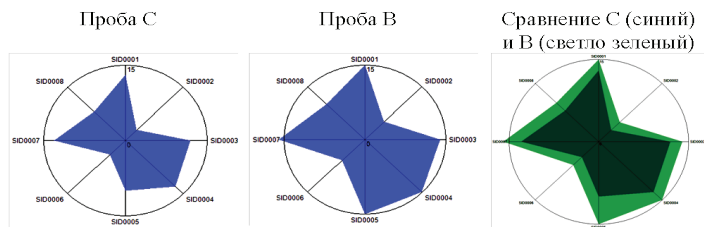
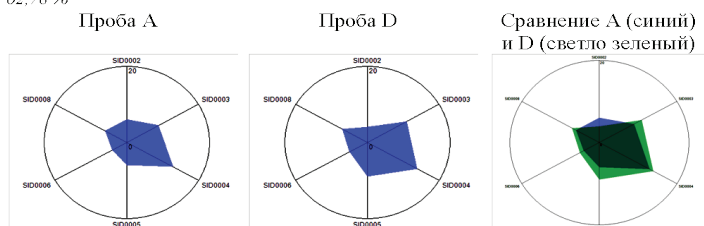


Рисунок 1 – Структурная схема теоретических и экспериментальных исследований



Площадь визуального отпечатка: базовое измерение 233,70 Гц, сравниваемое измерение 380,42. Абсолютная разность площадей: 146,72. Относительная разность: 62,78%



Площадь визуального отпечатка: базовое измерение 144,19 Гц, сравниваемое измерение 187,06. Абсолютная разность площадей: 42,87; Относительная разность: 29,73%

Рисунок 2 – «Визуальные отпечатки» максимальных сигналов сенсоров в равновесной газовой фазе над пробами. По круговой оси – время фиксирования сигналов, с.; по вертикали – отклики сенсоров, Гц

В четвертой главе определена эффективность переноса горьких, ароматических веществ и полифенолов во время сухого охмеления (рисунки 3, 4).

Потери изо- α -кислот в пиве в процессе сухого охмеления подтверждены в исследовании – значительное снижение концентрации изо- α -кислот наблюдали для двух исследуемых сортов хмеля после 24 ч сухого охмеления, особенно при температуре 20 °С.

Для пива, охмеленного с Chinook, наибольшее процентное увеличение полифенолов произошло в течение первых суток при обеих температурах. Однако увеличение общего содержания полифенолов для данного сорта хмеля было ниже, чем с Saphir.

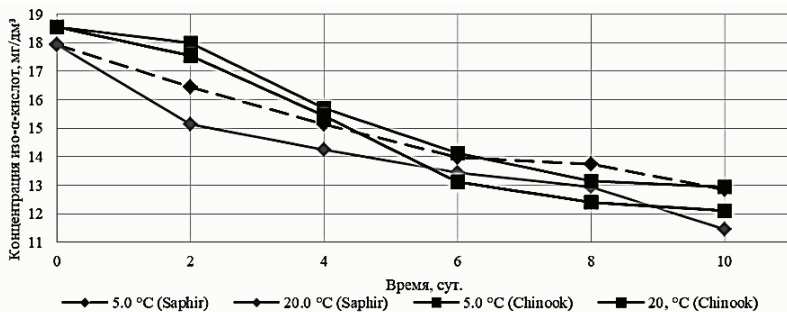


Рисунок 3 – Изменение концентрации изо- α -кислот в процессе сухого охмеления при 5 и 20 °C

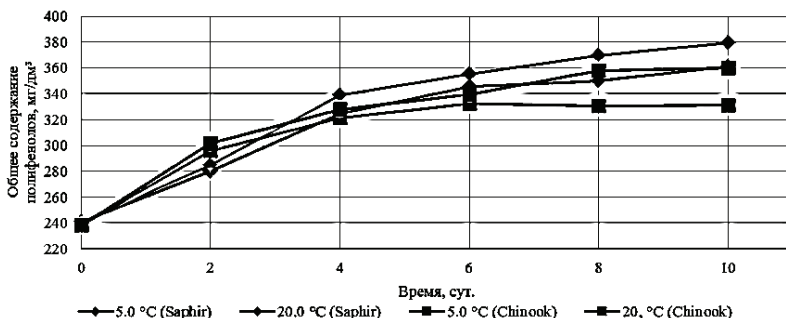


Рисунок 4 – Изменение общего содержания полифенолов при 5 и 20 °C

Эффективность перехода значительно варьировалась для отдельных компонентов аромата хмеля: самая низкая эффективность преобразования (менее 1 %) была зарегистрирована для мирцена, β -кариофиллена и α -гумулена. Для гераниола, с другой стороны, значения составляли 50 % и выше, а для линалоола – более 100 % (таблица 2).

Таблица 2 – Эффективность перехода некоторых ароматических веществ из хмеля в пиво при сухом охмелении, % отн.

| Компонент | Amarillo | Cascade | Saphir | Chinook |
|----------------------|----------|---------|--------|---------|
| Линалоол | 111 | 100 | 102 | 106 |
| Гераниол | 49 | 49 | 178 | 138 |
| Мирцен | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,2 |
| β -кариофиллен | 0,6 | – | – | 0,02 |
| α -гумулен | 1,9 | 0,2 | 0,1 | 0,2 |

Полученные на этапе экспериментальных исследований результаты позволили определить оптимальную длительность процесса охмеления, температуру и состав комбинации хмелей.

Общий принцип оптимизации изображен схематично на рисунке 5.

Факторами оптимизации являлись: t – длительность процесса охмеления; T – температура процесса охмеления; c – концентрация хмеля

Chinook в комбинации хмелей Saphir и Chinook (представляет собой вещественное число от 0 до 1).

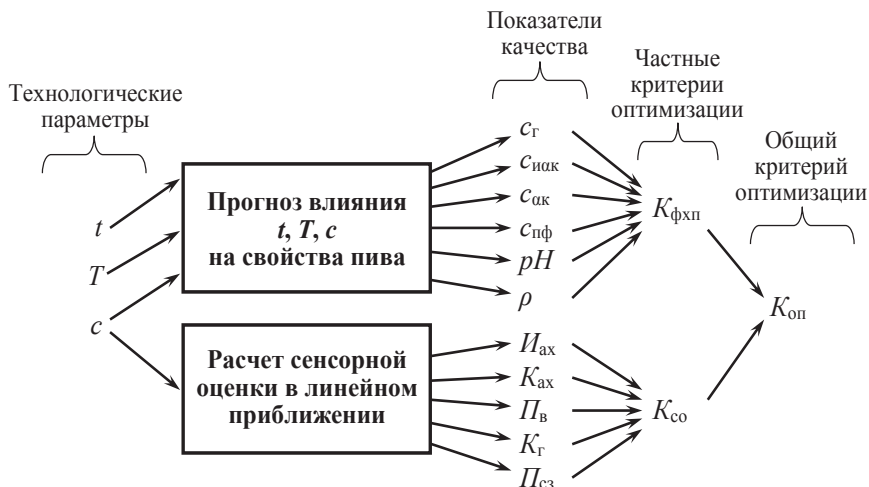


Рисунок 5 – Постановка задачи оптимизации технологических параметров процесса сухого охмеления

Разработанная и изложенная ниже методика прогноза позволяет определить следующие физико-химические показатели пива: c_{Γ} – концентрация гумулинонов; $c_{\text{иак}}$ – концентрация изо- α -кислот; $c_{\text{ак}}$ – концентрация α -кислот; $c_{\text{пф}}$ – общее содержание полифенолов; pH – водородный показатель (показатель кислотности); ρ – объемная плотность напитка. Для заданной комбинации хмелей Saphir и Chinook можно определить показатели сенсорной оценки в приближении линейной комбинации с учетом концентрации хмелей: $I_{\text{ах}}$ – интенсивность аромата хмеля; $K_{\text{ах}}$ – качество аромата хмеля; $P_{\text{в}}$ – полнота вкуса; K_{Γ} – качество горечи; $P_{\text{сз}}$ – предпочтение (среднее значение).

На основе спрогнозированных для данного набора t, T, c физико-химических показателей и показателей сенсорной оценки определяются частные критерии оптимизации: $K_{\text{фхп}}$ – критерий оптимизации физико-химических показателей; $K_{\text{сo}}$ – критерий оптимизации сенсорной оценки. На основе частных критериев оптимизации определяется общий критерий оптимизации $K_{\text{оп}}$, который представляет собой интегральную оценку качества пива. Таким образом, общий критерий оптимизации является функцией трех технологических параметров: $K_{\text{оп}}(t, T, c)$.

Оптимизация заключается в определении значений или диапазонов (что лучше для практических целей) параметров t, T, c , при которых функция принимает максимальное значение $K_{\text{оп}}(t, T, c)$:

$$K_{on}(t, T, c) \rightarrow \max \Rightarrow t_{opt}, T_{opt}, c_{opt},$$

где t_{opt} , T_{opt} , c_{opt} – оптимальные значения технологических параметров.

Разработанный математический аппарат – комбинация линейной интерполяции и аппроксимации радиальной нейронной сетью показал, что при сухом охмелении хмелем Chinook оптимальная длительность процесса составляет 10,5 ч, оптимальная температура составляет 3,0 °С. При температурах процесса сухого охмеления ниже 3,0 °С критерий оптимизации получается незначительно ниже, чем для 3,0 °С. При температурах 1,5 и 2,0 °С оптимальная длительность процесса составляет 8,15 и 11,25 суток соответственно.

В пятой главе с целью обеспечения контроля качества и безопасности пищевой продукции впервые были проведены исследования влияния хмеля *in vivo* на частоту aberrаций клеток с помощью микроядерного теста в буккальном эпителии человека. Был проведен анализ частоты встречаемости аномалий ядра в клетках буккального

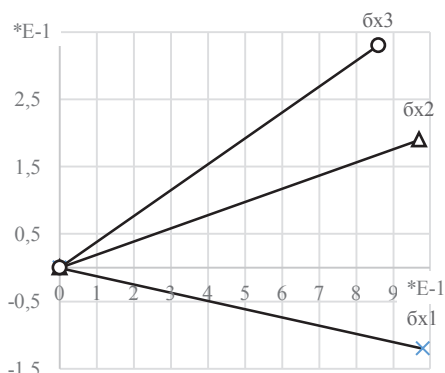


Рисунок 6 – Факторный анализ результатов экспериментов по влиянию употребления охмеленных и неохмеленных образцов на индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений

эпителии у лиц, употребляющих охмеленные и неохмеленные образцы суслу, на частоту встречаемости клеточных нарушений в буккальном эпителии человека.

Обнаружены следующие типы нарушений: клетки с микроядрами, двумя ядрами, насечками, перинуклеарными вакуолями, протрузиями типа «язык» и «разбитое яйцо», кариопикнозом, кариолизисом и кариорексисом. На основании полученных данных вычислены индексы репарации (RI) и накопления цитогенетических нарушений (Iac).

Не выявлено влияние хмеля на индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений. Методами факторного анализа показано, что основной вклад в дисперсию системы признаков будет вносить фактор «специфичность изучаемых цитогенетических показателей» (рисунок 6).

В шестой главе описано применение технических решений по модификации установки для сухого охмеления в условиях пивопроизводства. Предлагаемая установка для динамического сухого охмеления (рисунок 7) позволяет: интенсифицировать переход эфирных масел и ароматических веществ хмеля при сухом охмелении, в результате пиво приобретает насыщенный вкус и аромат с пролонгированием срока хранения напитка за счет более полного извлечения ароматических и горьких компонентов хмеля; исключить потери углекислого газа и нагрев пива; использовать отработанный отжатый хмель для охмеления суслу при варке в заторно-суловарочном аппарате (в этом случае дозировка отработанного хмеля в 2 раза выше, чем свежего хмеля); использовать вместо хмеля фрукты, ягоды, специи, травы и прочие растительные ароматические источники; снизить расход хмеля в 2,5–3 раза и потери пива с осадком на 15 % по сравнению с реализацией сухого охмеления непосредственно в емкости с пивом; снизить продолжительность сухого охмеления (6–8 ч с применением установки для сухого охмеления вместо 14 сут, если сухое охмеление осуществлять непосредственно в танке дображивания).

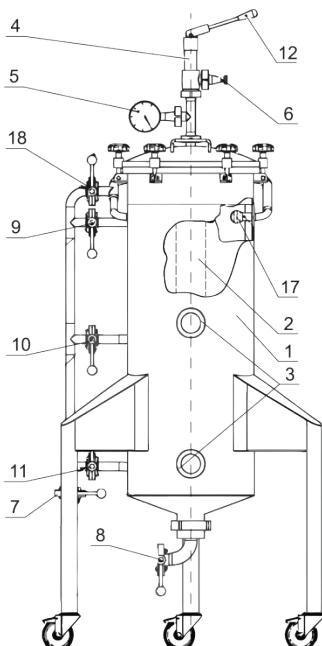


Рисунок 7 – Схема установки для сухого охмеления пива: 1 – вертикальная цилиндрическая емкость на роликовых опорах; 2 – сетчатый сепаратор; 3 – смотровой диоптр; 4 – предохранительный клапан с рычагом сброса давления; 5 – манометр с мембранным разделителем; 6 – кран подачи углекислоты; 7 – кран входа и 8 – выхода пива; 9–11 кран тангенциального входа; 12 – воздуховыпускный рычаг; 17 – трубопровод CIP с двумя моющими головками; 18 – кран CIP мойки; 19 – насос

Основные выводы и результаты

1. Разработали методику для оценки различий в качественном и количественном составе ароматобразующих компонентов хмеля с помощью мультисенсорного анализатора «Электронный нос»; определили качественный и количественный состав эфирных масел в образцах хмелей с помощью мультисенсорного анализатора

«Электронный нос» и методом HPLC. По результатам сенсорного метода получили «визуальные отпечатки» максимумов, которые позволили установить наличие идентичных компонентов в смеси ароматобразующих веществ в газовой фазе над анализируемыми образцами, подтвердили различия в количественном составе ароматобразующих компонентов образцов хмелей хроматографическим методом.

2. Теоретически обосновали режим сухого охмеления для получения новых сортов пива с оценкой эффективности перехода ароматических соединений и целевых компонентов хмеля в пиво при реализации динамического охмеления; определены значения эффективности перехода ароматических веществ при сухом охмелении пива: для полифенолов значения составляли в среднем 50–70 %, увеличение содержания α -кислот – в диапазоне 1,1–5,5 %. Для отдельных ароматических компонентов хмеля величина эффективности изменялась значительно: минимальные эффективности перехода (менее 1 %) были отмечены для мирцена, β -кариофиллена и α -гумулена, для гераниола эта величина составляла 50 % и выше, для линалоола – более 100 %.

3. Разработали математическую модель для оптимизации параметров процесса динамического сухого охмеления с получением данных по сортам и соотношению сырья, продолжительности и условиям реализации охмеления и методику интегральной оценки качества пива; для аппроксимации результатов исследования использовали радиальные нейронные сети. Определили оптимальные технологические параметры процесса: хмель Saphir, длительность процесса 12 ч, температура 3,0 °С. При сухом охмелении хмелем Chinook оптимальная длительность процесса составляет 10,5 ч, температура – 3,0 °С.

4. Не выявили влияние хмеля на индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений с помощью микроядерного теста в буккальном эпителии человека. Методами факторного анализа показали, что основной вклад в дисперсию системы признаков будет вносить фактор «специфичность изучаемых цитогенетических показателей».

5. Модифицировали установку для проведения процесса динамического сухого охмеления: смешивание и рециркуляцию суспензии осуществляли тангенциальной подачей пива, что позволяет обеспечить получение пива с насыщенным вкусом и ароматом, исключить потери углекислого газа и нагрев пива, снизить расход хмеля в 2,5–3 раза и потери пива с осадком на 15 % по сравнению с реализацией сухого охмеления статическим способом, снизить продолжительность сухого охмеления (6–8 ч с применением установки для сухого охмеления вместо 14 сут).

6. Провели экспериментальную проверку и технико-экономическую оценку разработанного способа динамического сухого охмеления в опытно-производственных условиях. Рассчитанные технико-экономические показатели разработок подтвердили эффективность внедрения. Планируется увеличение основных показателей: прибыль

от реализованной продукции возросла на 1719,30 тыс. р., рентабельность продукции и производства – на 1,55 % и на 4,84 % соответственно при производстве 90 000 дал продукции в год.

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

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Новикова, И.В. Влияние основных параметров процесса сухого охмеления на физико-химические показатели пива / И.В. Новикова, П.В. Рукавицын, А.С. Муравьев // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2018. – № 6 (53). – С. 9–17 (0,92 п.л.; лично соискателем 0,31 п.л.).

2. Новикова, И.В. Обзор: Сухое охмеление в пивоварении / И.В. Новикова, П.В. Рукавицын, А.С. Муравьев // Вестник ВГУИТ. – 2018. – Т. 80. – № 2. – С. 144–149 (0,35 п.л.; лично соискателем 0,12 п.л.).

3. Новикова, И.В. К вопросу перехода ароматических соединений хмеля в пиво при реализации сухого охмеления / И.В. Новикова, П.В. Рукавицын, А.С. Муравьев // Пищевая промышленность. – 2019. – № 1. – С. 69–73 (0,29 п.л.; лично соискателем 0,1 п.л.).

Статьи в изданиях, индексируемых в БД Web of Science

4. Коростелев, А.В. Исследование ароматобразующих компонентов хмеля с применением химических сенсоров / А.В. Коростелев, П.В. Рукавицын, И.В. Новикова [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2020. – Т. 10. № 3(34) С. 479–486 (0,69 п.л.; лично соискателем 0,12 п.л.).

5. Рукавицын, П.В. Оптимизация технологических параметров процесса сухого охмеления с разработкой методики интегральной оценки качества пива / П.В. Рукавицын, И.В. Новикова, А.С. Муравьев // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2021. – № 3. – С. 162–174 (1,5 п.л.; лично соискателем 0,5 п.л.).

Статьи и материалы конференций

6. Рукавицын, П.В. Экстрагирование для пробоподготовки при идентификации сортов хмеля / П.В. Рукавицын, И.В. Новикова, А.В. Коростелев, М.Ю. Парашкин // Явления переноса в процессах и аппаратах химических и пищевых производств: материалы II Международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 306–308 (0,17 п.л.; лично соискателем 0,08 п.л.).

7. Рукавицын, П.В. Перспективы применения способа сухого охмеления в пивоварении / П.В. Рукавицын, И.В. Новикова, А.В. Коростелев [и др.] // Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья: сборник научных статей и докладов II Международной научно-практической конференции (заочной). – 2016. – С. 105–109 (0,29 п.л.; лично соискателем 0,1 п.л.).

8. Новикова, И.В. Основные аспекты проектирования напитков на основе зернового сырья / И.В. Новикова, Е.А. Коротких, П.В. Рукавицын, [и др.] // Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья: материалы III Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 771–773 (0,17 п.л.; лично соискателем 0,08 п.л.).

9. Рукавицын, П.В. Условия реализации способа «сухого» охмеления в пивопроизводстве / П.В. Рукавицын, И.В. Новикова, А.В. Коростелев // Актуальные вопросы нутрициологии; биотехнологии и безопасности пищи: Материалы Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием. – 2017. – С. 213–216 (0,23 п.л.; лично соискателем 0,09 п.л.).

10. Рукавицын, П.В. Система менеджмента безопасности продукции для пивоваренного завода / П.В. Рукавицын, И.В. Новикова, А.В. Коростелев // Пища. Экология. Качество: труды XV Международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 522–526 (0,29 п.л.; лично соискателем 0,12 п.л.).

11. Рукавицын, П.В. Исследование компонентного состава сортов хмеля для сухого охмеления / П.В. Рукавицын, И.В. Новикова // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение: сборник научных статей и докладов. 2018. – С. 529–533 (0,29 п.л.; лично соискателем 0,15 п.л.).

12. Рукавицын, П.В. Современные тенденции при формировании вкусо-ароматического профиля пива / П.В. Рукавицын, И.В. Новикова, А.В. Коростелев // Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство: материалы V Международной научно-технической конференции.– 2018. – С. 274–278 (0,29 п.л.; лично соискателем 0,12 п.л.).

13. Рукавицын, П.В. Динамика изменения содержания компонентов хмеля при проведении процесса сухого охмеления / П.В. Рукавицын, И.В. Новикова, О.Ю. Мальцева // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение: сборник научных статей и докладов. – 2019. – С. 527–531 (0,29 п.л.; лично соискателем 0,1 п.л.).

14. Рукавицын, П.В. Оценка эффективности извлечения компонентов хмеля в пиво при сухом охмелении [Электронный ресурс] / П.В. Рукавицын, И.В. Новикова, О.Ю. Мальцева // Инновационные технологии студентов, аспирантов и молодых ученых: сборник тезисов докладов II Всероссийской научно-практической конференции. – 2020. – С. 25–26 (0,12 п.л.; лично соискателем 0,05 п.л.).

Изобретения

15. Патент на полезную модель № 187478 RU МПК кл. 7 C12C 7/24 (2018.08) Установка для сухого охмеления пива / Рукавицын П.В., Новикова И.В., Муравьев А.С., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "ВГУИТ" – № 2018131762; заявл. 05.09.2018; опубл. 06.03.2019. – 7 с.

16. Патент на изобретение № 2670651 RU МПК кл. 7 G01N 33/00 (2006.01) Способ установления идентичности проб гранулированного хмеля по запаху с применением химических сенсоров / Коростелев А.В., Кучменко Т.А., Новикова И.В., Умарханов Р.У., Рукавицын П.В.; заявл. 21.03.2017; опубл. 24.10.2018. – 8 с.

Список сокращений и условных обозначений

c_{Γ} – концентрация гумулинонов; $c_{\text{иак}}$ – концентрация изо- α -кислот; $c_{\alpha\text{к}}$ – концентрация α -кислот; $c_{\text{пф}}$ – общее содержание полифенолов; рН – водородный показатель (показатель кислотности); ρ – объемная плотность; $I_{\text{ах}}$ – интенсивность аромата хмеля; $K_{\text{ах}}$ – качество аромата хмеля; $P_{\text{в}}$ – полнота вкуса; $K_{\text{Г}}$ – качество горечи; $P_{\text{сз}}$ – предпочтение (среднее значение); t – длительность процесса охмеления; T – температура процесса охмеления; c – концентрация хмеля Chinook в комбинации хмелей Saphir и Chinook; $K_{\text{фхп}}$ – критерий оптимизации физико-химических показателей; $K_{\text{со}}$ – критерий оптимизации сенсорной оценки; $K_{\text{оп}}$ – интегральная оценка качества пива; $t_{\text{опт}}$, $T_{\text{опт}}$, $c_{\text{опт}}$ – оптимальные значения технологических параметров; b_{x3} , b_{x2} , b_{x1} – факторные расстояния для групп исследователей неохмеленного и охмеленного суслу.



ИП Богатырев В.И.

Подписано в печать 21.04.2022. Формат 60x84 1/16 Бумага офсетная Ballet.

Гарнитура Times New Roman. Печать цифровая. Усл. печ. л. 1,2

Тираж 100 экз. Заказ № 2022-04-21-002

Текст и иллюстрации предоставлены авторами.

Текст печатается в авторской редакции.

Липецкая обл., Усманский р-н, с. Пригородка, ул. Есенина, 7

<http://www.i-ritm.ru> Тел.: 8(473) 290-24-53