

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

На правах рукописи

**РУКАВИЦЫН ПАВЕЛ ВЛАДИМИРОВИЧ**

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

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

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание учёной степени кандидата технических наук

**НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:**

д.т.н., доцент

**НОВИКОВА И.В.**

**ВОРОНЕЖ – 2022**

## Содержание

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>3</b>
<b>Глава 1 АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО СУХОГО ОХМЕЛЕНИЯ</b> .....	<b>12</b>
1.1 Общая характеристика хмеля как растительного сырья для пивоварения .....	12
1.2 Цели применения сухого охмеления в современном пивоварении .....	27
<b>Глава 2 ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ</b> .....	<b>35</b>
2.1 Организация экспериментальных исследований .....	35
2.2 Характеристика объектов исследований .....	37
2.3 Методы исследований .....	38
<b>Глава 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХМЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ</b> .....	<b>47</b>
3.1 Исследование ароматобразующих компонентов хмеля с применением химических сенсоров .....	47
3.2 Идентификация основных ароматобразующих компонентов хмеля с помощью сенсорных технологий .....	51
<b>Глава 4 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ СУХОГО ОХМЕЛЕНИЯ</b> .....	<b>59</b>
4.1 Влияние основных параметров процесса сухого охмеления на физико-химические показатели пива .....	59
4.2 Переход ароматических соединений хмеля в пиво при реализации сухого охмеления .....	70
4.3 Оптимизация технологических параметров процесса сухого охмеления.....	79
<b>Глава 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХМЕЛЯ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛУПРОДУКТОВ ПИВОВАРЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА</b> .....	<b>91</b>
<b>Глава 6 ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ</b> .....	<b>98</b>
6.1 Реализация пивопроизводства с применением установки для сухого охмеления .....	98
6.2 Расчет технико-экономических показателей предлагаемых технических и технологических решений .....	104
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	<b>105</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	<b>107</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b> .....	<b>122</b>

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность темы исследования.**

В настоящее время неотъемлемой частью современного пивоварения является сухое охмеление, которое распространяется и на традиционные сорта пива – пилзнеры и бельгийские эли. Для распространенных сортов пива сейчас 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 рецептов служат предпосылками для применения сухого охмеления различными предприятиями данного сегмента пищевой промышленности [1, 2].

Существовало мнение, что сухое охмеление является, в основном, способом передачи ароматических компонентов хмеля и не оказывает влияние на характеристики горечи пива, часто количество горьких веществ хмеля, извлекаемых в процессе сухого охмеления, не учитывали при расчете величины горечи. Исследования показали, что альфа-кислоты и другие горькие компоненты хмеля при низких температурах также диффундируют в пиво, но в существенно меньших количествах, чем при кипячении. При большом количестве хмеля, добавляемого на сухое охмеление, дополнительная горечь может оказать заметное негативное влияние на сенсорные характеристики напитка, что важно учитывать при составлении рецептов [3].

По сравнению с традиционным процессом, сухое охмеление способствует экстрагированию значительного количества ароматобразующих компонентов, в частности, эфирных масел, теряемых при традиционном кипячении суслу 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 актуальной научной задачей. Ее решение 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 разделе 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., Пермякова 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 «Технология бродильных и сахаристых производств» по теме «Совершенствование технологических процессов бродильных 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 аппаратного 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 суслу 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,  $\beta$ -кариофиллен, фарнезен,  $\alpha$ -гумулен, линалоол, герианиол) и нелетучих компонентов хмеля (гумулиноны, альфа-кислоты, изоальфа-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.

Полученные закономерности реализуются для проведения образовательного процесса при подготовке бакалавров и магистров по направлениям 19.03.02, 19.04.02 «Продукты питания из растительного сырья» (дисциплины «Технологии отрасли», «Физико-химические основы и общие принципы переработки растительного сырья», «Технологические процессы отрасли», «Современные методы исследования свойств сырья и продуктов бродильных производств», «Научные основы повышения эффективности производства пищевых продуктов из растительного сырья», «Интенсификации технологических процессов бродильных производств»).

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. руб. при производстве 90 000 дал пива в год.

**Методы исследования.** Характеристика объектов исследования представлена в Главе 2. Для проведения экспериментов применяли химические, органолептические методы анализа сырья, полупродуктов и готовой продукции. 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 суслу на частоту встречаемости ядерных aberrаций 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 гг.), 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 «Профималт» (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 г.).

**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 А–Е. 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.

## Условные обозначения

$j = 1 \dots n$  – номер экспериментальной точки;  $n$  – количество экспериментальных точек;  $\alpha(r_j)$  – весовой коэффициент нейрона-эталона  $j$ , зависящий от расстояния  $r_j$  в факторном пространстве ( $t$ ) между исходным значением  $t$  для аппроксимации и  $j$ -м эталонным вариантом;  $n$  – количество вариантов: в проведенных экспериментальных исследованиях получены  $K_j$  для шести значений времени, то есть  $n = 6$ ; индекс «0» в обозначении переменной  $\alpha^0$  означает предварительный ненормированный вариант;  $\sigma$  – характерное расстояние, до которого эталоны считаются ближайшими;  $E$  – эффективность перехода  $\alpha$ -кислот, % отн.;  $a$  – концентрация  $\alpha$ -кислот (мг/дм<sup>3</sup>) для  $b$  – образцов пива,  $c$  – контроля и  $h$  – хмеля;  $t_{\text{opt}}$ ,  $T_{\text{opt}}$ ,  $c_{\text{opt}}$  – оптимальные значения технологических параметров;  $W_{\text{фхп}}$  и  $W_{\text{со}}$  – весовые коэффициенты, которые могут принимать вещественные значения от 0 до 1, и  $W_{\text{фхп}}$  и  $W_{\text{со}} = 1$ ;  $K_{\text{ч}}$  – частный критерий оптимизации ( $K_{\text{фхп}}$  или  $K_{\text{со}}$ );  $i$  – номер показателя;  $N_{\text{р}}$  – количество показателей;  $w_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го показателя;  $P_i$  – показатели, на основе которых рассчитывается частный критерий оптимизации ( $c_{\text{г}}$ ,  $c_{\text{иак}}$ , и т. д.).  $P_{i1}$  и  $P_{i2}$  – минимальное и максимальное значения показателя  $P_i$  в экспериментальном исследовании;  $d_i$  – коэффициент благоприятной тенденции (равен 1, если необходимо добиться максимума показателя и -1, если необходимо добиться минимума показателя);  $K_i(t, T)$  – показатель  $i$  для заданной концентрации  $c$  в комбинации хмелей Saphir и Chinook;  $K_i(t, T, 0)$  и  $K_i(t, T, 1)$  – показатель  $i$  для хмелей Saphir и Chinook.

## ГЛАВА 1 АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО СУХОГО ОХМЕЛЕНИЯ

### 1.1 Общая характеристика хмеля как растительного сырья для пивоварения

Хмель не всегда являлся одним из основных вкусо-ароматических ингредиентов, применяемых в пивоварении: использовали также одуванчик, полынь и вереск [4]. Хмель часто использовался в лечебных целях, а также в качестве консерванта. Он обладает антибактериальными и седативными свойствами и имеет высокую концентрацию фенольных соединений, которые могут действовать как антиоксиданты [2, 3]. Антисептическая активность хмеля зависит от бактериостатического действия его горьких веществ, которые оказывают влияние на рост грамположительных микроорганизмов путем снижения значения рН. Бактериостатический эффект хмеля также влияет на бактерии, вызывающие туберкулез. Помимо своих целебных свойств, хмель вносит важный вклад во вкус и горечь пива.

*Humulus* – род цветковых растений семейства Коноплёвые (*Cannabaceae*) – травянистые двудомные растения, вьющиеся вверх по часовой стрелке, с супротивным листорасположением, межчерешковыми прилистниками [1, 2]. Хмель является основным вкусо-ароматическим ингредиентом, применяемым в пивоварении. Хмель – двудомное растение, женские и мужские цветки у него находятся на разных растениях. Выращиваются исключительно женские растения, поскольку именно они образуют плоды – шишки.

Как правило, горькие сорта хмеля вносят в сусло для получения определенной начальной степени горечи; они обладают очень насыщенным, скорее резким ароматом. Специфические ароматические компоненты хмеля и состав горьких веществ в нем придают пиву широкий спектр оттенков горечи. Ароматические сорта хмеля обычно обладают более низкую степенью горечи, а состав фракций эфирных масел и горьких веществ придает пиву приятный аромат и тонкую горечь.

*Компонентный состав фракций горьких веществ хмеля*

Хмелевые шишки состоят из горьких веществ, эфирных масел, белков, полифенолов, липидов, углеводов [1, 2, 5]. Усредненный химический состав высушенных хмелевых шишек приведен в таблице 1.1 [1, 6, 7]. Зерна лупулина на нижней стороне листочков шишек хмеля содержат важные для пивоварения компоненты – эфирные масла, горькие вещества хмеля и часть полифенольных соединений хмеля.

Таблица 1.1 – Средний химический состав шишек сухого хмеля

Наименование фракции	Содержание (%)
Вода	10–11
Горькие вещества (смолы):	
Мягкие смолы	10–17
Твердые смолы	3–5
Полифенолы (дубильные вещества)	4–5
Эфирные масла	1,0–5,0
Белковые вещества	15–18
Аминокислоты	0,1–0,2
Моносахариды	1–2
Пектины	1–2
Целлюлоза (клетчатка)	22–14
Зола	6–9
Безазотистые экстрактивные вещества	25–27

В зависимости от сорта и условий выращивания общее содержание горечи в хмеле может составлять от 15 до 30 % от содержания сухого вещества хмеля. [4, 11]. На рисунке 1.1 приведены состав и номенклатура горьких веществ, указано условное деление на мягкие и твердые смолы. Содержание твердых смол в целых шишках хмеля невелико (3–5 %) по сравнению с мягкими смолами, в то время как мягкие смолы составляют 10–25 % от общего веса хмеля [4]. Количество мягких и твердых смол, которые можно разделить на фракции, и оно составляет в среднем 90 и 10 % от содержания смолы, соответственно [12, 13]. Эти значения могут варьироваться, поскольку общая горечь зависит от сорта хмеля и хмелевого продукта.

Химические и физические свойства хмелевых горечей различны: экстракт мягкой смолы обычно имеет насыщенный желтый цвет, представляет собой густую, вязкую, очень плотную жидкость, по консистенции сравнимую с медом.

Известно, что мягкие смолы растворимы в гексане, соединения разделяют на  $\alpha$ -кислоты и  $\beta$ -фракции ( $\beta$ -кислоты и прочие мягкие смолы),  $\alpha$ -кислоты могут быть легко выделены, благодаря их способности образовывать нерастворимую соль при взаимодействии с ацетатом свинца (II) в метаноле [7, 8].

Следует выделить  $\alpha$ -горькие кислоты, и, в частности, такие соединения, как гумулон – основной носитель горечи, и когумулон, который негативно влияет на восприятие горечи пива. Уровень когумулона в  $\alpha$ -кислотах определяется сортовыми особенностями хмеля и не должен превышать по данным В. Кунце [3] 25 % от содержания  $\alpha$ -кислот в хмеле [7].

Кроме гумулонов в составе мягких смол в значительных количествах присутствуют когумулон и адгумулон [9, 10] .

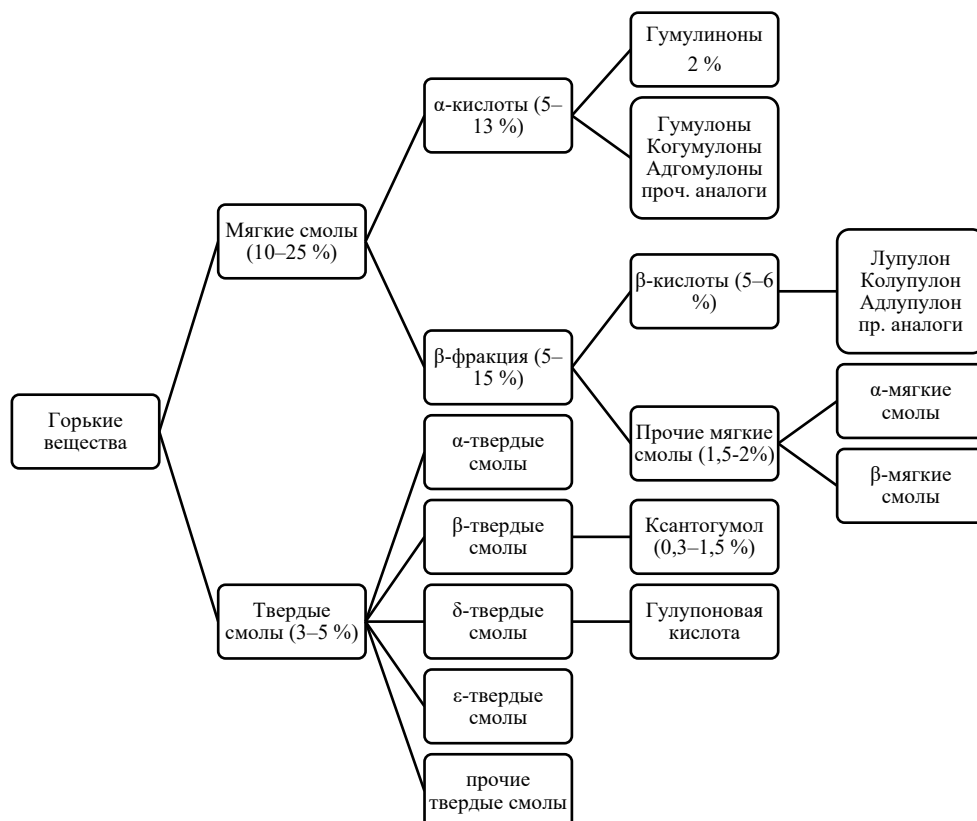


Рисунок 1.1 – Классификация и номенклатура горьких веществ хмеля

Следы двух других  $\alpha$ -кислот – прегумуллона и постгумуллона – также обнаружены в хмеле. Состав  $\alpha$ -кислот сильно различается у разных сортов хмеля. Гумулоны лучше растворяются при повышенном значении рН сусла. Высокое значение рН способствует переходу системы в состояние истинного раствора, тогда как при значении рН 5,2 преобладает коллоидный раствор, обладающий «мягкой» горечью.

Известно, что  $\alpha$ -кислоты являются важнейшими составляющими горьких веществ хмеля. При кипячении с хмелем  $\alpha$ -кислоты экстрагируются в сусло и термически изомеризуются в более водорастворимые формы и обладающие выраженной горечью изо- $\alpha$ -кислоты (рис. 1.2). В готовом пиве остаются только следы не изомеризованных  $\alpha$ -кислот; наиболее выраженные потери  $\alpha$ -кислот происходят при добавлении хмеля в сусловарочный аппарат. Основными компонентами, входящими в состав  $\alpha$ -кислот, являются изогумуллон, изокогумуллон и изоадгумуллон [11].

Хмель содержит около 2 % гумулинонов. Они образуются точно так же, как изогумулоны: путем изомеризации  $\alpha$ -горькой кислоты при одновременном слабом окислении. По сравнению с изогумулонами они менее горьки, однако их горечь более приятная. Гумулинон – это средне-сильная, довольно горькая кислота с температурой кипения 72 °С. Температура кипения когумуллинона составляет 111 °С, а адгумуллинона – 119 °С. Изогумуллиноны образуются при окислении гумулонов с гумулинонами. Предполагается, что изогумуллиноны имеют тот же ряд аналогов, что и  $\alpha$ -аминокислоты [1].

Гумулиноны образуются в значительных количествах при хранении хмеля и, по-видимому, являются причиной появления в нем излишней горечи.

В составе  $\beta$ -фракции мягких смол можно выделить  $\beta$ -кислоты. Большинство  $\beta$ -кислот остаются после извлечения  $\alpha$ -кислот из хмеля ацетатом свинца (II) [12]. Группа  $\beta$ -кислот состоит из лупуллона, колупуллона, адлупуллона, прелупуллона и постлупуллона (рис. 1.3).

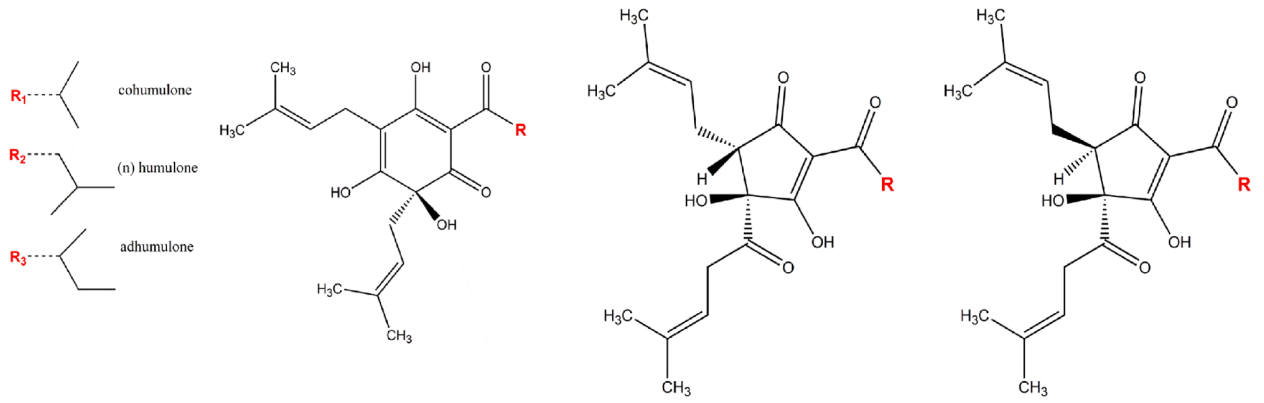


Рисунок 1.2 – Химические структуры  $\alpha$ -кислот хмеля. Термически индуцированная изомеризация происходит во время кипячения сула с целью получения диастереомерных *транс*- и *цис*-изо- $\alpha$ -кислот, которые являются основными горькими кислотами в пиве [13]

$\beta$ -кислоты обладают низкой растворимостью в воде [14, 15], в то время как  $\alpha$ -кислоты подвергаются изомеризации во время кипячения сула,  $\beta$ -кислоты не обладают такой способностью. Свойства сула (в частности, низкое значение pH) не способствуют растворимости  $\beta$ -кислот, в результате чего в пиво переходят только незначительные количества. Haseleu и др. [16] смогли определить, что помимо  $\alpha$ -кислот,  $\beta$ -кислоты являются потенциальными прекурсорами горького вкуса.

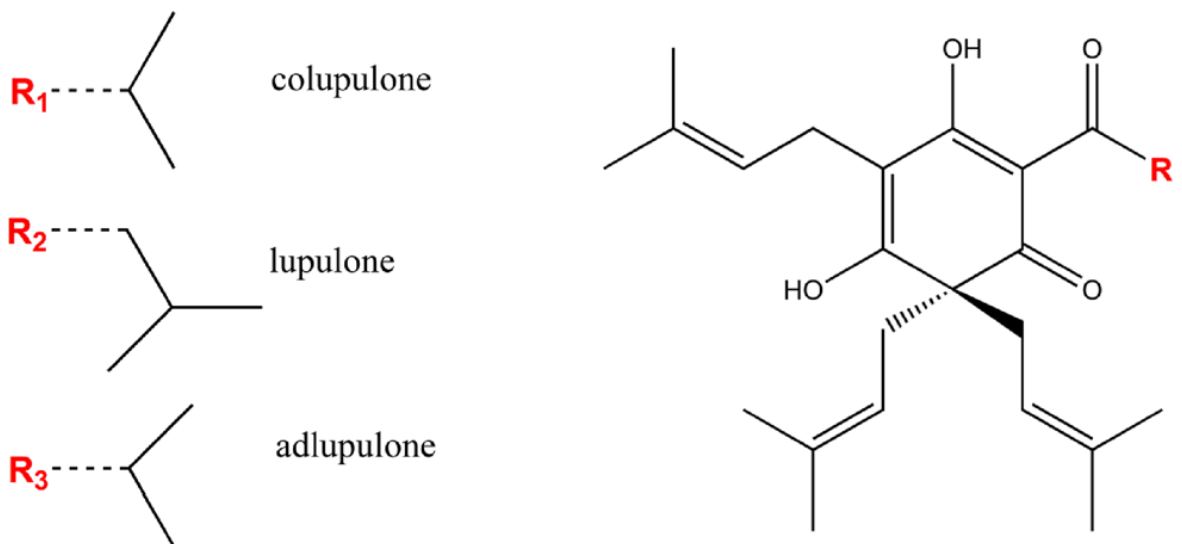


Рисунок 1.3 – Химическое строение  $\beta$ -кислот хмеля



Некоторые представители мягких смол считаются неспецифичными компонентами фракции [17]: представлены смолами, остающимися после осаждения  $\alpha$ -кислот и кристаллизации  $\beta$ -кислот [1].

Твердые смолы являются частью горьких веществ хмеля, растворимой в метаноле и диэтиловом эфире, но нерастворимой в гексане и низкокипящих парафиновых углеводородах [7, 17]. Считают, что твердые смолы возникают в результате окисления мягких смол, однако, данный факт не является окончательно доказанным.

Фракция  $\alpha$ -твердых смол представляет собой группу соединений, способных образовывать нерастворимую соль свинца при обработке раствором ацетата свинца [18]. С помощью ионообменной хроматографии удалось провести дальнейшее фракционирование  $\alpha$ -твердой смолы. Считалось, что некоторые из собранных фракций  $\alpha$ -твердой смолы представляют собой  $\alpha$ -кислоты, которые не полностью осаждались ранее при фракционировании [1].

$\beta$ -твердые смолы – представители основной части фракции твердых смол. В отличие от представителей  $\alpha$ -твердых смол данная фракция не образует нерастворимое соединение при взаимодействии с ацетатом свинца [1]. Ксантогумол составляет основную часть фракции, является наиболее распространенным соединением, присутствующим в лупулине хмеля [6, 19].

Ксантогумол является единственной известной метилированной хмелевой смолой природного происхождения [20]. В последнее десятилетие, в связи с изучением спектра полезных для здоровья соединений, ксантогумол был целью многочисленных исследований [21, 22]. Несмотря на то, что ксантогумол является основным компонентом фракции твердых смол хмеля, в пиве он обнаружен только в виде следовых количеств, так как при кипячении суслу с хмелем происходит его термическая изомеризация с превращением в изоксантогумол (рис. 1.4). Попытки увеличить количество ксантогумола в пиве предпринимаются несколькими учеными. Для этого были проведены испытания с использованием экстрактов, обогащенных ксантогумолом [22, 23].

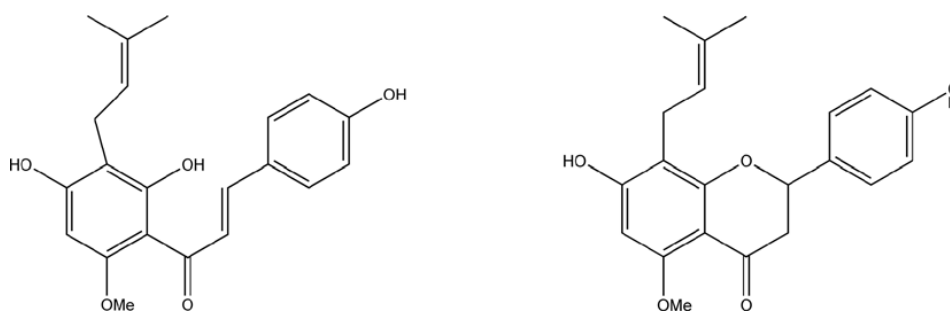


Рисунок 1.4 – Химические структуры ксантогумола (халькона) и изоксантогумола (флавоны). В процессе пивоварения происходит термическая изомеризация хальконов в флавоны, ксантогумол преобразуется в изоксантогумол

Уолкер и др. обнаружили водорастворимую часть фракции твёрдых смол –  $\delta$ -смолы, водный раствор  $\delta$ -смол был охарактеризован как интенсивно горький, но с приятным вкусом [24]. В исследовании были собраны данные, свидетельствующие о том, что  $\delta$ -смолы образуются при окислении нерастворимого в воде компонента, причем данные хроматографических исследований  $\delta$ -смол указывают на неоднородность присутствующих компонентов. Образование  $\delta$ -смол при хранении варьируется в зависимости от сорта хмеля. В настоящее время проведено разделение  $\delta$ -смол на 11 полярных и неполярных фракций. Отмечали, что содержание  $\delta$ -смол в хмелевых шишках при сушке значительно снижается [24].

Промежуточными продуктами превращения  $\beta$ -кислот являются гулупоны, дальнейшее окисление которых приводит к образованию горькой гулупоновой кислоты, характеризующейся низкой степенью горечи (рис. 1.5) [25, 26]. Было установлено, что количество гулупоновой кислоты увеличивается с возрастом хмеля [1, 6]. Растворимость гулупоновой кислоты в воде составляет около 1 г/дм<sup>3</sup> при pH 4,0 и увеличивается до 2 г/ дм<sup>3</sup> при pH 5,0 [7], в связи с этим в отфильтрованном пиве находится незначительное количество гулупоновой кислоты. Несмотря на то, что гулупоновая кислота является предельным продуктом окисления  $\beta$ -кислот и то, что это соединение было выделено из фракции  $\alpha$ -твердых смол, благодаря растворимости в воде гулупоновая кислота отнесена к компоненту  $\delta$ -смол [6].

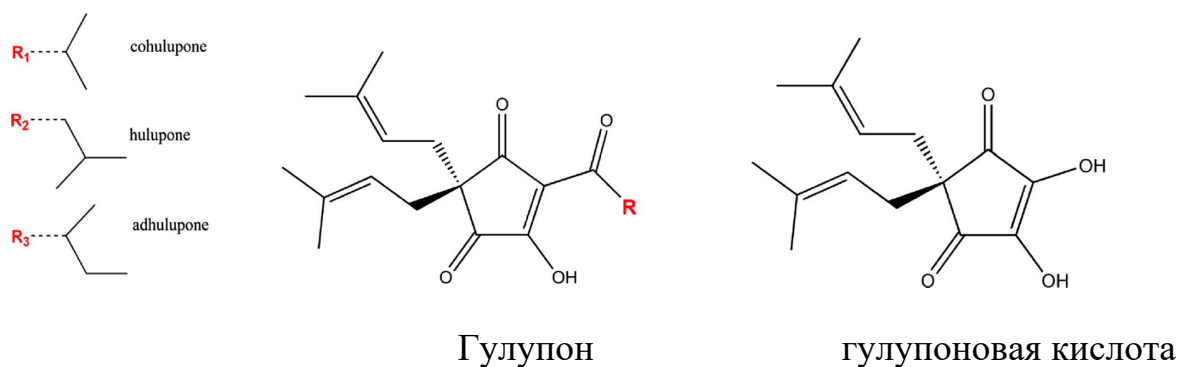


Рисунок 1.5 – Химическая структура гулупона и гулупоновой кислоты. Окисление гулупонов дает гулупоновую кислоту

Была обнаружена часть фракции твердых смол, которая не растворима в воде, но имеет горечь – ε-смолы, содержание в составе фракции у некоторых сортов хмеля – до 80 % [24, 27–29], как и для большинства компонентов хмеля, количество представителей фракции зависит от сорта [1].

#### *Компонентный состав фракций эфирных масел хмеля*

Фракция эфирных масел хмеля (0,5–3,0 % от СВ хмеля, общее количество соединений, идентифицированных в хмеле, около 440) отвечает за характерный хмелевой аромат, большая часть которого (около 95 %) теряется при кипячении суслу, что также является показанием к сухому охмелению [6].

Эти летучие ароматические вещества в свежем хмеле на 65–75 % состоят из терпеновых углеводородов, остальное – окисленные производные, такие как эфиры, карбонильные соединения и спирты. Различают монотерпены, такие как мирцен, и сесквитерпены, такие как гумулен, кариофиллен – и фарнезен, которые придают пиву приятный аромат и вкус. Мирцен по сравнению с сесквитерпенами более летуч и легче окисляется. Он придает пиву резкий острый оттенок в аромате и наряду с другими летучими соединениями, прежде всего окисленными, несет ответственность за недостаточную стабильность вкуса некоторых сортов пива [6].

На компонентный состав фракции оказывают влияние условия культивирования хмеля, в частности, район выращивания. В пределах одного и того же сорта хмеля могут наблюдаться ежегодные колебания в составе фракции [30, 31].

Углеводороды эфирных масел хмеля можно разделить на три группы: алифатические углеводороды, монотерпены и сесквитерпены [32]. Углеводородная группа состоит из низкокипящих компонентов, которые легко окисляются и полимеризуются [33, 34]. Из углеводородной фракции наиболее важным монотерпеном является мирцен ( $\beta$ -мирцен) (рис. 1.6), на его долю может приходиться 30–60 % от общего количества компонентов [6, 35]. Другими монотерпенами, присутствующими в хмелевом масле в значительно меньших количествах, являются, в частности,  $\beta$ -пинен, лимонен и др. [6].

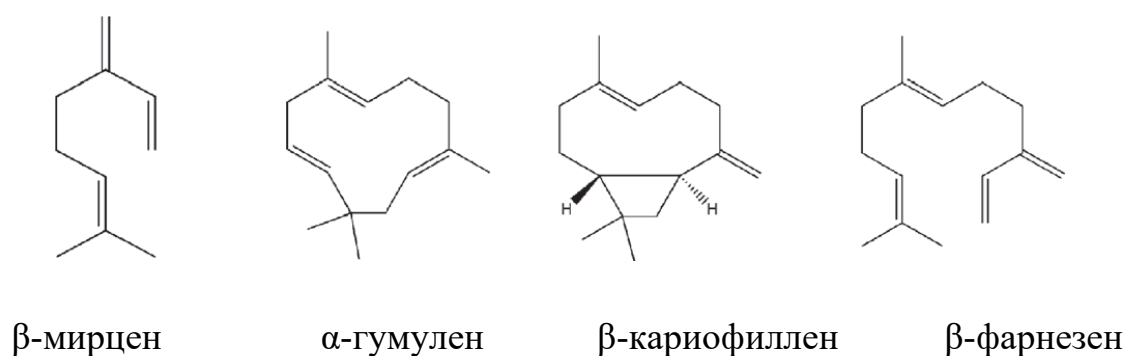


Рисунок 1.6 – Химическое строение некоторых терпенов, присутствующих в эфирном масле хмеля

В углеводородной фракции основными компонентами сесквитерпеновой группы являются  $\alpha$ -гумулен,  $\beta$ -кариофиллен и  $\beta$ -фарнезен, они имеют более высокую температуру кипения, чем монотерпены.  $\beta$ -мирцен, а также  $\alpha$ -гумулен и  $\beta$ -кариофиллен составляют 80–90 % от общего количества эфирных масел в хмеле [36, 37] (рис. 1.6) [6].

Было показано, что общее содержание фракции эфирных масел устойчиво возрастает в процессе созревания хмеля, причем формирование компонентов происходит на более позднем этапе, чем образование горьких веществ [32, 38].

Установили, что содержание  $\beta$ -мирцена прямо пропорционально доле когумуллона и колупуллона [39]. Хмель с высоким содержанием когумуллона имеет высокое содержание  $\beta$ -мирцена; напротив, хмель с высоким содержанием гумуллона имеет высокое содержание  $\alpha$ -гумулена [40, 41].

Было доказано, что температура при сборе урожая может значительно повлиять на ароматические свойства хмеля [42].

*Кислородсодержащая* фракция представляет собой сложную смесь спиртов, альдегидов, кислот, кетонов и эфиров: большинство компонентов присутствуют в количестве, которое соответствует более низким значениям пороговых концентраций аромата. Представителей кислородсодержащих соединений условно разделяют на две основные фракции: «летучие» и «нелетучие». Первая фракция состоит из сложной смеси соединений с температурой кипения ниже, чем у  $\alpha$ -гумулена. Анализ компонентов нелетучей фракции более сложен, однако эти более высококипящие вещества представляют интерес для пивовара, так как они остаются в сусле после кипячения и, в конечном итоге, в готовом пиве [6, 43].

Отметили, что при хранении хмеля увеличивается количество кислородсодержащих компонентов, окисление приводит к образованию нелетучих окисленных соединений, в результате чего уменьшается содержание  $\beta$ -мирцена, который также вступает в реакции окисления и образует более 40 соединений [6].

Во фракции эфирного масла хмеля спирты можно разделить на три группы: терпеновые спирты, сесквитерпеновые спирты и алифатические/ароматические спирты [44, 45]. Основными составляющими спиртами являются 2-метилбутанол и линалоол [6]. Наиболее распространенным терпеновым спиртом является линалоол, который считается своеобразным «маркером» аромата [6]. Вклад линалоола в хмелевой аромат зависит от обработки хмеля. Линалоол вносит большой вклад в хмелевой аромат в пиве с поздним добавлением хмеля, но не так сильно при сухой обработке хмеля [20, 46, 47].

В составе эфирных масел хмеля содержится альдегиды, в частности, как 1-гексанал и (*Z*) – 3-гексенал отвечают за травянистые ноты в пиве [38, 48]. Жирные кислоты хмеля, такие как 2-метилбутиловая кислота, связаны с сырным ароматом [49]. Соединение, известное как метилнонилкетон, придает цветочные ноты [15, 50].

*Сесквитерпеноиды*, в частности, эпоксид гумулена II, ассоциируются с пряным или травяным характером хмеля [51], некоторые из них ассоциированы с продуктами окисления  $\alpha$ -гумулена или  $\beta$ -кариофиллена и с пряно-ароматической фракцией.

*Фракция эфиров* представляет собой сложную смесь с широким диапазоном температур кипения [20, 52]. Эфиры являются наиболее важными из всех компонентов хмелевого масла, благодаря их вкладу в аромат хмеля и его вкус [38]. Сорты хмеля с высоким содержанием  $\beta$ -мирцена отличаются высоким содержанием эфиров [53]. Многие эфиры, такие как 2-метилпропилизобутират, известны своими фруктовыми и цветочными нотами [49].

Фракция эфирных масел хмеля содержит небольшое количество *соединений серы*, которые оказывают влияние на общий аромат пива [54–56]. Летучие серосодержащие вещества имеют очень низкие пороговые значения чувствительности [12]. В целом, эти компоненты придают пиву нежелательные оттенки в аромате: серный, вареных овощей, плесени, капусты [57, 58].

#### *Компонентный состав полифенольных соединений хмеля*

В полифенольной фракции хмеля обнаружено более 100 соединений, которые делятся на флавонолы (например, кверцетин), флавонолы-3-олы (например, катехин), фенольные карбоновые кислоты (феруловая кислота) и другие полифенольные соединения (например, пренилфлавоноиды и мультифенольные глюкозиды) (рис. 1.7) [59].

В целом, ароматический хмель содержит больше низкомолекулярных полифенолов, чем горький хмель [60, 61]. Причина этого заключается в том, что увеличение содержания  $\alpha$ -кислот отмечают только за счет уменьшения содержания полифенолов. Большинство полифенолов в пивном сусле поступает из солода, однако, около 20–30 % полифенолов, содержащихся в сусле, экстрагируется из хмеля [6, 7]. Важная роль полифенолов хмеля в процессе пивоварения обусловлена не только их вкладом в вкус и аромат, но и их ролью в образовании помутнений (при образовании белково-полифенольных комплексов), что ограничивает срок хранения пива [1, 7].

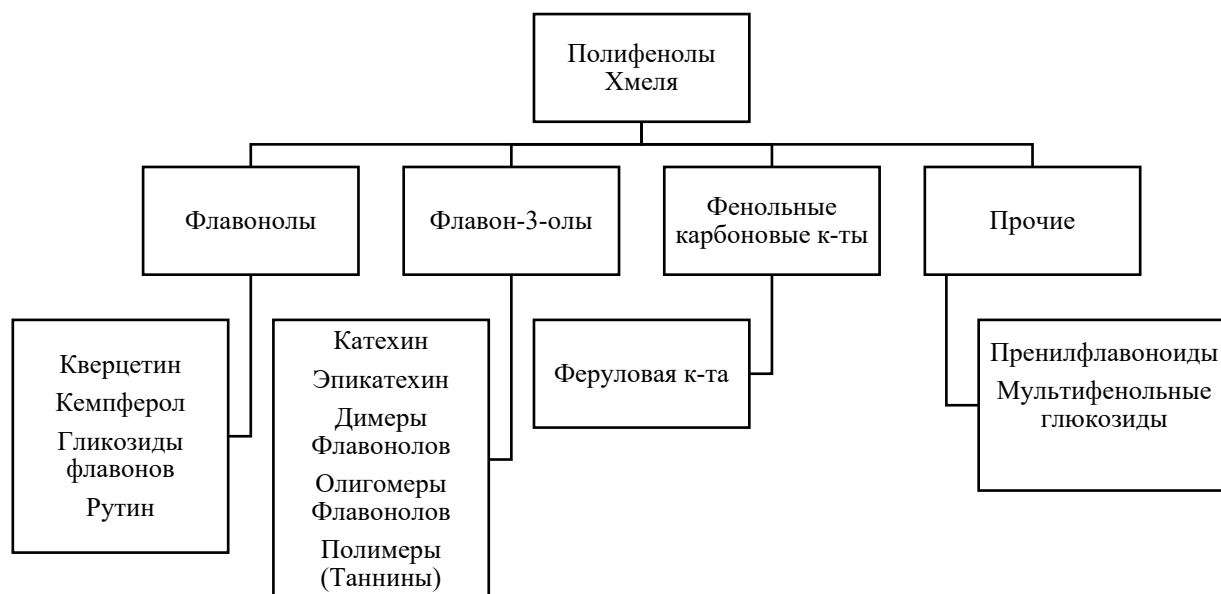


Рисунок 1.7 – Полифенольные фракции хмеля [62]

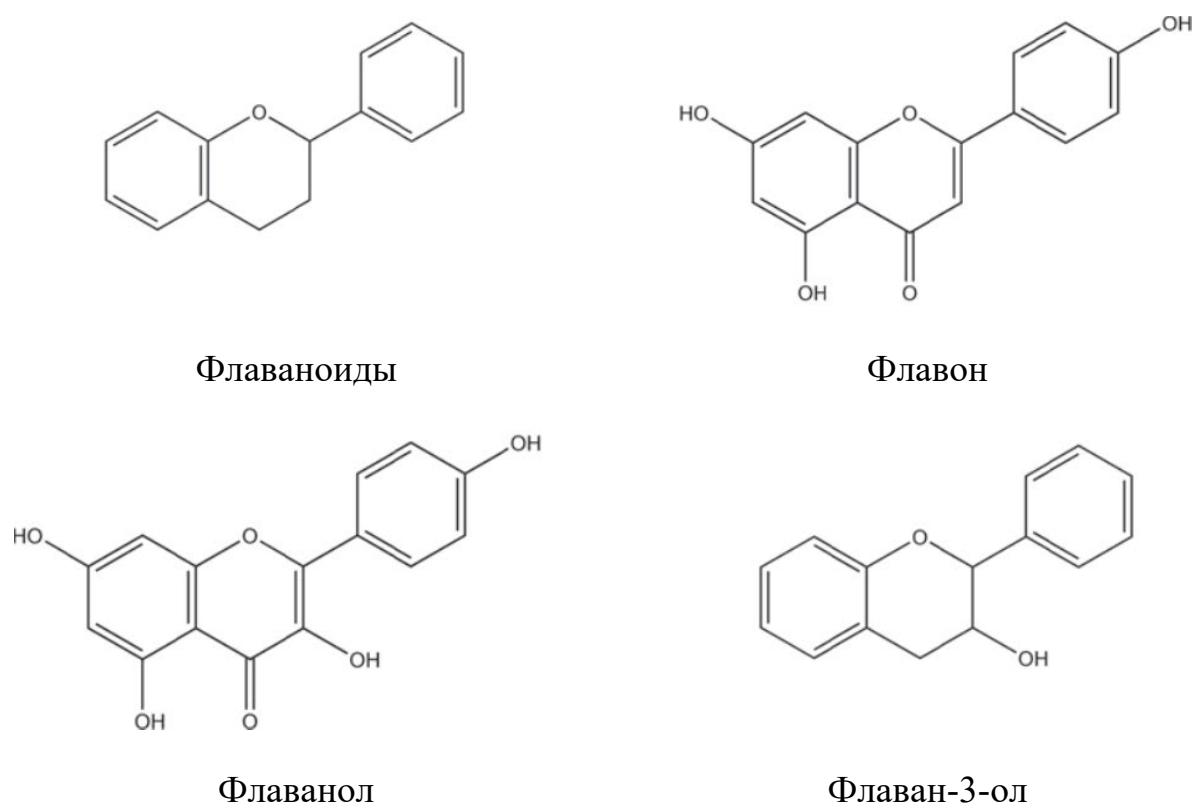


Рисунок 1.8 – Химическое строение полифенолов хмеля. Флаваноиды, из которой образуются все остальные структуры. Флавонолы и флаван-3-ол представляют собой представителей флавоноидов, формируемых из флавана

Примерно 20 % всех полифенолов хмеля от общего количества состоят из низкомолекулярных веществ или мономерных веществ, таких как фенольные карбоновые кислоты, а также флавоноиды и их гликозиды (табл. 1.2). Флавоноиды состоят в основном из катехинов и их полимеров, проантоцианидинов, кверцетина и кемпферола (рис. 1.9) [61].

Кверцетин и кемпферол встречаются в хмеле в гликозидно-связанных формах [63, 64]. Из известных флавонолов кверцетин обладает наибольшим антиоксидантным потенциалом [65]. Такие гликозиды, как кемпферол, находятся в ароматических сортах хмеля [66]. Сегодня полифенолами, отвечающими за дифференциацию сортов хмеля, являются кверцетин и гликозиды кемпферола; другие фенольные компоненты менее специфичны для сортов.

Таблица 1.2 – Состав полифенолов и их концентрации в хмеле [67]

Вещества и группы веществ	Сумма (%)
<i>Фенольные карбоновые к-ты:</i>	
производные бензойной кислоты	< 0.01
<i>Флавоноиды:</i>	
ксантогумол	0.20–1.70
8-пренилнارينгенин	< 0.01
кверцетин	0.05–0.23
кемпферон	0.02–0.24
катехины и эпикатехины	0.03–0.30
олигомерные проантоцианидины	0.20–1.30
производные ацилфлороглюцинола (мультифидолы)	0.05–0.50
<i>Высокомолекулярные вещества:</i>	
катехин и танины	2.00–7.00

Молекулы, состоящие из восьми мономерных единиц, называются проантоцианидинами, дубильные вещества (полимеры) состоят из большего числа мономеров [3]. Проантоцианидины (рис. 1.10) являются олигомерами и полимерами флавана-3-ола, которые образуют антоцианидины: наиболее активные вещества полифенольной фракции [68].



Проантоцианидины хмеля имеют особое значение в технологии пивоварения, так как они способствуют образованию помутнений [69]. Проантоцианидины или танины – группа водорастворимых полифенольных соединений, которые медленно реагируют с присутствующими в пиве белками, образуя помутнения и нерастворимые осадки [1, 17].

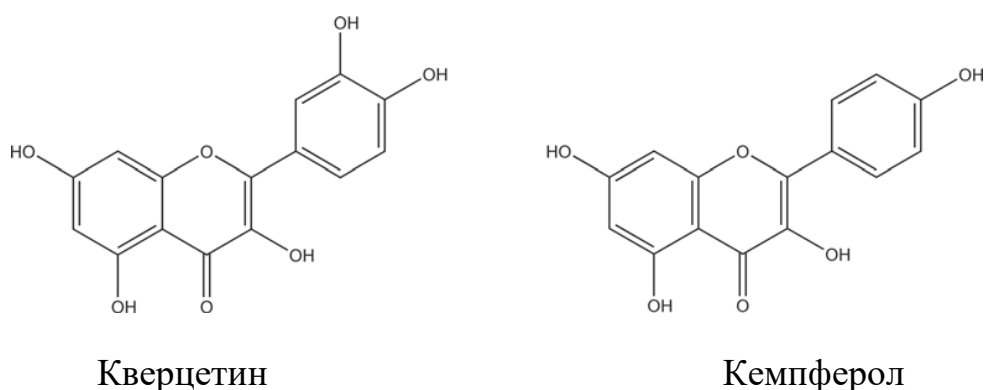


Рисунок 1.9 – Химическое строение кверцетина и кемпферола; кверцетин имеет дополнительную гидроксильную группу

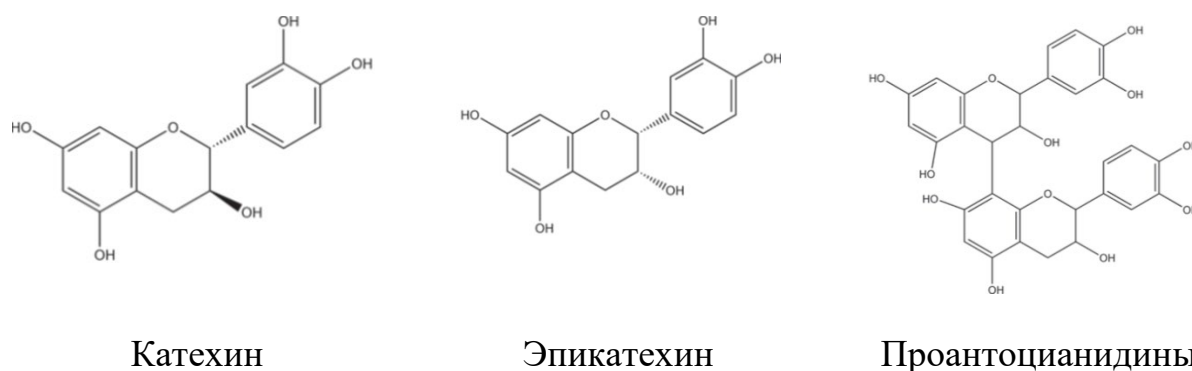


Рисунок 1.10 – Химическое строение катехина и эпикатехина. Это водорастворимые флаван-3-олы и мономеры для высокомолекулярных проантоцианидинов

#### *Роль компонентов хмеля в пивоварении и современные методы анализа*

В мире существует более 80 различных коммерческих сортов хмеля. Химические и сенсорные исследования хмеля показывают основные различия между ними. Aberl и Coelhan провели исследование с помощью газовой хроматографии и обнаружили некоторые существенные различия между европейскими сортами хмеля [70].

Основным источником хмелевого аромата и горечи являются эфирные масла и горькие вещества, содержащиеся в лупулине шишек хмеля [71, 72]. Эффективность извлечения компонентов зависит от химической и механической деструкции лупулиновых желез. Сегодня хмель используется в виде гранул для ускорения экстракции аромата и вкуса [73].

Горький вкус пива, в основном, формируется изомеризованными формами  $\alpha$ -кислот (АК) [74, 75]. Процесс изомеризации происходит во время кипячения суслу с хмелем с образованием изо- $\alpha$ -кислот (ИАК): цис- и транс-изогумулонов, изокогумулонов и изоадгумулонов [76]. Обычно в сусле, в которое добавляют хмелевые гранулы или целые шишки, соотношение цис-транс-изомеров составляет примерно 70:30 [77, 78]. Цис-изомеры термодинамически более стабильны и разрушаются гораздо медленнее, чем транс-изомеры, и обладают большей горечью [79]. Это явление делает соотношение транс- и цис-изомеров показателем стабильности вкуса пива [78]. Что касается роли  $\beta$ -кислот (БК) в хмеле, то они в определенной степени способствуют ощутимой горечи. Сенсорные и химические анализы показали, что продукты окисления БК имеют относительно низкие пороги распознавания вкуса [16]. Окисление БК также может происходить во время кипячения суслу и способствовать образованию горечи [80]. Помимо горьких кислот, горечь придают также полифенолы хмеля [16].

Полифенолы также отвечают за вкус и аромат пива [81]. Установлено, что в процессе сухого охмеления около 80–90 % полифенолов извлекается в течение первых 12 часов [73]. Поскольку в настоящее время растет спрос на пиво с более сильным хмелевым ароматом, пивовары часто используют процесс сухого охмеления, чтобы извлечь из хмеля и хмелепродуктов больше полифенолов, чем при других методах охмеления (до 50 % от общего содержания полифенолов в готовом пиве) [67]. Полифенолы, извлекаемые в процессе сухого хмелеводства, представляют собой сложную матрицу гидроксibenзойной кислоты, гидроксикоричных кислот, флавоноидов и проантоцианидинов [63].

Было установлено, что фенолы и флаванолы-3, в частности, – усиливают восприятие горечи и кислотности. [64]. Флаванолы-3 – широко изучались в литературе на предмет их влияния на пиво. – Мономеры и олигомеры флаванола-3 – играют роль в формировании стабильности вкуса, коллоидной стабильности и пены [82] обладают антиоксидантными свойствами [83].

Десятки полифенольных соединений в пиве были идентифицированы и количественно определены с помощью современных аналитических методов [84]. Наиболее полный перечень полифенолов в пиве, включая различные методики, был представлен в работе Callemein и Collin [67]. Наиболее объективным количественным методом химического анализа полифенольных компонентов в хмеле, ячмене и пиве является высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) [85]. Другим методом количественного определения полифенолов является масс-спектрометрия после хроматографического разделения [84].

## **1.2 Цели применения сухого охмеления в современном пивоварении**

Традиционный способ внесения хмеля происходит на стадии кипячения сусла с хмелем и может рассматриваться как процесс экстрагирования целевых компонентов горячим суслом. Обычно в начале кипячения вносят расчетное количество горьких кислот, сорта, добавленные в середине или конце кипячения, обычно являются горько-ароматическими для добавления горечи при изомеризации  $\alpha$ -кислот (АК), но в основном – для формирования вкуса и аромата. Хмель также вносят сразу после кипячения в гидроциклонный аппарат для придания дополнительного хмелевого аромата [86].

Перенос компонентов аромата и вкуса из горького хмеля в сусло в процессе кипячения отличается от переноса соединений в процессе сухого охмеления [115]. В процессе сухого охмеления не происходит реакции изомеризации, и увеличение горечи незначительно, за счет переноса полифенольных соединений и некоторого количества АК [86, 101].

Формирование горечи не является основной целью сухого охмеления, этот процесс осуществляется в основном для усиления выраженного хмелевого аромата пива. Процесс сухого охмеления протекает при относительно низких температурах, что значительно снижает интенсивность термического разложения и испарения ароматических соединений. Это приводит к более высокой концентрации целевых компонентов в конечном продукте.

Сегодня технология сухого охмеления находит все большее применение в пивной промышленности, причем добавление хмеля и хмелепродуктов часто осуществляется на этапе созревания или хранения, чтобы способствовать переходу ценных компонентов хмеля в продукт с наименьшими потерями. Процесс сухого охмеления исключает удаление летучих ароматических компонентов из эфирных масел хмеля и снижает влияние трансформации соединений во время кипячения и превращений с участием ферментных систем дрожжевых клеток [33, 87, 88].

Современные технологии и оборудование для осуществления процесса сухого хмелеводства были рассмотрены во многих статьях и работах [21, 63, 118, 119]. Перенос ароматических соединений хмеля в пиво и сохранение стабильности аромата также являются предметом дискуссий [53, 120, 121]. Например, стабильность аромата в процессе сухого охмеления часто отличается от стабильности аромата при варке, несмотря на использование одного и того же сорта хмеля [122–124].

Способ «сухое охмеление» представляет собой достаточно простой технологический прием для улучшения органолептических характеристик (вкуса и аромата) пива. Для реализации способа в пиво во время брожения или созревания вносят 0,5 до 5 г/дм<sup>3</sup> хмеля в виде шишек или гранул [89, 87, 90]. При этом задачу хмеля в пиво можно реализовать практически без перемешивания (статическое сухое охмеление), или применяя рециркуляцию насосом либо с помощью диоксида углерода (динамическое сухое охмеление). Существует возможность внесения в пиво экстрактов эфирных масел хмеля для создания специфичных вкусо-ароматических свойств, в том числе имитирующих ароматы сухого охмеления в пиве [4].

Для получения пива с необходимыми оттенками аромата часто приходится учитывать множество факторов при реализации сухого охмеления: сорт хмеля, дату сбора урожая, удельный расход хмеля, содержание эфирных масел в выбранном образце хмеля, температуру реализации процесса сухого охмеления, способ охмеления (динамический или статический) [87, 91–93]. Следует обращать внимание на содержание этанола в пиве для того, чтобы предотвратить извлечение нежелательных компонентов из хмеля в готовый продукт из-за высокой экстрагирующей способности этанола [9]. Продолжительность процесса сухого охмеления является одним из решающих факторов для контроля соотношения групп компонентов, извлеченных из хмеля в пиво. Сухое охмеление в течение длительного времени может привести к обратному процессу сорбции из пива гидрофобных ароматических соединений хмелевой дробинкой. Так, динамика снижения концентрации основных ароматических соединений, таких как линалоол, была отмечена после реализации длительного сухого охмеления в работе [94]. Высокое содержание этанола и продолжительный контакт пива с хмелем могут привести к извлечению из хмеля нежелательных соединений, которые часто способствуют появлению травянистых оттенков во вкусе пива.

Считается, что увеличение интенсивности аромата при сухом охмелении связано с повышенным содержанием летучих соединений: терпенов, углеводов и их производных, таких как линалоол, мирцен, гумулен,  $\beta$ -кариофиллен,  $\beta$ -цитронеллол [12, 95, 96]. Соединения достаточно лабильны, в нативном виде редко присутствуют в пиве, так как легко разрушаются во время кипячения или сбразивания суслу [3]. Наличие дрожжей при реализации сухого охмеления также может усложнить процесс. Некоторые исследователи отмечали биотрансформацию определенных летучих соединений хмеля во время и после ферментации или созревания пива, например, превращение гераниола в  $\beta$ -цитронеллол [12].

Важно отметить необходимость полного удаления дрожжей из пива перед началом сухого охмеления, однако наличие некоторого количества дрожжевых клеток в пиве в процессе сухого охмеления может дать определенные преимущества – дрожжи способны поглощать растворенный кислород во время сухого охмеления, использовать кислород для метаболизма клеток, тем самым предотвращая процесс окисления пива [97].

Сухое охмеление также оказывает влияние на восприятие хмелевой горечи в готовом пиве. Большое количество исследований указывают на увеличение как измеренной количественно величины горечи (IBU), так и воспринимаемой рецепторами горечи в пиве после сухого охмеления [98, 99], что объясняют присутствием окисленных форм  $\alpha$ -кислот (гумулинонов), которые находятся в пиве после реализации процесса сухого охмеления. Гумулиноны легко растворяются в пиве, их интенсивность горечи составляет 66 % по отношению к изо- $\alpha$ -кислотам [27].

Летучие ароматические соединения хмеля могут усиливать восприятие интенсивности горечи и изменять качество горечи, особенно при низких значениях IBU [100]. Извлечение полифенольных соединений хмеля во время сухого охмеления является еще одним фактором, способствующим повышению восприятия горечи; эти соединения вносят во вкусовой профиль пива как горечь, так и терпкость в зависимости от их молекулярной массы [95, 94].

На сегодняшний день большинство имеющихся исследований по реализации процесса сухого охмеления рассматривают летучие ароматические соединения хмеля и динамику их перехода в пиво.

#### *Возможные варианты для реализации способов сухого охмеления*

В основном, термин «сухое охмеление» используется для описания технологических аспектов добавления хмеля или хмелепродуктов на «холодной» стадии процесса пивоварения. Он основан на технике, которую в прошлом использовали британские пивовары для производства выдержанных в бочках элей.

В настоящее время практика сухого охмеления реализуется для производства американских стилей пива (IPA, APA, Imperial Stout), бельгийских (эли и трипели), традиционных британских стилях (IPA, Extra Special Bitter), а также других стилей пива с развитой ароматической составляющей [87, 101].

Многие ароматические соединения хмеля испаряются при кипячении сусла [6]. С другой стороны, если хмель добавляется во время «холодной» фазы пивоварения (фазы брожения или созревания), соединения легче диспергируются в объеме аппарата и сохраняются в пиве в неизменном виде, особенно в присутствии этанола [131]. К ним относятся мирцен, гумулен и  $\beta$ -кариофиллен, которые характеризуются «травянистым» ароматом; линалоол и гераниол, которые придают более цветочные и фруктовые ноты; терпинеол и пинен, которые придают смолистый характер; а также некоторые АК, полифенолы и другие соединения. Многие из этих компонентов остаются в нефильтованном пиве, но некоторые удаляются при фильтрации [138].

Тип аромата и вкуса, придаваемого пиву, в значительной степени зависит от используемых горьких и ароматических сортов, которые традиционно имеют более низкие показатели  $\alpha$ -кислот, чем горькие сорта. Расход хмеля при сухом охмелении зависит от стиля пива, например, в случае индийского бледного эля (IPA) норма хмеля может составлять от 50 до 500 г/гЛ [139]. Высокая дозировка хмеля может привести к чрезмерно резкому аромату и вкусу, а также к высокой степени воздействия биологически активных соединений хмеля.

Методы сухого охмеления могут значительно варьироваться, и эксперименты с различными методами обработки позволяют развить индивидуальные нюансы и интенсивность хмелевого аромата в готовом пиве. К факторам, влияющим на аромат при сухом хмелении, относятся [44, 118, 124, 138, 140] год сбора урожая; размер зерен хмеля; дозировка и техника внесения хмеля; температура – в зависимости от стадии внесения хмеля (брожение, дображивание, созревание/длительное созревание); количество дрожжевых клеток и штамм дрожжей; продолжительность контакта хмеля с пивом; удержание летучих компонентов хмеля молекулами углекислого газа

Влияние дрожжей на интенсивность аромата, характер, качество и урожайность может быть значительным. С одной стороны, присутствие дрожжевых клеток в пиве во время добавления хмеля способствует высвобождению гликозидно связанных ароматических соединений из растворимых гликозидов хмеля [133]. С другой стороны, дрожжи способствуют адсорбции ароматических соединений хмеля на своей поверхности во время созревания [14].

Наиболее распространенным методом сухого охмеления является добавление хмеля непосредственно в аппарат с готовым пивом, этот метод традиционно используется пивоваренными заводами на протяжении многих лет [141]. Были разработаны специальные технологии и оборудование для внесения хмеля таким способом [65, 116, 119, 132, 142].

Сухое охмеление с помощью шишек хмеля – это традиционный метод сухого охмеления. Основной проблемой для пивовара является удаление остатков хмеля в ферментере или форфасе. Хмель заранее складывают в льняные мешки, сетки или проволочные клетки, помещают в заполненный пивом аппарат и выдерживают.

Сухое охмеление хмелевой суспензией (хмелевым экстрактом) осуществляется с помощью измельченных гранул хмеля или шишек хмеля, смешанных с деаэрированной подготовленной водой в отдельной емкости, а затем дозированно вносимых в основной объем пива. Гранулы хмеля добавляются в ферментатор или бак предварительного охмеления до или во время перекачки холодного суслу или молодого пива. Частицы хмеля обычно удаляются вместе с дрожжами или осадком на дне танка перед тем, как пиво переводят на созревание. Повторное использование дрожжей, извлеченных из ферментера, в который был добавлен хмель, обычно невозможно из-за осадка хмеля и ароматических соединений хмеля, адсорбированных на поверхности дрожжевых клеток. Это обстоятельство ограничивает использование хмелевого осадка в некоторых пивоварнях.



Перенос пива с хмелем в отдельный бродильный танк позволяет избежать проблем с загрязнением дрожжей и часто увеличивает время контакта с хмелем при сравнительно высокой температуре брожения, что позволяет лучше развить аромат. В зависимости от размера и формы резервуара для созревания, можно смешивать хмель с молодым пивом с помощью углекислого газа.

Некоторые пивоварни внедряют специально разработанное оборудование для извлечения и удержания хмеля для сухого охмеления, чтобы повысить эффективность и воспроизводимость процесса. «Hop torpedo», «Hop gun» или «Hop bomb» – это методы, при которых молодое пиво рециркулирует из танка созревания через аппарат, заполненную шишками или гранулами хмеля, процесс извлечения компонентов хмелевого слоя происходит динамически, хмель остается в аппарате [87, 102–104].

### *Заключение к главе 1*

Проведен анализ научных работ в области исследования компонентного состава хмеля, разработки режимов и способов сухого охмеления, оценки влияния соединений хмеля на качество пива, который показал, что проблемы совершенствования методик оценки качества хмеля, разработки технологии сухого охмеления отражены в трудах российских и иностранных ученых. При этом рассмотрен химизм процессов охмеления в технологии пивоварения, основные факторы, влияющие на эффективность оценки сортов хмеля, применяющихся для сухого охмеления, приведен перечень способов статического и динамического сухого охмеления, отмечены достоинства и недостатки.

Актуальным и перспективным направлением исследований является научное обоснование, выявление закономерностей процессов при разработке технологии динамического сухого охмеления.

В результате анализа литературных данных выбраны объекты научного исследования – сорта хмеля, параметры процесса динамического сухого охмеления, позволяющие обеспечить необходимые физико-химические и органолептические показатели пивоваренной продукции с подбором хмелевых композиций, изучением эффективности экстрагирования целевых компонентов в пиво, оптимизацией режимов охмеления.

Предметом научного исследования будут являться закономерности, выявленные при исследовании сортов хмеля с помощью систем с искусственным интеллектом, научное обоснование этапов технологии пива с применением сухого охмеления, изучение особенностей производства, изучение воздействия хмеля на организм человека с помощью микроядерного теста в буккальном эпителии, формирование ассортимента пивоваренной продукции.

Для совершенствования аппаратного оформления процесса сухого охмеления следует обосновать динамический способ с разработкой проектов технической документации, апробацией технологии в опытно-производственных условиях, расчетом экономической эффективности новых технических и технологических решений.

## ГЛАВА 2 ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Организация экспериментальных исследований

Эксперименты по изучению характеристик и свойств объектов исследования: сырья, полупродуктов и готовой продукции; обработку результатов проводили в лабораториях кафедры технологии бродильных и сахаристых производств, ФГБОУ ВО «ВГУИТ», в лабораториях ЦКП «Испытательный центр» ФГБОУ ВО «ВГУИТ»; в лаборатории «Молекулярной генетики и точной 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 Hopstainer.

При проведении этапов диссертационного исследования последовательно выполняли поставленные задачи с изучением взаимосвязи объектов исследований. Схема экспериментальных исследований приведена на рис. 2.1.

Первый этап проводили для формулирования цели и задач исследования, с осуществлением обзора литературных источников, патентной информации, подбором объектов и методов исследований. На втором этапе исследовали качественный и количественный состав образцов хмелей, представленных для реализации процесса сухого охмеления. Третий блок исследований включал изучение, подбор, научное обоснование условий сухого охмеления.

С целью обеспечения контроля качества и безопасности пищевой продукции впервые были проведены исследования влияния хмеля на частоту аберраций клеток с помощью микроядерного теста в буккальном эпителии человека.

На заключительном этапе разработан способ сухого охмеления, проведено совершенствование аппаратного обеспечения, представлены рецептуры и технология пива с применением сухого охмеления.

В результате проведенных исследований провели оценку экономической эффективности, разработку проектов технической документации, апробацию технологии в опытно-производственных условиях и анализ качественных показателей готовой продукции.



Рисунок 2.1 – Структурно-логическая схема экспериментальных исследований

## 2.2 Характеристика объектов исследований

На различных этапах исследований для приготовления образцов применяли горькие и горько-ароматические сорта хмеля (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Характеристика хмеля гранулированного

Наименование	$\alpha$	$\beta$	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, средне интенсивный 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	Средне-интенсивная пряность, цветочность, цитрусовые и грейпфрут
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, [7]); дрожжи пивные Fermentis Safale S-33 с показателями: спиртоустойчивость 12 % об., способность к флокуляции – средняя, степень сбраживания 86 %, дозировка 0,55 г/дм<sup>3</sup>, диапазон температур брожения 12–25 °С.

Опытно-производственную апробацию разработанных рецептур и режимов проводили в условиях производства ООО «ПИВОВАР».

### 2.3 Методы исследований

Для реализации исследовательских работ и получения массива экспериментальных данных применяли стандартные и оригинальные методы по инструкции санитарно-микробиологического контроля пивоваренного и безалкогольного производства ИК-10-04-06-140-87; по методикам Analytica Microbiologica-EBC [105]; состав пивного сусла и пива – по справочнику работника лаборатории пивоваренного предприятия [106].

#### *Подготовка образцов пива*

На экспериментальной пивоварне «П.И.Н.Т.А. КРАФТ» для приготовления светлого пива верхового брожения использовали стандартный ступенчатый режим затирания (52–62–72–78 °С). Пивное сусло кипятили с хмелем Hallertaur Magnum (горький сорт, содержание  $\alpha$ -кислот 11 %,  $\beta$ -кислот 5 %, когумулоне 21 % от количества  $\alpha$ -кислот, эфирных масел 1,6 мг/100г сухих веществ хмеля) до достижения значения 23 IBU, продолжительность кипячения составляла 90 мин, содержание сухих веществ в сусле после варки – 11 %. Охмеленное сусло охлаждали до 15 °С, перекачивали в две отдельных емкости вместимостью 30 дм<sup>3</sup>. Сусло в каждой емкости сбраживали с помощью сухих дрожжей Fermentis Safale S-33 при температуре 15 °С в течение 8 сут. Полученное молодое пиво с массовой долей сухих веществ 2 % охлаждали до 3 °С в течение 2 сут, продолжительность созревания пива составляла 14 сут. Содержание этанола в готовом пиве составляло 5,2 %; рН 3,82. По окончании процесса созревания из нижней части аппарата удаляли дрожжи.

#### *Проведение сухого охмеления статическим и динамическим способами*

Гранулы горько-ароматических сортов хмеля в соответствии с заданной дозировкой вносили в ферментаторы, оборудованные мешалкой с регулируемой скоростью вращения до 200 об/мин, процесс охмеления проходил с термостатированием при 5 и 20 °С.

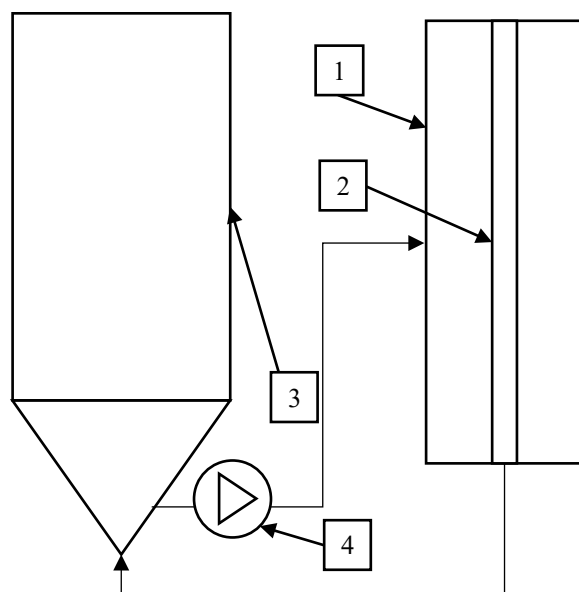


Рисунок 2.2 – Схема установки для сухого охмеления пива

Процесс динамического сухого охмеления осуществляли в экспериментальной установке (рис. 2.2): аппарат для охмеления 1, сетчатый фильтр 2, бродильный танк 3 и насос 4. После добавления рассчитанного количества хмеля аппарат 1 заполняли пивом из танка 3, а насос 4 использовали для рециркуляции суспензии.

### *Периодичность отбора проб*

Образцы пива для анализа отбирали из нижней части ферментатора, первый отбор проводили до задачи хмеля (точка 0, начало отсчета продолжительности сухого охмеления, количество изо- $\alpha$ -кислот в пиве составляло 18,3 мг/дм<sup>3</sup>). Последующие пробы отбирали на 3, 7, 10 и 14 сут соответственно.

### *Общие методы исследований для образцов пива*

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 сусла – по ГОСТ 12787; определение кислотности – по ГОСТ 12788; определение pH – по ГОСТ 31764; определение цвета – по ГОСТ 12789; определение органолептических показателей – по ГОСТ 30060.

*Методики анализа образцов хмеля*

Исследование ароматобразующих компонентов хмеля проводили в НИЛ ООО «Сенсорика-Новые Технологии» на анализаторе запахов «МАГ-8» с методологией «Электронный нос» [107–109], 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,  $\beta$ -кариофиллен, фарнезен,  $\alpha$ -гумулен, линалоол, гераниол) количественно определяли газохроматографическим методом [4] после разделения эфирных масел на углеводородную и кислородную фракции с помощью ГХ «Хромос-2000».

*Определение содержания горьких кислот в исходном хмеле и хмелевой дробине*

Подготовка образцов: небольшое количество хмеля измельчали, затем 1 г хмеля перемещали в центрифужную пробирку объемом 50 см<sup>3</sup>, затем проводили экстрагирование кислот хмеля 10 см<sup>3</sup> метанола. Образцы центрифугировали при 5000 об/мин в течение 5 мин, затем фильтрат анализировали методом газовой хроматографии [106].

Для анализа компонентов хмелевой дробины образцы извлекали из каждого ферментатора в конце сухого охмеления (на 14 сут), фильтровали под вакуумом, отбирали 1 г и подвергали экстрагированию метанолом.

Кислоты хмеля и их производные: гумулиноны (гумулоны), изо- $\alpha$ -кислоты,  $\alpha$ -кислоты,  $\beta$ -кислоты и их относительные концентрации в хмеле и пиве определяли с помощью метода ВЭЖХ [5]. Соединения выделяли из пива следующим образом: образец пива в количестве 5 см<sup>3</sup> подкисляли ортофосфорной кислотой (100 см<sup>3</sup>) и экстрагировали изооктаном (10 см<sup>3</sup>) в течение 30 мин. Экстракт переносили в стеклянную пробирку и выпаривали. К остатку после выпаривания добавляли ацетонитрил (2 см<sup>3</sup>) и анализировали методом ВЭЖХ в трех повторностях. Для кислот хмеля и их производных были получены градуировочные графики на основе стандартов в диапазоне 1; 5; 10; 20; 40; 60 мг/дм<sup>3</sup>.



### *Определение общего содержания полифенолов*

Общее содержание полифенолов, а также катехинов, кверцетина, низкомолекулярных полифенолов определяли спектрофотометрическим методом [5]. В колбе вместимостью 25 см<sup>3</sup> к образцу пива (10 см<sup>3</sup>) приливали смесь карбоксиметилцеллюлозы (1 %) и этилендиамина тетрауксусной кислоты (ЭДТА, 0,2 %) (8 см<sup>3</sup>), затем добавляли цитрат аммония железа (3,5 %, 0,5 см<sup>3</sup>), раствор гидроксида аммония (33,3 %, 0,5 см<sup>3</sup>). Смесь доводили до метки деминерализованной водой и оставляли при комнатной температуре в течение 10 мин. Поглощение раствора измеряли при длине волны 600 нм, умножали на коэффициент (820) для получения общего содержания полифенолов в пиве (мг/дм<sup>3</sup>). Анализ проводили в трех повторностях для каждого образца.

### *Методика проведения микроядерного теста в буккальном эпителии*

Для оценки влияния хмеля на частоту ядерных аберраций был использован микроядерный тест в буккальном эпителии человека.

В исследовании принимали участие 45 условно здоровых студентов (мужчин) Воронежского государственного университета инженерных технологий в возрасте от 19 до 23 лет, без патологий, без вредных привычек и без нарушений метаболического статуса. Все волонтеры подписали информированное добровольное согласие на проведение диагностических манипуляций в виде взятия мазков из ротовой полости в условиях медицинского пункта ФГБОУ ВО «ВГУИТ», а также на систематический прием образцов.

Проводили анкетирование добровольцев, критериями включения клинически здоровых лиц являлись: возраст, пол.

В качестве объектов исследования применяли образцы охмеленного и неохмеленного суслу с различной степенью термической обработки в виде расфасованных в стерильную стеклянную тару напитков объемом 50 см<sup>3</sup> для одноразового приема в течение 7 дней. Образцы выдавали добровольцам ежедневно в одно и то же время.

*Подготовка образцов*

Для приготовления смесей подготовили сусло на основе дробленого светлого ячменного солода и подготовленной воды (гидромодуль затора 1:3,2). Применяли базовый светлый солод Пэйл Эль, экстрактивность солода составляла 82 %, цвет 4.5 EBC, содержание белка 9.8 %. При кипячении сусла вносили гранулированный хмель Hallertaur Magnum (содержание  $\alpha$ -кислот 11 %,  $\beta$ -кислот 5 %, когумуллона 21 % от количества  $\alpha$ -кислот, эфирных масел 1,6 мг/100г сухих веществ хмеля). Расход хмеля рассчитывали для получения значения 23 IBU. В лабораторных условиях было получено 100 дм<sup>3</sup> стандартного светлого сусла. Затираание проводили настойным способом, использовали стандартный ступенчатый режим затираания (52–62–72–78 °C). После окончания затираания сусло фильтровали и передавали на стадию кипячения с хмелем. Хмель задавали на 10 минуте кипячения в количестве 1,9 г/дм<sup>3</sup> сусла. Сначала кипячение сусла проводили без внесения хмеля в течение 10 минут, отбирали не охмеленные образцы для тестирования первой группы испытателей, задавали порцию хмеля, кипятили при температуре 100–105° C в течение 70 мин, отбирали охмеленные образцы сусла для второй группы испытателей.

Материал был собран до употребления образцов (1 образец/контрольная группа), через неделю после употребления испытуемыми образцов (2 образец) и через неделю после окончания употребления (3 образец).

Препараты анализировали с помощью микроскопа Carl Zeiss Primo Star при 40-кратном увеличении.

Для каждого субъекта рассчитывали частоту встречаемости (‰) клеток с микроядрами, насечками, перинуклеарными вакуолями, протрузиями типа «язык» и «разбитое яйцо», двумя ядрами, кариорексией, кариопикнозом, кариолизисом, как отношение числа клеток с каждой аберрацией к общему числу проанализированных клеток. Для получения интегральной оценки воздействия напитков на организм человека вычисляли индекс репарации (RI) и индекс накопления цитогенетических нарушений (Iac) по формулам (1.1)–(1.2).

$$RI = (KR + KL) / (MN + BE), \quad (1.1)$$

где RI – индекс репарации, KR – клетки с кариорексисом, KL – клетки с кариолизисом, MN – клетки с микроядрами, BE – клетки с протрузиями типа «разбитое яйцо».

$$Iac = (Ic \cdot Ip / Iapop) \times 100, \quad (1.2)$$

где Iac – индекс накопления цитогенетических нарушений, Ic – цитогенетический индекс (сумма клеток с микроядрами, ядерными протрузиями и межъядерными мостами, ‰), Ip – индекс пролиферации (сумма клеток с двумя и более ядрами, ‰), Iapop – апоптотический индекс (сумма всех клеток в апоптозе в промилле).

Выбор указанных интегральных показателей обусловлен тем, что анализ изменения частот отдельных ядерных аномалий может дать противоречивые результаты.

Обработка результатов была проведена в лаборатории «Молекулярной генетики и клеточной биологии» кафедры генетики, цитологии и биоинженерии ФГБОУ ВО «ВГУ».

#### *Методы математической обработки результатов*

В таблицах и на рисунках приведены средние арифметические значения и их стандартные отклонения, рассчитанные для трех независимых экспериментов. Статистическая обработка результатов исследования проводилась при доверительном уровне  $p \leq 0,05$  с использованием методов математической статистики и программного обеспечения MS Excel.

Для статистической оценки исследований применяли специальное ПО – Design Expert, v. 11.1.0, Stat-Ease Inc. [110] и функции MS Excel.

Экспериментальные данные обрабатывались с использованием вероятностных методов математической статистики – дисперсионного и корреляционного анализа [110].

*Использование радиальных нейронных сетей для аппроксимации  
зависимостей показателей от времени*

Одним из наиболее эффективных направлений аппроксимации функций является использование искусственных нейронных сетей.

Суть метода прогнозирования с помощью радиальных нейронных сетей состоит в том, что для текущего значения времени  $t$  необходимо определить значение показателя  $K$ . Для этого используются в качестве эталонов наиболее близкие известные экспериментальные точки  $(t_j, K_j)$ . Затем значения  $K_j$  усредняются с определенными весами, соответствующие удалению  $r_j = |t - t_j|$  абсцисс  $t_j$  эталонных точек от заданного значения  $t$ :

$$K(t) = K_1 \cdot \alpha(r_1) + K_1 \cdot \alpha(r_1) + \dots + K_n \cdot \alpha(r_n) = \sum_{j=1}^n K_j \cdot \alpha(r_j), \quad (1.3)$$

С помощью весовых коэффициентов  $\alpha$  учитывается, сколько информации передают нормы в зависимости от расстояния до тестовой точки в факторном пространстве. Весовой коэффициент  $\alpha$  должен быть тем больше, чем меньше расстояние  $r_i$ , а при неограниченном увеличении расстояния  $\alpha_i$  он должен стремиться к нулю. Одно из наиболее практичных и математически обоснованных выражений для весовых коэффициентов имеет вид гауссовой функции (1.4).

$$\alpha^0(r_i) = \exp\left(-\frac{r_i^2}{\sigma^2}\right), \quad (1.4)$$

где надстрочный индекс «0» в переменной  $\alpha^0$  обозначает ненормированный предварительный вариант;  $\sigma$  – характерное расстояние, при котором нормы считаются наиболее близкими..

График этой функции представляет собой убывающую кривую (рис. 2.3).

Чем сильнее отличается заданное время  $t$  от времени  $t_j$  для  $j$ -го эталона, тем меньше будет вклад прогноза  $j$ -го эталона в аппроксимированном значении  $K(t)$ .

После определения весовых коэффициентов  $\alpha_i$  с помощью последней формулы, они нормализуются для выполнения следующего условия:

$$\alpha(r_1) + \alpha(r_2) + \dots + \alpha(r_n) = \sum_{j=1}^n \alpha(r_j) = 1. \quad (1.5)$$



Рисунок 2.3 – Радиальная функция активации нейрона

Исходя из этого, коэффициент  $\alpha_i^0$  нормируются в соответствии со следующей формулой:

$$\alpha(r_i) = \frac{\alpha^0(r_i)}{\sum_{j=1}^n \alpha(r_j)} \quad (1.6)$$

Окончательное выражение для аппроксимированного значения показателя  $K(t)$  показателя для заданного значения времени  $t$  можно записать следующим образом:

$$K(t) = \sum_{j=1}^n K_j \cdot \frac{\exp\left(-\frac{(t-t_j)^2}{\sigma^2}\right)}{\sum_{k=1}^n \exp\left(-\frac{(t-t_k)^2}{\sigma^2}\right)}. \quad (1.7)$$

Таким образом, с помощью радиальной нейронной сети получается аналитическое аппроксимирующее выражение, обладающее свойствами непрерывности и дифференцируемости.

Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета статистических программ «Stadia». Процедура кластеризации данных и их обработки описана в работе Кулаичева (2006).

Медианы выборок сравнивались с помощью непараметрического теста X-rank Ван дер Вардена. Влияние факторов «употребление напитка, содержащего охмеленное сусло», «употребление напитка, содержащего неохмеленное сусло» и «день взятия пробы» устанавливали с использованием двухфакторного дисперсионного анализа. Степень варьирования признака анализировали по коэффициенту вариации ( $C_v$ ), который определяли согласно рекомендациям Г.Ф. Лакина (1990).  $C_v$  менее 10 % соответствует низкой степени варьирования признака, от 10 до 25 % – средней, более 25 % – высокой (Лакин, 1990). Кластерный анализ проводился с использованием стандартизированной евклидовой метрики, со стратегией кластеризации по группам соседей. Средние значения индекса репарации и индекса накопления цитогенетических аномалий в эпителиальных клетках полости рта человека на каждом этапе эксперимента, их медианы и коэффициенты вариации были внесены в матрицу данных. Корреляции для факторного анализа рассчитывались с помощью коэффициента корреляции Спирмена. Количество общих факторов выбиралось с помощью критерия Кеттелла.

### ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХМЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ

#### 3.1 Исследование ароматобразующих компонентов хмеля с применением химических сенсоров

Проводили экспресс-оценку аромата сортов хмеля с помощью систем с искусственным интеллектом. Выполняли подбор массива сенсоров с учетом специфики химического состава компонентного состава эфирного масла хмеля; и изучение интенсивности аромата сортов для того, чтобы установить соответствие или аутентичности проб хмеля.

Применяли образцы хмеля сорта Перле. Хмель Стандарт 1: тип 45,  $\alpha = 7,0\%$ , урожай 2019 г.; Хмель Стандарт 2: тип 45,  $\alpha = 10,0\%$ , урожай 2018 г. Провели сравнение с исследуемым образцом (Анализируемый образец) из партии, для которой нужно доказать соответствие или принадлежность продукции одного из производителей Стандартов 1 или 2 [107, 111–113]. Идентичность проб гранулированного хмеля по запаху устанавливали с применением химических сенсоров, с подготовкой пробы, отбором равновесной газовой фазы и детектированием легколетучих компонентов.

Осуществляли подбор системы сенсоров для проведения исследований образцов хмеля.

Для модификации электродов семи пьезокварцевых резонаторов АТ-среза с базовой частотой колебаний 10,0 МГц применяли растворы поливинилпирролидона, ПВП, полиэтиленгликоль фталата, ПЭГФ, полиэтиленгликоль сукцината, ПЭГСк, полиэтиленгликоля ПЭГ-2000, ПЭГ-2000, дициклогексана-18-краун-6, 18К6, пчелиного клея (прополис), ПК, полиэтиленгликоль себацината, ПЭГСб.

Пробу гранулированного хмеля подготавливали по методике [154].

Аналитическим сигналом массива сенсоров в парах равновесной газовой фазы проб, принимаемых за стандарт и соответствующих по показателям нормативным документам с приемлемыми органолептическими характеристиками аромата, являлся многомерный набор данных, представляемых в виде «визуального отпечатка» максимумов (рис. 3.1). «Визуальные отпечатки» анализируемых образцов и стандартов сопоставляли, рассчитывали в программном обеспечении площади и другие параметры фигур [114–116].

В том случае, если различие параметров фигур (относительное) составляло <20 %, считали состав анализируемой пробы и соответствующим стандарту. Иначе – различия в составе смеси легколетучих соединений были значимыми и пробу считали не идентичной стандарту.

При совпадении физико-химических показателей, измеренных другими методами (HPLC анализ), выявление значимых различий свидетельствовало об изменении аромата партии хмеля, что может приводить к изменению органолептических показателей пива. Снижение степени идентичности «визуальных отпечатков» максимумов можно объяснить нарушением технологии производства гранулированного хмеля, изменения сорта или качества сырья, порчей сырья, не соблюдения условий хранения хмеля, и т. д. [117–120].

#### *Постановка эксперимента*

Продолжительность анализа с учетом пробоподготовки составляла 25 мин при двухкратном повторении измерения, время измерения – 1 мин; число измерений без обновления массива сенсоров – 150. Продолжительность повторного нанесения пленок на электроды пьезорезонаторов – не более 45 мин.

Провели анализ образца гранулированного хмеля (Анализируемый образец) из партии, для которой нужно доказать соответствие или принадлежность продукции одного из производителей 1 или 2 (рис. 3.2). В данном случае, считали, что контролируемые показатели анализируемого образца соответствовали нормативным.



При этом вызывал нарекание аромат образца, по которому трудно доказать соответствие ранее реализованной партии гранулированного хмеля партии производителя 1. Для измерения качественного и количественного состава легковлетучий фракции запаха всех проб и их сравнения применён набор химических сенсоров в приборе «пьезоэлектронный нос».

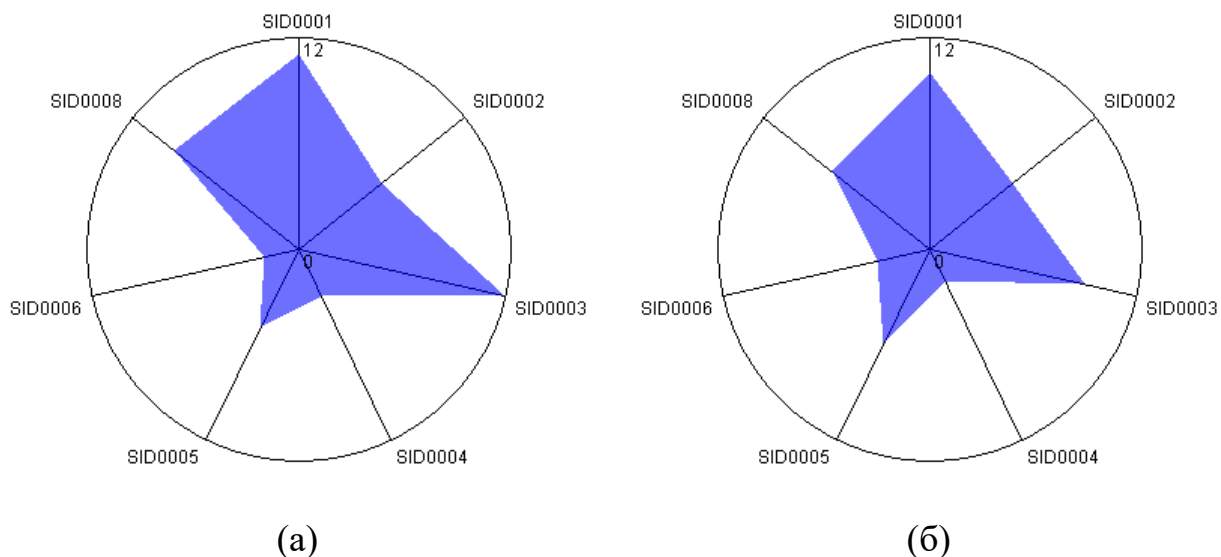
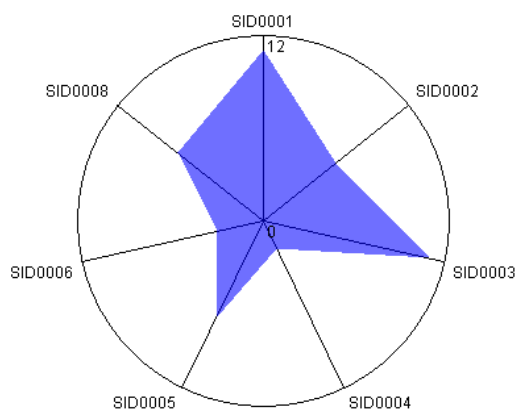


Рисунок 3.1 – «Визуальные отпечатки» максимумов для образцов проб хмеля разных производителей. Стандарт 1(а) и Стандарт 2 (б). По осям указаны номера сенсоров с различными покрытиями. По вертикали – максимальные отклики сенсоров за время измерения ( $\Delta F_{\max}$ , Гц)

Аналитическим сигналом массива сенсоров в парах равновесной газовой фазы проб, принимаемых за стандарт и соответствующим по показателям нормативным документам с приемлемыми органолептическими характеристиками запаха, является многомерный набор данных, представляемых в виде «визуального отпечатка» максимумов – построены по максимальным откликам сенсоров в равновесной газовой фазе образцов за 60 с (рис. 3.1). «Визуальные отпечатки» максимумов для анализируемого образца (рис. 3.2) и стандартов (рис. 3.1) сопоставляли в программном обеспечении, рассчитывали их площадь  $S_{\Sigma}$ , Гц.с и другие характеристики. В качестве дополнительных характеристик применяли 5 параметров идентификации  $A_{ij}$ , рассчитанных по сигналам отдельных сенсоров в парах анализируемого образца и выбранных стандартов (табл. 3.1).



### Анализируемый образец

Рисунок 3.2 – «Визуальный отпечаток» максимумов для анализируемого образца гранулированного хмеля, для которого необходимо установить идентичность пробам Стандартов 1 или 2

Таблица 3.1 – Параметры идентификации

Вид пробы	SΣ, Гц,с	Относит. изменение SΣ, %	Вид параметра A <sub>ij</sub>			
			1	2	3	4
Стандарт 1	123*		0,27	1,33	0,67	2,0
Стандарт 2	98		0,20*	1,29	1,5	3,0
Анализируемый образец (А)	112		0,18	1,57	1,5	3,0
Стандарт 1 – А		9				
Стандарт 2 – А		14				
Совпадение показателей	Стандарт 1 – А	X	-	-	-	-
	Стандарт 2 – А	X	X	-	X	X

\* отмечены параметры, близкие друг другу

По форме «визуального отпечатка» максимумов и относительной разнице площадей для анализируемого образца и стандартов 1 и 2 не установлено существенных отличий. По сравнению со стандартами 1 и 2, относительное изменение площади «визуального отпечатка» максимумов для анализируемой пробы менее 20 %. Но с учетом дополнительных параметров A<sub>ij</sub> анализируемый образец отличался от стандарта 1 на 80 % (4 из 5 выбранных параметров различаются), а от стандарта 2 – на 20 % (отличался 1 из 5 выбранных показателей). Различия в аромате анализируемой пробы гранулированного хмеля от стандарта 1 значимы, от стандарта 2 – незначимы.

С учетом задачи (доказать соответствие какому-либо из стандартов) принимали, что анализируемый образец по составу легколетучей фракции запаха идентичен стандарту 2, а значит не соответствует продукции производителя более ранних партий хмеля со стандартом 1.

Продолжительность анализа с учетом пробоподготовки составляла 25 мин с учётом двукратного повторения измерения, время измерения – 1 мин.

Методика обеспечивает получение качественных (параметры А) и количественных (площадь «визуального отпечатка») критериев, позволяющих эффективно принимать решение как о степени идентичности проб сортового хмеля различных лет урожая, так и для оценки изменений органолептических характеристик в процессе хранения. Отклики химических сенсоров в парах равновесной газовой фазы фиксируют в течение 60 с и формируют в виде суммарного сигнала в «визуальный отпечаток» максимумов, который сопоставляют в программном обеспечении прибора с «визуальным отпечатком» максимумов для стандарта, при относительном различии параметров фигур менее, чем на 20 %, делают вывод об идентичности состава анализируемой пробы и соответствующего стандарта, при относительном различии более 20 % параметров фигур «визуального отпечатка» сигналов для пробы и стандарта считают различия в составе смеси легколетучих соединений значимыми и пробу не идентичной выбранному стандарту.

### **3.2 Идентификация основных ароматобразующих компонентов хмеля с помощью сенсорных технологий**

Определяли различия в качественном и количественном составе ароматобразующих компонентов хмеля.

Объектами исследования являлись:

Образцы В, С	Образцы А, D
Структура гранул	
При измельчении в ступке для измерения влажности гранулы растирались с трудом (плотные гранулы) в результате получили однородный порошок без включений.	
Цвет	
Интенсивный ярко-зеленый, насыщенный, свойственным гранулам после непродолжительного хранения.	
Аромат	
Хмелевой, сбалансированный, пряный, скошенной сухой травы, сладковатый.	Хмелевой, резкий, насыщенный, острый, пряный, грубоватый.
Влажность, %	
9,58 (образец В) 11,43 (образец С)	10,30 (образец А) 9,93 (образец D)

Хмель А: Perle, тип 45,  $\alpha = 7,0\%$ , урожай 2019 г.; Хмель D: Perle, тип 45,  $\alpha = 10,0\%$ , урожай 2018 г.; Хмель С: Saphir, тип 90,  $\alpha = 2,6\%$ , урожай 2019 г.; Хмель В: Saphir, тип 90,  $\alpha = 6,5\%$ , урожай 2018 г.

### *Постановка эксперимента*

В качестве измерительного массива ранее было выбрано 8 датчиков на основе пьезокварцевых резонаторов ОАВ с основной частотой колебаний 10,0 МГц, с различными цветными поглощающими пленками на электродах [148]. Покрытия были выбраны в соответствии с задачей испытания (возможная эмиссия образцов различных органических соединений):

Сенсор 1 – поливинилпирролидон, ПВП

Сенсор 2 – полиэтиленгликоль фталат, ПЭГФ

Сенсор 3 – полиэтиленгликоль сукцинат, ПЭГСк

Сенсор 4 – полиэтилен ПЭГ-2000, ПЭГ-2000

Сенсор 5 – дициклогексан-18-краун-6, 18К6

Сенсор 6 – пчелиный клей (прополис), ПК

Сенсор 7 – полиэтиленгликоль себацинат, ПЭГСб

Для определения содержания летучих соединений в равновесной газовой фазе над образцами хмеля сравнивались значения откликов всех выбранных сенсоров в матрице и значения количественного интегрального сигнала электронного носа – «визуального отпечатка» области максимальных откликов (табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Отклики сенсоров (Гц) и площадь «визуального отпечатка» сигналов сенсоров в РГФ над пробами

№ Пробы	S1 ПВП	S2 ПЭГФ	S3 ПЭГСк	S4 ПЭГ-2000	S5 18K6	S6 ПК	S7 ПЭГСб	S <sub>sum</sub> , Гц·с
1 (С)	13	3	12	13	10	4	8	233
2 (В)	14	5	14	15	15	6	10	380

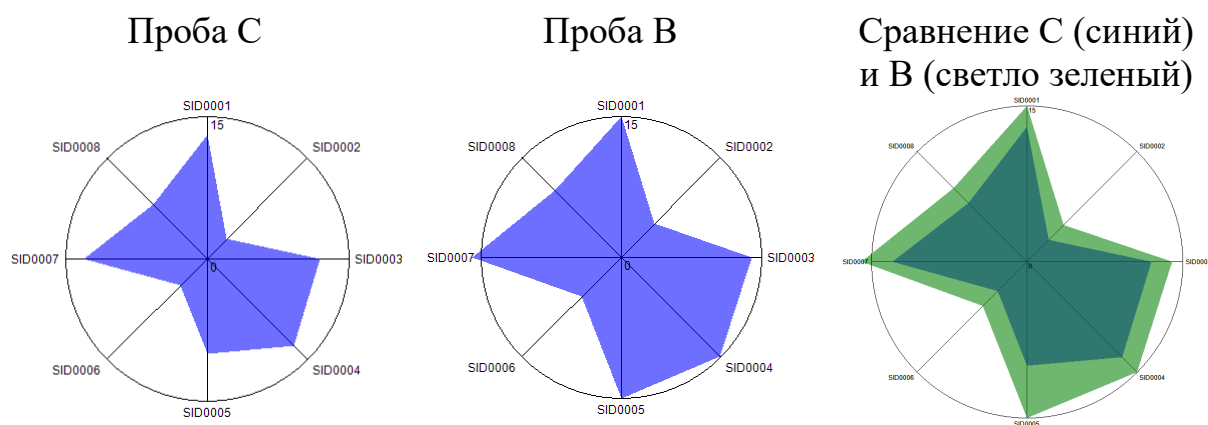
В сравнении

1 А	11	6	9	13	6	4	6	144
2 D	12	4	11	14	9	5	7	187

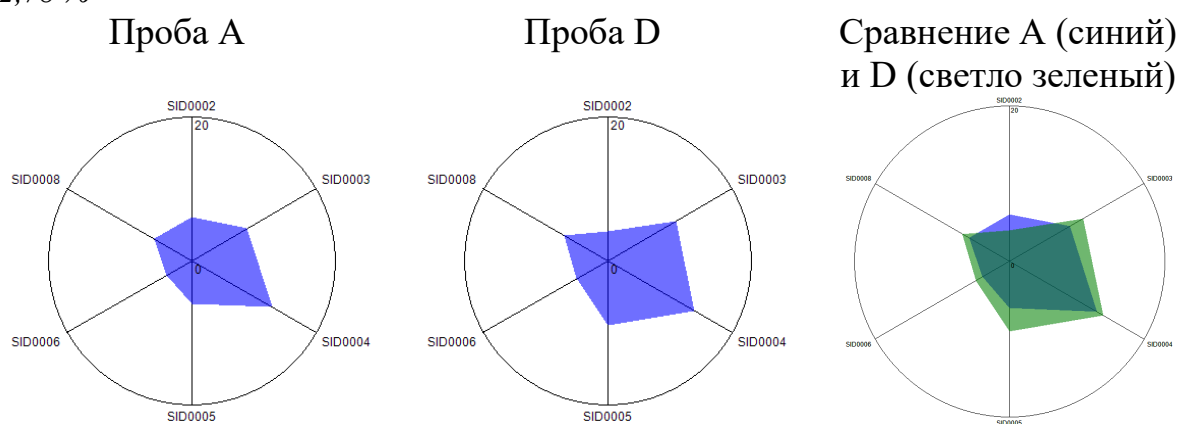
Было установлено, что интенсивность запаха образцов хмеля С и В значительно различается по классам соединений, обнаруживаемых используемым набором датчиков. Вместе эти соединения составляют более 50 % разницы в интенсивности запаха образцов. Это заметные и существенные различия. Образцы А и D характеризуются более низким содержанием ароматических соединений, в отличие от образцов С и В, которые обнаруживаются выбранным набором датчиков. Разница в интенсивности запаха между ними также меньше – около 25 %.

Для установления различий в составе (качественном и количественном) летучей фракции запаха были построены графики изменения содержания суммарных летучих компонентов РГФ на образцах (рис. 3.3).

«Визуальный отпечаток» от сенсорной матрицы показал отсутствие значительных различий в химическом составе газовой фазы при равновесии на образцах хмеля С и В и менее значительные различия на образцах А и D. Кроме того, количество ароматических соединений были идентифицированы, для существующей сенсорной матрицы (табл. 3.3). Нормализуются только компоненты, обнаруженные массивом датчиков, установленных только в равновесной газовой фазе, а не во всем образце.



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



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

Рисунок 3.3 – «Визуальные отпечатки» максимальных сигналов сенсоров в РГФ над пробами. По осям указаны: по круговой оси – время фиксирования сигналов при измерении, с. По вертикали – отклики сенсоров в определенный момент времени измерения ( $\Delta F_{\max}$ , Гц)

Таблица 3.3 – Относительное содержание компонентов в пробах,  $\omega$  % масс.

Проба	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
	ПВП	ПЭГФ	ПЭГС <sub>к</sub>	ПЭГ-2000	18К6	ПК	ТХ-100	ПЭГС <sub>б</sub>
	Вода, другие полярные	эфир	N-содержащие	O-содержащие	Спирты, кислоты	кетоны	S-содержащие	Спирты, кетоны, амины
Хмель С	17,1	4,0	15,8	17,1	13,2	5,3	17,1	10,6
Хмель В	14,7*	5,3	14,7	15,8	15,8	6,3	16,8	10,8
А	20,0	10,9	16,4	23,6	10,9	7,3		10,9
Д	19,4	6,5	17,7	22,6	14,5	8,1		11,3

\* отмечены параметры с максимальным отклонением друг от друга для проб.

Было установлено, что состав основных классов органических соединений в образцах хмеля отличался друг от друга. Различия в составе составляют более 40 %. В равновесной газовой фазе над пробой хмеля В меньшее содержание азотсодержащих соединений, возможно влаги и других сильнополярных соединений. Образцы А и В значительно отличались по содержанию сложных и простых эфиров, кислот и спиртов.

Изменения качественного состава РГФ на образцах и появление/исчезновение соединений летучей фракции в образцах строились по значению параметра  $A_{i/j}$ , показывающего постоянство соотношения концентраций отдельных классов летучих соединений в РГФ (табл. 3.4).

Если значения  $A_{i/j}$  образцов близки или совпадают, можно предположить, что соотношение содержания в образцах одинаково. Если соотношение сигналов отличается от соотношения сигналов образцов, то соотношение концентраций соединений различно (табл. 3.4). Чем больше различается число параметров  $A_{i/j}$  для образцов, тем больше различий в запахе образцов, вероятно, будет зарегистрировано при органолептической оценке потребителями и дегустаторами.

Таблица 3.4 – Соотношение сигналов нескольких сенсоров в матрице для тестируемых проб

Пробы	Показатель стабильности аромата ( $\pm 0,02$ )					
	ПЭГ-2000/ ПВП	ПЭГСк/ ПЭГСб	18К6/ ПЭГСб	ПК/ ПЭГ-2000	ТХ-100/ ПЭГСк	ПЭГФ/ ПЭГ-2000
Номер на рис. 3.4	1	2	3	4		5
Проба 1 С	1,00	1,50	1,25	0,31	1,08	0,23
Проба 2 В	1,07	1,40	1,50	0,40	1,14	0,33
А	1,18	1,50	1,0	0,31	–	0,46
Д	1,17	1,57	1,29	0,36	–	0,29
* отмечены параметры с отклонением друг от друга для проб						

Качественный состав образцов хмеля сильно отличался. Пробы сравнивали по представленным показателям только попарно, так как измерение проведено на различном массиве сенсоров (8 и 7 сенсоров соответственно).

Состав равновесной газовой фазы над образцами хмеля С и В отличается по качеству и количеству более чем на 60 %. Количество ароматобразующих компонентов в образце В больше, чем в образце С. Пробы различные и будут идентифицироваться дегустаторами, как заметно различающиеся по аромату. Пробы А и D также отличаются по качественному составу. В образце D количество ароматобразующих компонентов больше, чем в образце А. Применяв технологию «отпечатков пальцев» для идентификационных параметров, отражающих идентичность качественного состава, можно увидеть различия между пробами (рис. 3.4).

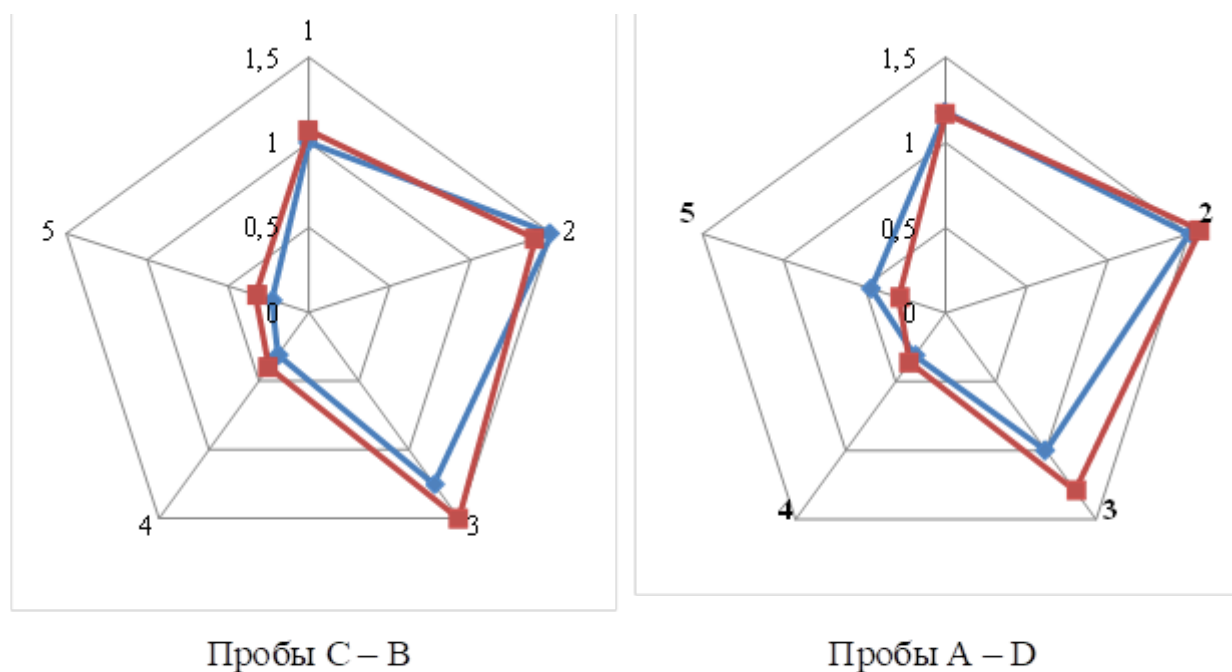


Рисунок 3.4 – Спектры идентификационных параметров для проб хмеля. Номера по кругу соответствуют номеру параметра в табл. 3.5

В некотором приближении возможно сравнить все пробы: пробы С и В отличаются от проб А и D соотношением содержания в равновесной газовой фазы спиртов, влаги, кислот и аминов, сложных эфиров, углеводородных фракций. Образцы А и D менее ароматны, чем С и В.

Провели идентификацию эфирных масел образцов хмеля с помощью HPLC-анализа на базе фирмы Hopsteiner. Результаты приведены в таблице 3.5.



Таблица 3.5 – Компонентный состав эфирных масел образцов хмеля

Наименование	HPE 1 ( <i>Perle</i> , 2019) Образец А	HPE 2 ( <i>Perle</i> , 2018) Образец D	HSR 1 ( <i>Saphir</i> , 2018) Образец В	HSR 2 ( <i>Saphir</i> , 2019) Образец С
$\alpha$ -acids	7,0	10,0	6,5	2,6
Total oil, ml/100 g (EBC 7.10)	0,80	0,40	1,10	0,85
Myrcene, ppm (EBC 7.12)	2566	2567	688	2279
Linalool, ppm (EBC 7.12)	66	26	68	18
Cariophyllene, ppm (EBC 7.12)	732	282	1320	730
Humulene, ppm (EBC 7.12)	1694	1053	4066	1691
Отношение Humulene/Cariophyllene	2,3	3,7	3,08	2,3

Было установлено, что компоненты эфирного масла состоят из двух фракций: углеводородной (40–80 %) и кислородосодержащей [121–123]. По некоторым данным, при содержании углеводов 86 % его участие в аромате составляет 69 %. Если доля кислородсодержащей фракции составляет 14 %, то ее вклад в аромат составляет 31 % [103, 124]. Мирцен, кариофиллен, гумулен, линалоол составляют 60–80 % углеводородной фракции. Мирцен является причиной более выраженного оттенка образцов А, D. Содержание гумулена оказывает положительное влияние на аромат в хмеле В (4066 ppm). Для характеристики образцов хмеля использовалось соотношение гумулен/кариофиллен не менее трех; в образце В это соотношение составляло 3,07.

Американские сорта хмеля (сорта А и D) имеют более высокое содержание мирцена (25–50 %), чем европейские сорта (сорта В и С) (16–30 %). В европейских сортах по сравнению с американскими несколько выше содержание гумулена – от 22 до 33 % против 14–25 %.

*Заключение к главе 3*

Определили качественный и количественный состав эфирных масел в образцах хмелей сенсорным методом с помощью мультисенсорного анализатора «Электронный нос» и методом ВЭЖХ. 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.

Установили, что для сухого охмеления будет рациональным использование хмеля сорта В (сорт Saphir), различных лет урожая, с определенным содержанием ароматических компонентов (гумулен, 4006 ppm; соотношение гумулен/кариофиллен 3,07), сочетание которых гармонизирует органолептические характеристики готового продукта.

## ГЛАВА 4 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ СУХОГО ОХМЕЛЕНИЯ

### 4.1 Влияние основных параметров процесса сухого охмеления на физико-химические показатели пива

Определяли изменения содержания нелетучих соединений, которые влияют на воспринимаемую горечь во время сухого охмеления, а также состава хмелевых кислот (гумулинонов, изо- $\alpha$ -кислот,  $\alpha$ -кислот) при различных температурных режимах (5 и 20 °С) и продолжительности процесса (14 сут) для двух сортов хмеля Saphir и Chinook – с низким и высоким содержанием  $\alpha$ -кислот хмеля: 3,5 и 15 % соответственно.

На экспериментальной пивоварне «П.И.Н.Т.А. КРАФТ» произведено 500 дм<sup>3</sup> светлого пива верхового брожения по режиму, процесс сухого охмеления проводили динамическим способом на экспериментальной установке в лабораторных и опытно-промышленных условиях (глава 2).

#### *Динамика изменения содержания компонентов хмеля при проведении процесса сухого охмеления*

Для образцов пива, изготовленных с применением хмеля Chinook, отмечали значительное увеличение концентрации гумулинонов при реализации сухого охмеления при указанных температурных режимах. Наибольшее увеличение концентрации (до 55–60 мг/дм<sup>3</sup>) наблюдали после 36 ч выдержки с хмелем при 20 °С (рис. 4.1) и после 2 часов при (рис. 4.2). Далее концентрация гумулинонов оставалась практически на том же уровне.

В образцах пива, изготовленных с применением хмеля Saphir, концентрация гумулинонов также увеличилась в течение 3 сут, причем более высокие концентрации наблюдали при низких температурах. Максимальные концентрации гумулинонов 11 и 8 мг/дм<sup>3</sup> наблюдали в образцах пива после 8 сут сухого охмеления при 5 и 20 °С соответственно [125]. Схожая динамика наблюдалась в опытно-промышленных условиях.

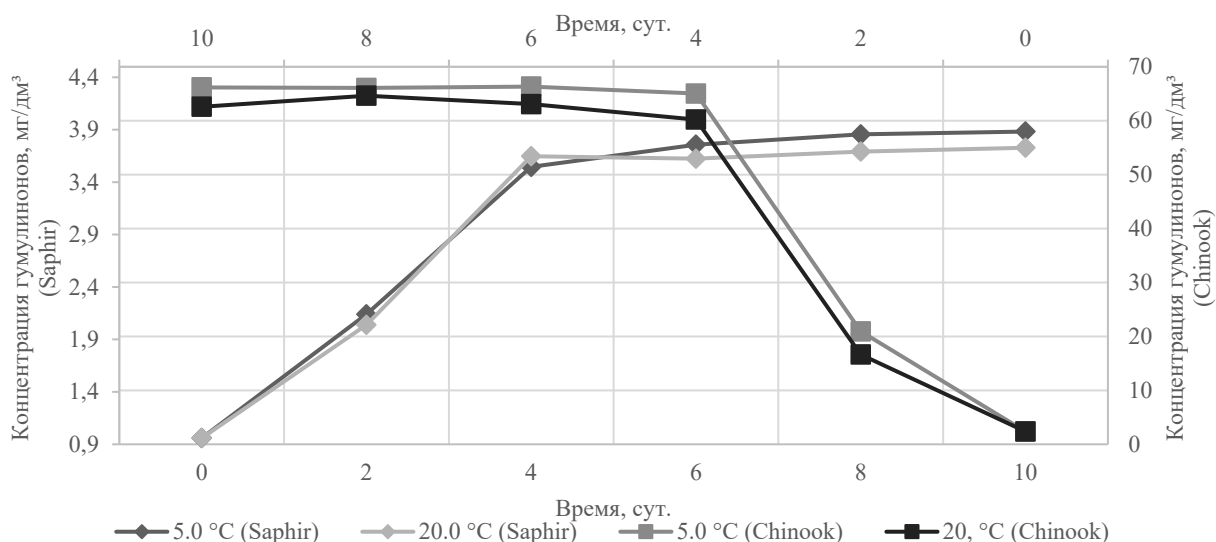


Рисунок 4.1 – Изменение концентрации гумулинонов в процессе сухого охмеления при 5 и 20 °C

Более высокая концентрация гумулинонов в пиве после охмеления с Chinook в сравнении с Saphir указывает на то, что формирование гумулинонов может быть связано с содержанием  $\alpha$ -кислот в исходном хмеле. Это подтверждается аналогичными уровнями концентрации гумулинонов в исходном хмеле ( $\sim 0,29\%$ ), что также свидетельствует о том, что концентрации гумулинонов в пиве после сухого охмеления связаны не только с процессом их извлечения из хмеля. Реализуемый динамический процесс сухого охмеления вполне может способствовать более интенсивному образованию гумулинонов по сравнению со статическим процессом. Результаты позволяют предположить, что образование гумулинонов из  $\alpha$ -кислот в процессе сухого охмеления зависит от принятой схемы для реализации процесса сухого охмеления, температуры и содержания  $\alpha$ -кислот в исходном хмеле.

Изо- $\alpha$ -кислоты представляют собой главный источник горечи пива и являются изомерами  $\alpha$ -кислот, их образование происходит во время процесса кипячения пивного сусла с хмелем [27, 100].

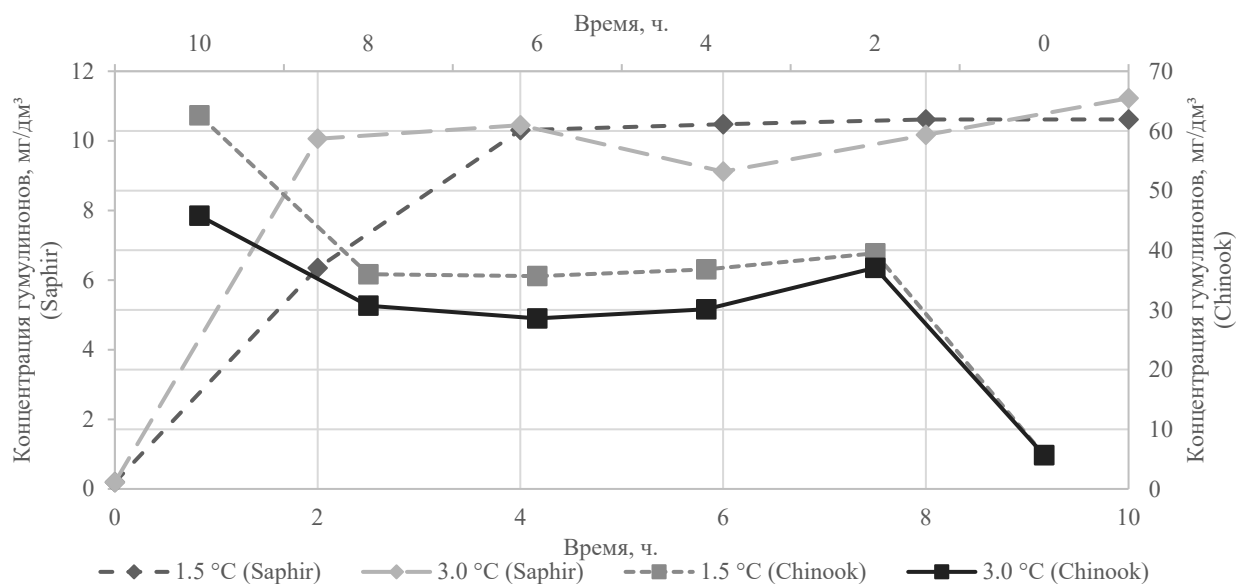


Рисунок 4.2 – Изменение концентрации гумулинонов в процессе сухого охмеления при 1,5 и 3,0 °C

Потери изо- $\alpha$ -кислот в пиве в процессе сухого охмеления отмечены в работе [100], а также подтверждены в настоящем исследовании – значительное снижение концентрации изо- $\alpha$ -кислот наблюдали для двух исследуемых сортов хмеля после 24 ч сухого охмеления, особенно при температуре 20 °C (рис. 4.3) и после 3 часов для процесса, проводимого в установке (рис. 4.4). Скачкообразное изменение можно объяснить высокой скоростью протекания процесса (до 10 раз интенсивнее, чем в лабораторных условиях), и частотой отбора проб.

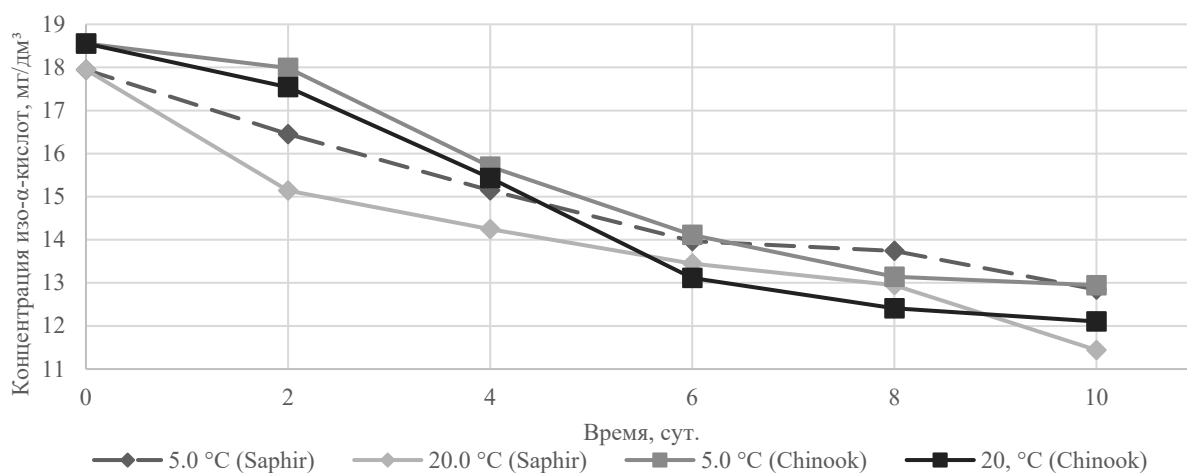


Рисунок 4.3 – Изменение концентрации изо- $\alpha$ -кислот в процессе сухого охмеления при 5 и 20 °C

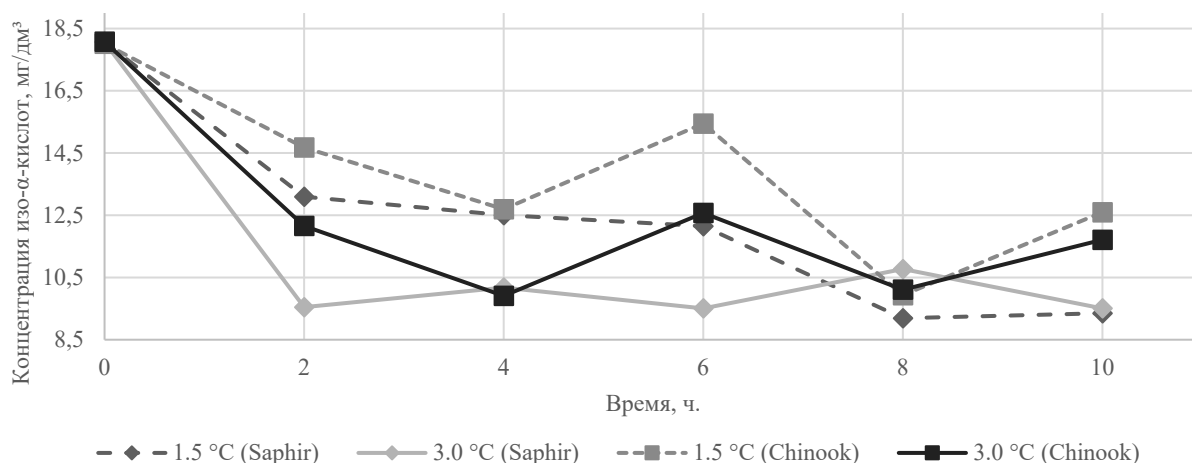


Рисунок 4.4 – Изменение концентрации изо- $\alpha$ -кислот в процессе сухого охмеления при 1,5 и 3,0 °C

Концентрация изо- $\alpha$ -кислот при охмелении с Chinook после снижения в течение первых 24 ч менялась незначительно (при 20 °C); с другой стороны, при температуре 5 °C для двух сортов хмеля происходило постепенное снижение концентрации изо- $\alpha$ -кислот с течением времени.

В целом, более значительные потери изо- $\alpha$ -кислот наблюдали при использовании сорта хмеля Chinook – в среднем 50 % по сравнению с 28 % – при применении сорта Saphir.

Значительное и в то же время постепенное увеличение концентрации  $\alpha$ -кислот наблюдали только в образце пива с хмелем Chinook при 20 °C, в меньшей степени это отмечено при температуре менее 5 °C (рис. 4.5 и 4.6). С другой стороны, у пива, охмеленного с Saphir, существенного увеличения концентрации  $\alpha$ -кислот за время сухого охмеления не отмечали.

Результаты показывают, что содержание  $\alpha$ -кислот в пиве после сухого охмеления может быть связано с содержанием  $\alpha$ -кислот используемого для сухого охмеления сорта хмеля, следовательно, использование хмеля с высоким содержанием  $\alpha$ -кислот для сухого охмеления при более высоких температурах может привести к более высокой остаточной концентрации  $\alpha$ -кислот в конечном продукте.

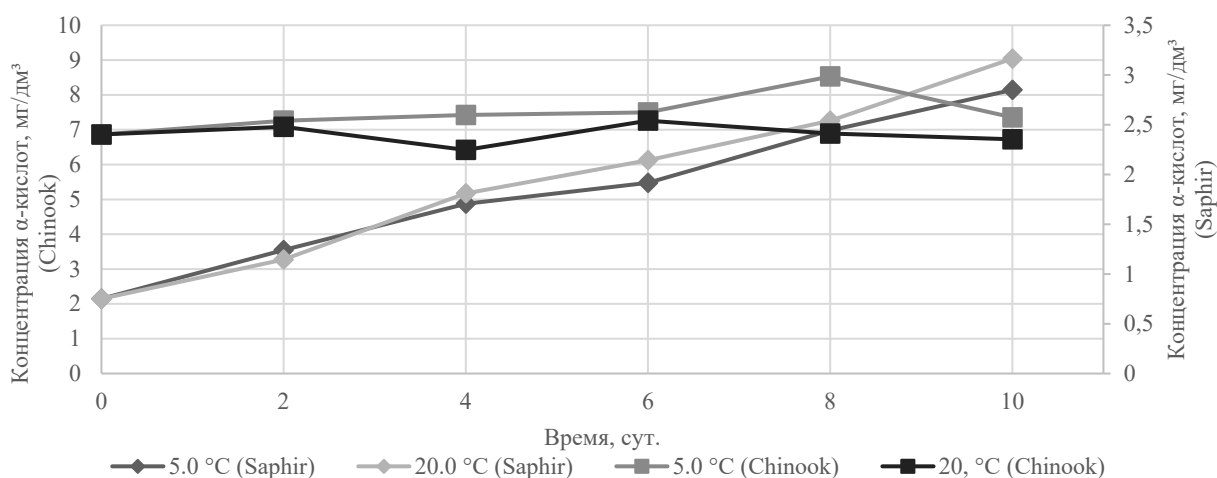


Рисунок 4.5 – Изменение концентрации  $\alpha$ -кислот в процессе сухого охмеления при 5 и 20 °C

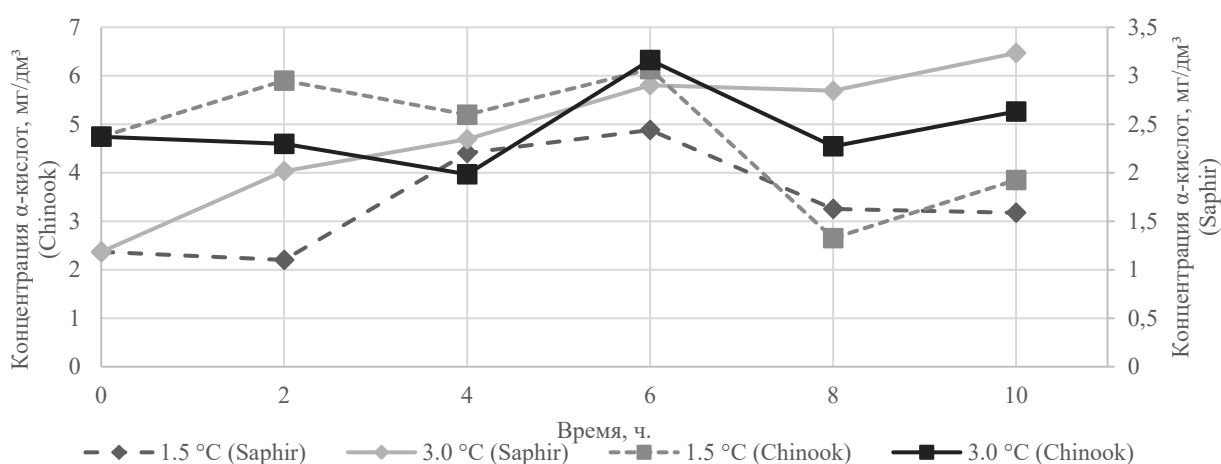


Рисунок 4.6 – Изменение концентрации  $\alpha$ -кислот в процессе сухого охмеления при 1,5 и 3,0 °C

Кроме того, установлено, что более высокие концентрации  $\alpha$ -кислот наблюдались в пиве, охмеленным с Chinook, чем с Saphir. Важно отметить, что комбинация гумулинонов, изо- $\alpha$ -кислот и повышенной остаточной концентрации  $\alpha$ -кислоты может оказать значительное влияние на восприятие горечи готового пива.

*Влияние сухого охмеления на общее содержание полифенолов в пиве*

Для пива, охмеленного с Saphir, на первые сутки среднее измеренное общее содержание полифенолов (ПФ) составляло 230–240 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 4.7). Через 24 ч при 20 °С наблюдалось значительное увеличение ПФ до 330 мг/дм<sup>3</sup>, что составляет 38 %. Содержание ПФ увеличилось до 49 % на 3 сутки и оставалось постоянным до конца процесса. Таким образом, наибольший прирост общего содержания полифенолов в пиве наблюдали через 3 сут. Влияние температуры на общее содержание полифенолов в пиве охмеленным Saphir при 5 °С заключалось в меньшем и постепенном увеличении общего содержания полифенолов в течение процесса до максимального значения примерно на 10 сут.

Для процесса, проводимого в установке резкий рост содержания ПФ наблюдался в течение первых 4 часов и далее оставался в среднем постоянным (рис. 4.8)

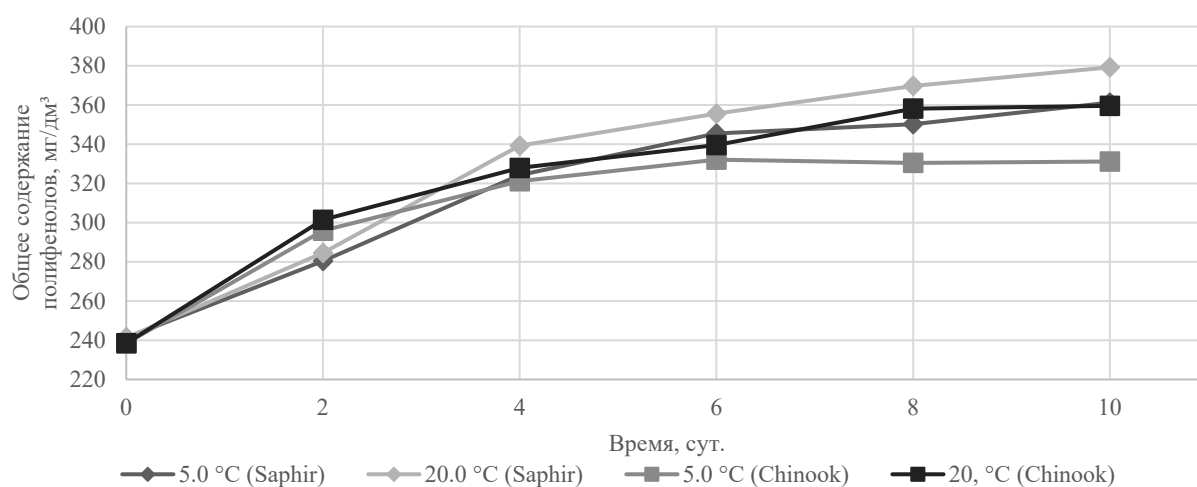


Рисунок 4.7 – Изменение общего содержания полифенолов при 5 и 20 °С

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



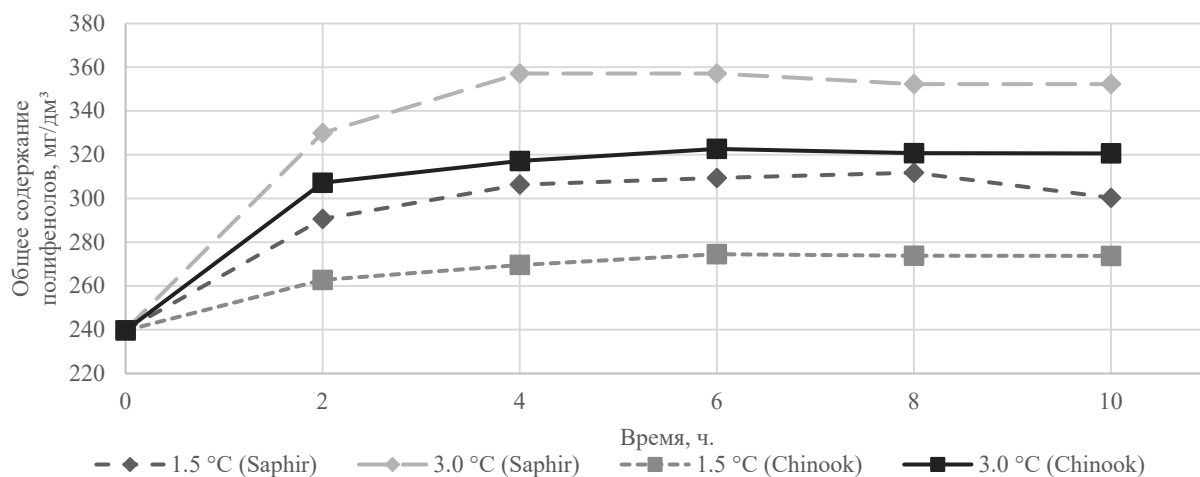


Рисунок 4.8 – Изменение общего содержания полифенолов при 1,5 и 3,0 °С

Таким образом, уровень полифенолов хмеля, экстрагированных в пиво во время сухого охмеления, зависит от разновидности хмеля. Максимальное процентное увеличение (на 34 %) в общем содержании полифенолов для пива, охмеленного с Chinook при 20 °С после 10 дней было ниже наблюдаемого увеличения с хмелем Saphir через 24 ч сухого охмеления (38 %). Максимальное увеличение общего содержания полифенолов при 5 °С для сорта Chinook составило 15 %, что менее выражено, чем для сорта Saphir (30 %).

#### *Влияние сухого охмеления на физико-химические показатели пива*

Температура оказывает значительное влияние на значение рН готового пива, отмечали более выраженное увеличение рН при температуре 1,5 и 3,0 °С, чем при 5 и 20 °С для двух сортов хмеля, применяемых в исследовании (рис. 4.9 и 4.10).

Полученный результат является важным при получении продукта стабильного качества, так как на интенсивность воспринимаемой горечи может влиять рН пива [96]. Также это позволяет сохранять изо- $\alpha$ -кислоты во время хранения пива, так как эти соединения менее подвержены деградации при более высоком значении рН [100].

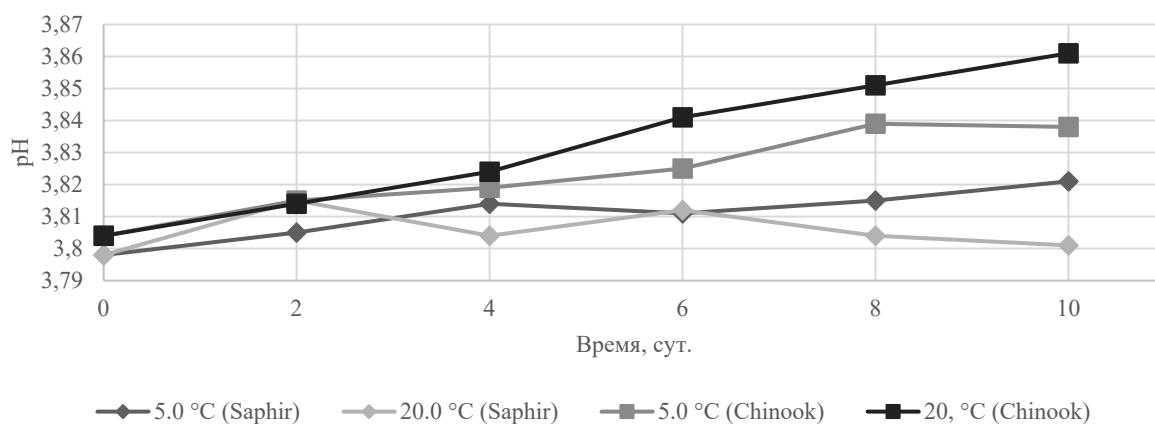


Рисунок 4.9 – Изменение рН пива при 5 и 20 °С

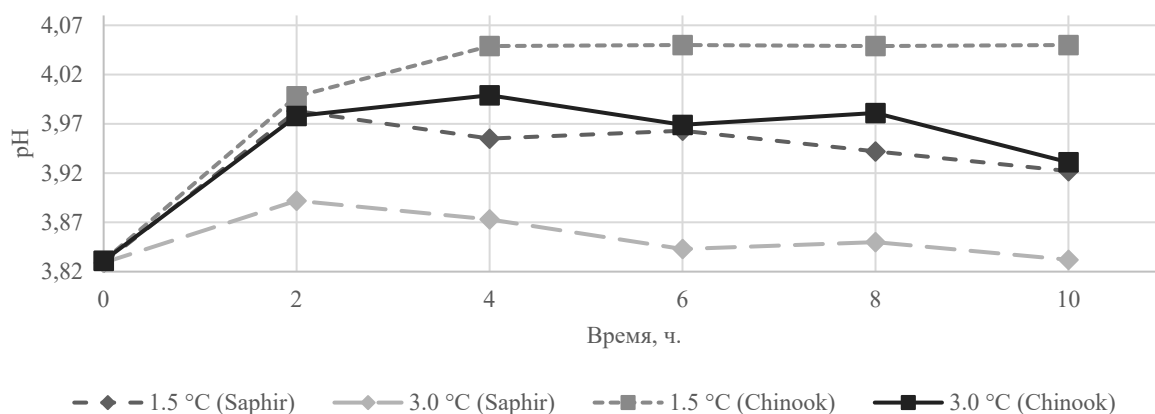


Рисунок 4.10 – Изменение рН пива при 5 и 20 °С

При реализации сухого охмеления наблюдали снижение концентрации сухих веществ в пиве и соответствующее увеличение содержания этанола в большей степени при более высокой температуре, для двух сортов хмеля (рис. 4.11 и 4.12). При температуре выше 5 °С содержание сухих веществ снизилось примерно на 0,5 %. Полученные результаты указывают на возобновление процессов брожения, особенно при более высоких температурах при реализации процесса сухого охмеления. Возможно, данное явление связано с внесением хмеля, углеводные компоненты которого могут служить источником питания для возобновления жизнедеятельности дрожжей.

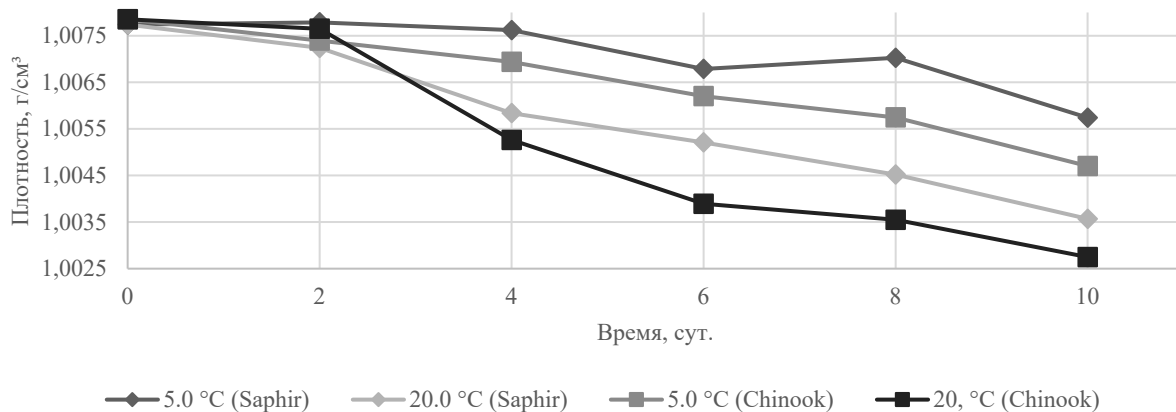


Рисунок 4.11 – Измеренная плотность пива при 5 и 20 °С

Известно, что хмель содержит приблизительно 2 % моносахаридов [4], которые потенциально могут диффундировать в пиво при реализации процесса сухого охмеления (в зависимости от величины объемной доли этанола в пиве и расхода хмеля) и использоваться дрожжами для синтеза дополнительного количества этанола.

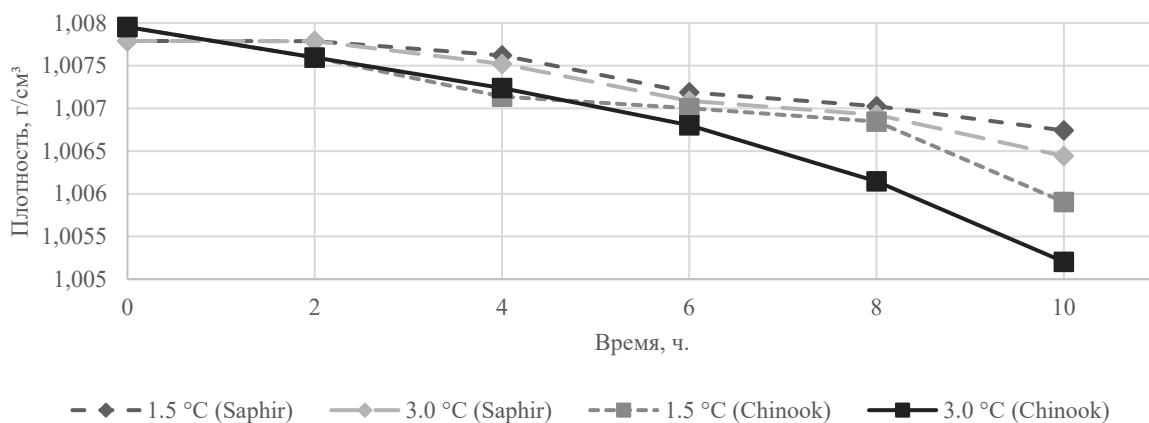


Рисунок 4.12 – Измеренная плотность пива при 1,5 и 3,0 °С

Исходя из содержания моносахаридов в хмеле, проведение сухого охмеления с расходом хмеля 20 г./дм<sup>3</sup> может добавить около 0,4 г низкомолекулярных углеводов на 1 дм<sup>3</sup> пива [98].

*Изменение концентрации горьких кислот в хмелевой дробине*

Потери изо- $\alpha$ -кислот на заключительных этапах производства пива обусловлены, главным образом, их адсорбцией на отработанном хмеле, используемом для сухого охмеления [94]. Методом ВЭЖХ установлено, что примерно 15–25 % исходного содержания  $\alpha$ -кислот остается в отработанном хмеле после 14 сут сухого охмеления в исследуемых условиях, причем значение может варьироваться в зависимости от конкретных условий процесса сухого охмеления (температура, продолжительность, содержание  $\alpha$ -кислот, статическая или динамическая схема процесса и т. д.).

Средние значения общего содержания полифенолов для хмелей сортов Chinook и Saphir до охмеления – 282 и 252 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 4.1). В отработанном хмеле, после сухого охмеления при 20 °С, ПФ составило 144 и 112 мг/дм<sup>3</sup> (то есть снижение на 49 и 56 % для Chinook и Saphir соответственно).

После охмеления при 5 °С общее содержание полифенолов в хмелевой дробине для Chinook и Saphir составило 205 и 162 мг/дм<sup>3</sup> – произошло снижение на 27 и 36 % соответственно. При 20 °С наблюдалось бóльшее сокращение содержания ПФ в отработанном хмеле, чем при 5 °С для двух сортов хмеля. Данное обстоятельство дополнительно подчеркивает значительное влияние температуры на переход полифенолов хмеля и связанных с ними соединений в пиво.

Таблица 4.1 – Содержание полифенолов для хмелей сортов Chinook и Saphir в ходе сухого охмеления

Сорт хмеля	Температура, °С	ПФ мг/дм <sup>3</sup>	% потерь
Chinook	–	282	–
Saphir		252	–
Chinook	5	205	27
	20	143	49
Saphir	5	162	36
	20	112	56
Chinook	1,5	199	29
	3,0	185	34
Saphir	1,5	201	20
	3,0	189	25

Таким образом, примерно 50 % от первоначального содержания полифенолов хмеля остается в хмелевой дробине, которую рассматривают в качестве отходов пивопроизводства. Однако, содержание ПФ и  $\alpha$ -кислот в отработанном хмеле позволяет применять хмелевую дробину повторно, использовать при варке последующей партии сусла.

Гумулиноны – важные соединения с точки зрения получения пива со стабильным вкусо-ароматическим профилем, так как интенсивность горечи зависит прежде всего от концентрации данных соединений в пиве после сухого охмеления. Концентрации гумулинонов во многом зависят от сорта хмеля и температуры – сухое охмеление хмелем с высоким содержанием  $\alpha$ -кислот при более высокой температуре (20 °С) привело к более высоким концентрациям этих соединений по сравнению с проведением процесса при 1,5–5 °С и использовании хмеля с меньшим содержанием  $\alpha$ -кислот.

Потери изо- $\alpha$ -кислот в процессе сухого охмеления происходят из-за их адсорбции на частицах хмелевой дробины. Снижение концентрации изо- $\alpha$ -кислот в наибольшей степени наблюдали после 24 ч (4 часов для процесса в установке) сухого охмеления при проведении процесса в изучаемых температурных интервалах. Значительное увеличение концентрации  $\alpha$ -кислоты в процессе сухого охмеления наблюдали в пиве с высоким содержанием  $\alpha$ -кислот и при более высокой температуре 20 °С. Общее содержание полифенолов в пиве значительно возросло после 24 ч сухого охмеления для двух сортов хмеля при заданных температурах. Установлено, что скорость извлечения полифенолов зависит от температуры сухого охмеления и сорта хмеля. Так, бóльшую степень извлечения полифенолов отметили в пиве при 20 °С для двух сортов хмеля. Важно отметить, что сухое охмеление оказывает влияние на основные физико-химические показатели образцов. Наблюдали увеличение рН, снижение содержания сухих веществ в пиве, увеличение содержания этанола в процессе сухого охмеления для двух сортов хмеля.

Изменения в значениях крепости и массовой доли сухих веществ были выше при более высокой температуре, что, вероятно, связано с наличием взвешенных частиц дрожжей в пиве, которые способны вновь инициировать процесс брожения. Следовательно, присутствие дрожжевых клеток в пиве в процессе сухого охмеления может иметь последствия для неконтролируемого изменения вкуса пива, помимо оттенков, которые были сформированы под действием соединений хмеля. Обязательно следует осуществлять мониторинг показателей пива (рН, содержание алкоголя и т. д.) во время и после проведения процесса сухого охмеления.

Выявили возможность использования хмелевой дробины после сухого охмеления в варочном цехе для сокращения количества отходов в процессе пивоварения и для решения возникающих проблем с поставками хмеля, вызванных повышенным спросом.

#### **4.2 Переход ароматических соединений хмеля в пиво при реализации сухого охмеления**

Определяли эффективность перехода горьких и ароматических компонентов хмеля в пиво и изменение их концентрации в процессе хранения образцов пива, изготовленных методом сухого охмеления.

На экспериментальной пивоварне «П.И.Н.Т.А. КРАФТ» были изготовлены пять образцов светлого пива верхового брожения с экстрактивностью начального сусла 11.0–11.5 %. Сусло кипятили в течение 90 минут, расход хмеля был рассчитан на значение 23 IBU. Использовался хмель Hallertaur Magnum (содержание кислоты  $\alpha$  11 %, содержание кислоты  $\beta$  5 %, содержание когумуллона 21 % от количества  $\alpha$  кислоты, эфирные масла 1,6 мг/100г сухого вещества хмеля). Дозировка хмеля составляла 190 г./гл, с интервалами внесения 10, 30 и 50 минут кипячения).

Главное брожение осуществляли в течение 8 сут при 15 °С, созревание – 14 сут при 3 °С, хранение – в течение 21 сут при 0–2 °С.

Для сухого охмеления применяли четыре ароматических сорта хмеля – Chinook, Cascade, Amarillo и Saphir, в таблице 4.2 приведено количество хмеля различных сортов, рассчитанное на основе их эфирных масел. Для контрольного образца не использовалась обработка сухим охмелением.

Процесс сухого охмеления проводился динамически на экспериментальной установке (см. раздел 4.1)

Таблица 4.2 – Расчетное количество хмеля для сухого охмеления

Сорт хмеля	Содержание эфирных масел, см <sup>3</sup> /100 г. СВ	Расход хмеля, г/гл
Amarillo	1,6	90
Cascade	1,5	105
Saphir	1,7	80
Chinook	2,5	75

Содержание  $\alpha$ - и  $\beta$ -кислот в хмеле определяли методом ЕВС. Общее содержание полифенолов контролировали газохроматографическим методом. Количество низкомолекулярных полифенолов определяли методом ВЭЖХ [5] (табл. 4.3). Подготовка образцов включала экстракцию образцов ацетоном и очистку гексаном.

Таблица 4.3 – Компонентный состав образцов хмеля

Показатель	ед. изм.	Amarillo	Cascade	Saphir	Chinook
$\alpha$ -кислоты	% СВ	9,2	4,5	3,5	15,0
$\beta$ -кислоты	% СВ	6,4	5,7	5,5	3,5
$\beta/\alpha$	–	0,70	1,27	1,57	0,23
когумулоны	% отн.	21,0	36,5	14,5	29,0
сумма полифенолов (ПФ)	% СВ	3,8	3,4	3,1	2,8
сумма полифенолов/ $\alpha$ -кислоты	–	0,47	0,76	0,86	0,17
низкомолекулярные полифенолы	% СВ	0,61	0,85	0,78	0,68
низкомолекулярные ПФ/сумма ПФ	% отн.	16,0	25,0	25,2	24,3
сумма эфирных масел	см <sup>3</sup> /100 г.	1,6	1,5	1,7	2,5

Сорта хмеля были условно классифицированы как горько-ароматические. В сорте Chinook было отмечено более высокое содержание  $\alpha$ -кислот (15 %) и более низкое содержание общих (2,8 %) и низкомолекулярных (0,68 %) полифенолов.

Для каждого вида хмеля наблюдался широкий диапазон различий в содержании низкомолекулярных полифенолов (мг/100 г) по сравнению с контролем (табл. 4.4).

Таблица 4.4 – Содержание низкомолекулярных полифенолов

Компонент	Контроль	Amarillo	Cascade	Saphir	Chinook
катехин	32	274	55	83	79
кверцетин	59	147	84	148	181

Количественное определение ароматических веществ хмеля проводилось с помощью газовой хроматографии [5] после разделения эфирного масла на углеводородную и кислородную фракции. Количественное содержание основных компонентов эфирных масел представлено в таблице ниже.

Таблица 4.5 – Ароматические соединения хмеля, мкг/дм<sup>3</sup>

Компонент	Контроль	Amarillo	Cascade	Saphir	Chinook
мирцен	169	824	752	899	2253
$\beta$ -кариофиллен	75	44	27	48	275
фарнезен	3	19	128	4	3
$\alpha$ -гумулен	265	139	26	139	732
линалоол	7	5	4	6	8
гераниол	1	12	7	2	4

Самое низкое содержание линалоола наблюдалось в хмеле Cascade, но разница не была выраженной по сравнению с другими хмелями и контролем. Содержание  $\alpha$ -гумулена снижено в Cascade. Chinook содержит большее количество мирцена,  $\beta$ -кариофиллена и  $\alpha$ -гумулена по сравнению с контролем, при этом максимальное количество фарнезена в хмеле Cascade примерно в 40 раз выше, чем в контрольном образце. Максимальное количество гераниола наблюдалось в Amarillo и Cascade.

Следует отметить, что линалоол, который используется в качестве одного из основных маркеров хмелевого аромата в пиве [117, 124, 129] является наименее значимым при сравнении образцов. Поэтому можно сделать вывод, что количественное содержание линалоола не является основным параметром для оценки сорта и расхода хмеля, необходимого в процессе сухого охмеления.



Были протестированы четыре образца пива, приготовленного с использованием сухого охмеления, а в качестве контроля было выбрано стандартное пиво. Результаты представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Физико-химические характеристики образцов охмеленного пива

Показатель	ед. изм.	Контроль	Amarillo	Cascade	Saphir	Chinook
экстрактивность начального сусла	% мас.	11,56	11,59	11,31	11,69	11,81
объемная доля этанола	%	4,62	4,64	4,52	4,68	4,72
pH	ед. pH	4,46	4,45	4,45	4,50	4,55
величина горечи	IBU	25	28	26	26	29
изо- $\alpha$ -кислоты	мг/дм <sup>3</sup>	22,7	21,4	21,6	22,7	20,4
$\alpha$ -кислоты	мг/дм <sup>3</sup>	2,8	6,4	3,4	3,1	6,6
полифенолы	мг/дм <sup>3</sup>	201	227	219	221	215

Незначительные отклонения в начальной плотности, содержании этанола, значениях pH и изо- $\alpha$ -кислот показывают хорошую воспроизводимость результатов. Единицы горечи умеренно увеличиваются по сравнению с контрольным образцом. Содержание  $\alpha$ -кислот в среднем на 3 мг/дм<sup>3</sup> выше, чем в контроле.

Наблюдалось увеличение количества катехина и кверцетина по сравнению с контролем, данные представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Содержание катехина и кверцетина в исследуемых образцах, мг/дм<sup>3</sup>

Вещество	Контроль	Amarillo	Cascade	Saphir	Chinook
катехин	6,4	6,9	7,3	7,0	6,7
кверцетин	1,2	1,6	2,0	1,8	1,3

Количественное содержание ароматических компонентов оценивалось методом газовой хроматографии с использованием ГХ «Хромос-2000» [5]. Значительное увеличение содержания ароматических соединений было обнаружено в пиве после сухого охмеления (табл. 4.8). Пороговое значение содержания линалоола в пиве было превышено даже в контрольном образце (хмель с содержанием эфирного масла 1,6 мг/100 г СВ хмеля был добавлен во время варки сусла).

Содержание гераниола было самым высоким в образцах с сухим охмелением, концентрация мирцена также превышала пороговое значение. Пороговые значения для эфирных масел, о которых сообщается в литературе, составляют от 1 до 164 мкг/дм<sup>3</sup> [39, 88]. Поэтому можно предположить, что пороговые значения для эфирных масел сухого хмеля также находятся в аналогичном диапазоне (табл. 4.8).

Таблица 4.8 – Содержание ароматических веществ в образцах пива, мкг/дм<sup>3</sup>

Вещество	Контроль	Amarillo	Cascade	Saphir	Chinook
линалоол	39	86	77	101	74
гераниол	4	52	45	37	41
мирцен	2,5	10,8	9,1	26,7	21,1
$\beta$ -кариофиллен	1,5	1,7	1,5	1,3	1,8
$\alpha$ -гумулен	3,9	4,3	4,6	5,5	8,2

*Оценка эффективности перехода компонентов хмеля в пиво при сухом охмелении*

Для оценки эффективности перехода  $\alpha$ -кислот ( $E$ ) из хмеля в пиво при сухом охмелении применяли расчет по следующей формуле:

$$E = (\alpha_b - \alpha_c) / \alpha_h,$$

где  $E$  – эффективность перехода  $\alpha$ -кислот, % отн.;  $\alpha$  – концентрация  $\alpha$ -кислот (мг/дм<sup>3</sup>) для  $b$  – образцов пива,  $c$  – контроля и  $h$  – хмеля (см. табл. 4.9).

Таблица 4.9 – Определение эффективности перехода  $\alpha$ -кислот

Показатель	ед. изм	Amarillo	Cascade	Saphir	Chinook
расход хмеля (сухое охмеление)	г/гл	90	105	80	75
$\alpha_h$	мг/дм <sup>3</sup>	82,8	47,3	28,0	69,0
$\alpha_b$	мг/дм <sup>3</sup>	6,4	3,4	3,1	6,6
$E$	% отн.	4,3	1,3	1,1	5,5

Полученные значения эффективности перехода  $\alpha$ -кислот находятся в диапазоне от 1,1 до 5,5 %. Исходя из величины погрешности измерений  $\pm 1,0$  % можно сделать вывод о том, что значения существенно не различаются.

Полученные значения по содержанию  $\alpha$ -кислот более чем в два раза превышают значение в контрольном образце (2,8 мг/дм<sup>3</sup>). Повышенное содержание не изомеризованных  $\alpha$ -кислот, как известно, оказывает положительное влияние на качество пены и может также улучшить стабильность вкуса путем образования комплексных соединений с ионами железа [10, 126, 127].

В таблице 4.10 приведены значения эффективности перехода полифенолов и представлена информация об общем количестве полифенолов, сумме низкомолекулярных полифенолов и ароматических веществах.

Таблица 4.10 – Эффективность перехода полифенолов, % отн.

Компонент / Группа соединений	Контроль	Amarillo	Cascade	Saphir	Chinook
сумма ПФ	52	62	41	51	90
катехин	117	135	99	87	308
кверцетин	106	117	94	81	100

Таким образом, несмотря на низкие значения величины рН и температуры хранения пива наблюдали достаточно высокую эффективность перехода полифенолов из хмеля в пиво (в диапазоне 50–60 %). Можно отметить более высокую степень экстрагирования низкомолекулярных полифенолов катехина и кверцетина, причем, катехин переходит в пиво практически полностью. Однако высокая степень растворимости некоторых низкомолекулярных полифенолов может иметь как положительные, так и отрицательные стороны для качества готового пива: соединения могут образовывать комплексные соединения со средне- и высокомолекулярными белковыми веществами и усиливать склонность пива к образованию помутнений. С другой стороны, не окисленные полифенолы оказывают положительное влияние на полноту вкуса, а также вкусовую стабильность пива [128].

Исследовали эффективность перехода в пиво основных ароматических компонентов хмеля, результаты приведены в таблице 4.11. Стоит выделить эффективность перехода линалоола – в среднем около 100 % для всех образцов.

В отношении гераниола у двух образцов эффективность перехода составила около 50 %, а других – значительно выше 100 %. Это связано с тем, что гераниол генерируется из соединений-прекурсоров благодаря воздействию ферментативного комплекса дрожжевых клеток [127]. Возможно, что в зависимости от сорта хмеля в нем в различных количествах содержатся терпеновые спирты, которые могут участвовать в реакциях, катализируемых ферментами дрожжевых клеток.

Таблица 4.11 – Эффективность перехода некоторых ароматических веществ из хмеля в пиво при сухом охмелении, % отн.

Вещество	Amarillo	Cascade	Saphir	Chinook
линалоол	111	100	102	106
гераниол	49	49	178	138
мирцен	0,1	0,1	0,3	0,2
$\beta$ -кариофиллен	0,6	–	–	0,02
$\alpha$ -гумулен	1,9	0,2	0,1	0,2

Показатели перехода терпеновых углеводородов очень низкие: мирцен (0,2 %),  $\beta$ -кариофиллен (менее 1 %) и  $\alpha$ -гумулен (менее 1 %).

Сложность оценки эффективности перехода соединений заключается в том, что процессы, катализируемые ферментами в дрожжевых клетках, очень разнообразны: в частности, метиловые эфиры хмеля превращаются в этиловые эфиры, терпеновые спирты, такие как линалоол, гераниол, альтернативно превращаются друг в друга [39, 127]. Процессы зависят от многих параметров, таких как штамм дрожжей, количество дрожжевых клеток, температура пива и время, в течение которого дрожжевые клетки находятся в контакте с пивом.

#### *Исследование образцов пива после хранения*

Образцы пива хранились в стеклянных закупоренных бутылках в темном помещении в течение 100 дней при температуре окружающей среды ( $20 \pm 1$  °C), после чего был проведен анализ компонентов хмеля. Существенной разницы в снижении качества пяти сортов пива обнаружено не было, поэтому ароматические соединения были определены количественно до и после хранения образцов.

Содержание терпеновых спиртов гераниола и линалоола во время хранения увеличилось в среднем на 48 мкг/дм<sup>3</sup> (табл. 4.12).

Таблица 4.12 – Количественное содержание ароматических компонентов хмеля в свежем и выдержанном пиве

Вещество	Свежее пиво, мкг/л	Выдержанное пиво, мкг/дм <sup>3</sup>	Изменение, % отн.
линалоол	76,6	92,4	+21
гераниол	36,0	69,0	+92
мирцен	14,0	3,4	-76
$\beta$ -кариофиллен	1,7	0,9	-47
$\alpha$ -гумулен	5,3	2,9	-45

Содержание эфиров в пиве во время хранения снижается в среднем на 50 % и более. Это может быть связано с присутствием в нефилтрованном пиве дрожжевых ферментов, которые остаются активными до тех пор, пока не будут инактивированы, например, пастеризацией перед розливом. Возможно также, что происходят реакции переэтерификации этиловых эфиров и химические реакции неферментативного характера. [39, 95, 127]. Снижение концентрации мирцена,  $\beta$ -кариофиллена,  $\alpha$ -гумулена также можно объяснить адсорбцией на поверхности пробок. [10].

Очевидно, что из-за таких интенсивных изменений ароматических компонентов пива в процессе хранения, сенсорная оценка готового продукта также будет подвержена изменениям. Это относится как к интенсивности горечи, так и к типу и качеству хмелевого аромата. [129].

#### *Сенсорная оценка*

Дегустация пива с сухим охмелением подразумевает трудности. Такое пиво не может быть оценено с использованием тех же сенсорных методов, разработанных для обычного пива. При оценке необходимо учитывать субъективные предпочтения. Недостаточно сравнивать только средние значения, важную роль может сыграть и распределение данных.

Перед дегустацией пять сортов пива хранились в холодильнике (+5 °С) в течение трех месяцев, а затем были продегустированы группой случайно выбранных потребителей (30 человек). Оценке подлежали следующие критерии:

- Интенсивность и качество аромата хмеля от 1 до 10
- Полнота вкуса от 1 до 10
- Качество горечи от 1 до 10

Кроме того, им было предложено дать свои личные предпочтения от 1 (наиболее предпочтительное пиво) до 5 (наименее предпочтительное пиво). В таблице 4.13 приведены средние баллы. Необходимо учитывать, что контрольный образец также был охмелен (на стадии варки) ароматическим хмелем.

Таблица 4.13 – Средние баллы сенсорной оценки пяти образцов пива с сухим охмелением

Критерии	Контроль	Amarillo	Cascade	Saphir	Chinook
Интенсивность аромата хмеля	4,3	6,5	6,3	7,2	6,2
Качество аромата хмеля	6,0	6,7	6,5	6,0	6,3
Полнота вкуса	4,4	6,0	5,8	6,1	5,9
Качество горечи	6,0	6,5	6,5	6,0	6,4
Предпочтение (среднее значение)	3,6	2,3	2,4	3,8	3,0
Предпочтение (рейтинг)	4	1	2	5	3

Результаты для полноты вкуса: контрольный образец имел значительно меньшие значения (4.4 по сравнению с усредненным 5.9) в силу того, что при сухом охмелении некоторые горькие вещества лучше растворяются в присутствии полифенолов [64].

### 4.3 Оптимизация технологических параметров процесса сухого охмеления

#### *Постановка задачи оптимизации*

Полученные на этапе экспериментальных исследований результаты позволили определить оптимальную длительность процесса охмеления, температуру и состав комбинации хмелей. Общий принцип оптимизации изображен схематично на рисунке 4.13.

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).

Разработанная и изложенная ниже методика прогноза позволяет определить следующие физико-химические показатели пива:  $c_{\Gamma}$  – концентрация гумулинонов;  $c_{\text{иак}}$  – концентрация изо- $\alpha$ -кислот;  $c_{\text{ак}}$  – концентрация  $\alpha$ -кислот;  $c_{\text{пф}}$  – общее содержание полифенолов;  $pH$  – водородный показатель (показатель кислотности);  $\rho$  – 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;  $K_{\Gamma}$  – 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;  $K_{\text{со}}$  – критерий оптимизации сенсорной оценки [130, 131]. 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:  $K_{\text{оп}}(t, T, c)$ .

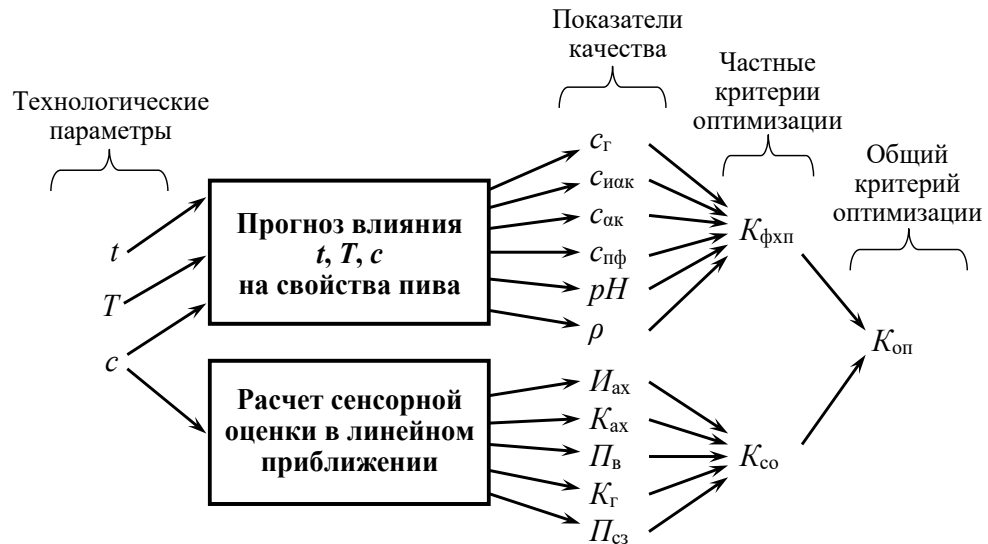


Рисунок 4.13 – Постановка задачи оптимизации технологических параметров процесса сухого охмеления

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

$$K_{он}(t, T, c) \rightarrow \max \Rightarrow t_{опт}, T_{опт}, c_{опт}; \quad (4.1)$$

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

Собранные в процессе экспериментального исследования данные позволяют получить функцию  $K_{оп}(t, T, c)$  в аналитическом виде на основе линейной и нейросетевой аппроксимаций. По известной функции  $K_{оп}(t, T, c)$  численным методом производится поиск максимума и определяются оптимальные параметры.

#### *Составление общего критерия оптимизации из частных критериев*

В соответствии с часто используемым подходом общий критерий оптимизации  $K_{оп}$  представляет собой линейную комбинацию двух частных критериев оптимизации  $K_{фхп}$  и  $K_{со}$ :

$$K_{он} = W_{фхп} \cdot K_{фхп} + W_{со} \cdot K_{со} \quad (4.2)$$

где  $W_{фхп}$  и  $W_{со}$  – весовые коэффициенты, которые могут принимать вещественные значения от 0 до 1, и  $W_{фхп}$  и  $W_{со} = 1$ .



Для использования такой комбинации частые критерии  $K_{\text{фхп}}$  и  $K_{\text{со}}$  должны быть сопоставимы, для чего ниже используются способы нормировки. Весовые коэффициенты отражают сравнительную важность физико-химической группы показателей и группы показателей сенсорной оценки в оценке качества напитка. Весовые коэффициенты определены методом экспертных оценок и составляют  $W_{\text{фхп}} = 0,5$ ,  $W_{\text{со}} = 0,5$ .

Частные критерии рассчитываются по шести ( $K_{\text{фхп}}$ ) и по пяти ( $K_{\text{со}}$ ) показателям путем линейной комбинации показателей с весовыми коэффициентами и нормировкой на характерные значения показателей:

$$K_q = \sum_{i=1}^{N_p} w_i \frac{1}{P_{i2} - P_{i1}} \begin{cases} P_i - P_{i1}, & d_i = 1; \\ P_{i2} - P_i, & d_i = -1, \end{cases} \quad (4.3)$$

где  $K_q$  – частный критерий оптимизации ( $K_{\text{фхп}}$  или  $K_{\text{со}}$ );  $i$  – номер показателя;  $N_p$  – количество показателей;  $w_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го показателя;  $P_i$  – показатели, на основе которых рассчитывается частный критерий оптимизации ( $c_{\text{г}}$ ,  $c_{\text{иак}}$ , и т. д.).  $P_{i1}$  и  $P_{i2}$  – минимальное и максимальное значения показателя  $P_i$  в экспериментальном исследовании;  $d_i$  – коэффициент благоприятной тенденции (равен 1, если необходимо добиться максимума показателя и -1, если необходимо добиться минимума показателя).

Весовые коэффициенты  $w_i$ , определенные экспертным путем и отражающие относительную важность показателей, приведены в таблицах 4.14 и 4.15 [124]. Сумма весовых коэффициентов в каждой группе равна 1.

#### *Аппроксимация экспериментальных данных*

Для определения оптимальных технологических параметров используются функции  $K_i(t, T, c)$  – зависимость физико-химических показателей  $K_i$  (в частности,  $c_{\text{г}}$ ,  $c_{\text{иак}}$ ,  $c_{\text{ак}}$ ,  $c_{\text{пф}}$ ,  $pH$ ,  $\rho$ ) от длительности  $t$  процесса сухого охмеления, температуры  $T$ , концентрации  $c$  хмеля Chinook в комбинации хмелей Saphir + Chinook.

Таблица 4.14 – Весовые коэффициенты физико-химических показателей

Показатель	Обозначение	Весовой коэффициент $w_i$ (относительная важность)	Оптимальные значения	Коэффициент благоприятной тенденции $d_i$
Концентрация гумулинонов	сг	0,20	максимум	1
Концентрация изо- $\alpha$ -кислот	сиак	0,40	минимум	-1
Концентрация $\alpha$ -кислот	сак	0,15	$2,5 \pm 0,5$	0
Общее содержание полифенолов	спф	0,15	максимум	1
Водородный показатель	pH	0,05	$4,7 \pm 0,1$	0
Плотность	$\rho$	0,05	1,0045– 1,0055	0

Таблица 4.15 – Весовые коэффициенты показателей сенсорной оценки

Показатель	Обозначение	Весовой коэффициент $w_i$ (относительная важность)	Оптимальные значения	Коэффициент благоприятной тенденции $d_i$
Интенсивность аромата хмеля	Иах	0,10	максимум	1
Качество аромата хмеля	Ках	0,25	максимум	1
Полнота вкуса	Пв	0,15	максимум	1
Качество горечи	Кг	0,25	максимум	1
Предпочтение (ср. знач.) Общая оценка	Псз	0,25	максимум	1

Ранее в работе представлены экспериментальные данные по зависимостям  $K_i(t, T, c)$ . Для каждой функции получены 24 экспериментальные точки: для шести значений длительности процесса  $t$  (0...12 ч), двух значений температуры  $T$  (1,5 и 3,0 °С) и двух значений концентрации  $c$  (0 и 1, то есть только хмель Sapphire и только Chinook).

Так как 24 экспериментальные точки расположены сравнительно редко в пространстве факторов оптимизации  $(t, T, c)$ , было принято решение использовать аналитическую аппроксимацию для того, чтобы частные критерии оптимизации  $K_i(t, T, c)$  были непрерывными функциями в пространстве  $(t, T, c)$ .

Для построения аналитических функций  $K_i(t, T, c)$  используется линейная интерполяция по переменным  $T$  и  $c$ , так как эти переменные в проведенном экспериментально исследовании принимали только два значения, а также аппроксимация радиальной нейронной сетью по переменной  $t$ , для которой экспериментально получено достаточно много (шесть) значений, позволяющих восстановить более детальную зависимость.

При расчете показателя  $K_i(t, T, c)$  в первую очередь производили линейную интерполяцию по переменной  $c$ , то есть по составу комбинированного хмеля:

$$K_i(t, T) = K_i(t, T, 0) + c [K_i(t, T, 1) - K_i(t, T, 0)], \quad (4.4)$$

где  $K_i(t, T)$  – показатель  $i$  для заданной концентрации  $c$  в комбинации хмелей Saphir и Chinook;  $K_i(t, T, 0)$  и  $K_i(t, T, 1)$  – показатель  $i$  для хмелей Saphir и Chinook.

Далее производили линейную интерполяцию данных по температуре процесса  $T$ :

$$K_i(t) = K_i(t, 1.5) + \frac{T - 1.5}{3.0 - 1.5} [K_i(t, 3.0) - K_i(t, 1.5)], \quad (4.5)$$

где 1,5 и 3,0 – значения температуры, при которых проводили эксперименты по сухому охмелению.

Для дальнейшего получения аналитической зависимости для функции  $K_i(t)$  (при заданном составе комбинации хмелей  $c$  и температуре  $T$ ) использовали радиальную нейронную сеть (глава 2).

Пример аппроксимации показателя  $c_{\text{иак}}(t)$  для сухого охмеления хмелем Chinook ( $c = 1$ ) при 1,5 °C ( $T = 1,5$ ) показан на рисунке 4.14. График аппроксимирующей функции практически проходит близко к шести экспериментальным точкам  $c_{\text{иак}j}(t_j)$ , при этом кривая является плавной, начало и конец кривой не стремятся к бесконечности (как обычно происходит при полиномиальной аппроксимации).

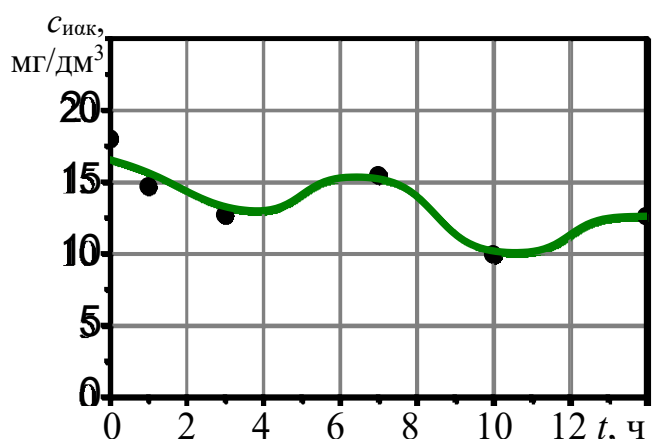


Рисунок 4.14 – Пример аппроксимации экспериментальных данных радиальной нейронной сетью: зависимость концентрации изо- $\alpha$ -кислот в процессе сухого охмеления хмелем Chinook при 1,5 °C

С использованием формул (4.4) и (4.5) получены аппроксимирующие функции не только для зависимости показателя от времени  $K_i(t)$ , но и от концентрации  $c$  в комбинации хмелей и температуры процесса  $T$ , то есть полноценные функции  $K_i(t, T, c)$ . Для примера на рисунке 4.15 приведена серия графиков функций  $c_T(t, T = 1,5 \text{ °C}, c)$ .

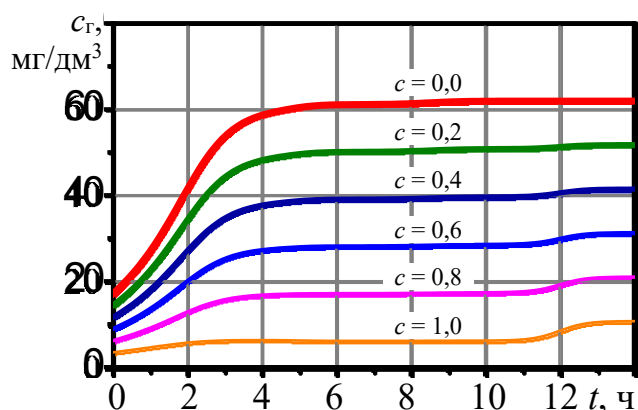


Рисунок 4.15 – Зависимость концентрации гумулинонов  $c_T$  от длительности процесса сухого охмеления при температуре 1,5 °C при использовании различных комбинаций хмелей 1- $c$  Saphir +  $c$  Chinook

Таким образом, разработанный математический аппарат – комбинация линейной интерполяции и аппроксимации радиальной нейронной сетью – позволяют получить плавные функции при изменении времени, температуры или состава хмелей, что позволяет их использовать для дальнейшего решения общей задачи оптимизации.

*Решение общей задачи оптимизации*

Разработанный выше математический аппарат позволяет определить общий критерий оптимизации  $K_{\text{оп}}(t, T, c)$  для различных комбинаций параметров  $t, T, c$ . Основной задачей оптимизации является поиск такой комбинации параметров  $t, T, c$ , при которой критерий  $K_{\text{оп}}$  принимает наибольшее значение. Для поиска максимума  $K_{\text{оп}}$  в пространстве  $(t, T, c)$  разработана компьютерная программа на языке Object Pascal в среде программирования Delphi 7 (приложение А). В программе производится поиск максимума  $K_{\text{оп}}$  численным методом – методом упорядоченного перебора с равным шагом по трем переменным. Время поиска составляет около 2 с машинного времени. По каждой переменной исследуемый диапазон разбили на 101 уровень (переменная цикла изменяется от 0 до 100). В ходе перебора переменная  $t$  изменяется от 0 до 12 часов с шагом 0,5 ч.; переменная  $T$  изменяется от 1,5 до 3,0 °С с шагом 0,15 °С; переменная  $c$  изменяется от 0,00 до 1,00 с шагом 0,01.

Оптимальная точка обычно может располагаться либо внутри исследуемой области факторного пространства, либо на границе. В данном случае точка с максимальным общим критерием  $K_{\text{оп}} = 0,679$  расположена на границе исследуемой области:  $t = 12$  ч;  $T = 3,0$  °С;  $c = 0$ . Таким образом, наилучшие физико-химические показатели и показатели сенсорной оценки достигаются при сухом охмелении хмелем Saphire в течении 12 ч при температуре 3,0 °С.

Для более детального анализа поверхности отклика построены три серии картограмм (рис. 4.16). На картограммах отмечена точка оптимума обозначением «opt».

Использование комбинации хмелей Saphir + Chinook не дает улучшение общего критерия оптимизации по сравнению с использованием только хмеля Saphir (исчезает красная и оранжевая области на рис. 4.16, б). Однако, если необходимо использовать только хмель Chinook, оптимальная длительность процесса составляет 10,5 ч (точка лежит уже не на границе диапазона); оптимальная температура составляет 3,0 °С, однако при любых температурах критерий оптимизации практически одинаков и составляет 0,514 (рис. 4.16, в).

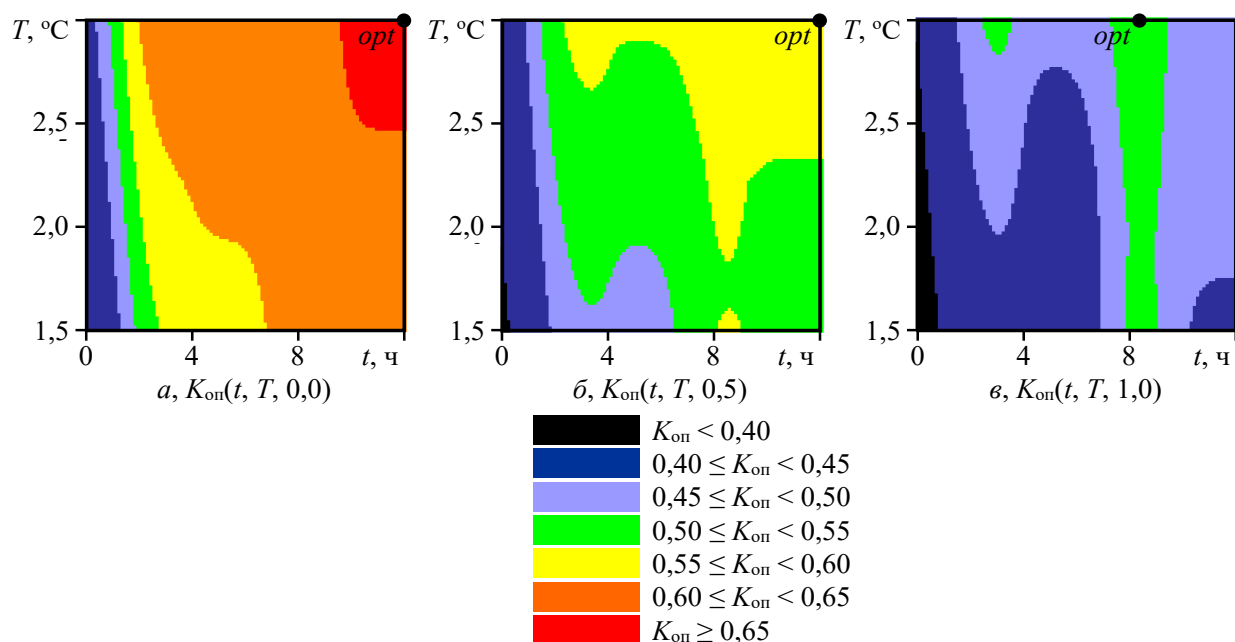


Рисунок 4.16 – Картограммы оптимизации  $K_{opt}(t, T)$  при разных концентрациях  $c$  хмеля Chinook в комбинации хмелей (1- $c$ ) Sapphire +  $c$  Chinook

При температурах ниже 3,0 °C критерий оптимизации получается незначительно ниже, чем для 3,0 °C (рис. 4.17). Так, при температурах 1,5 и 2,0 °C удается достигнуть максимального критерия оптимизации 0,623 и 0,638 соответственно при длительности процесса 8,15 (рис. 4.17, а) и 11,25 (рис. 4.17, б) часов соответственно.

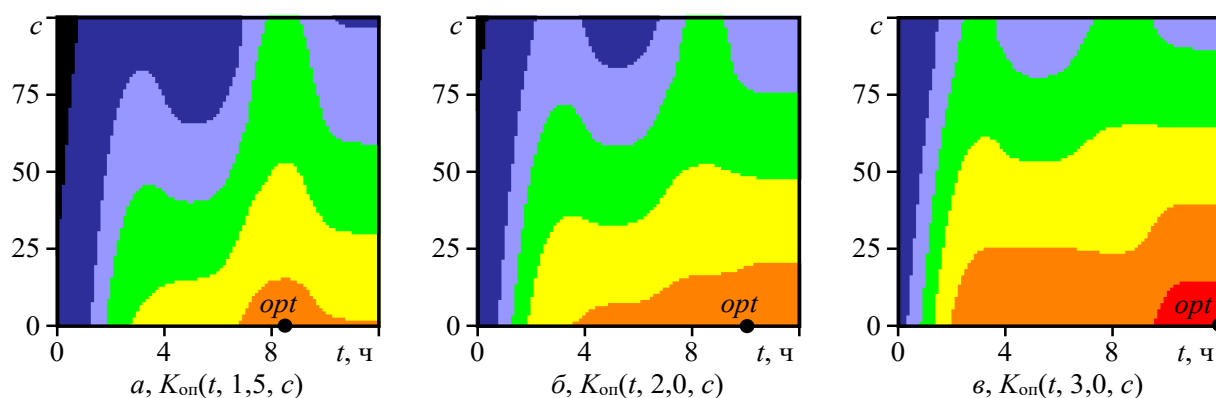


Рисунок 4.17 – Картограммы оптимизации  $K_{opt}(t, c)$  при разных температурах  $T$  процесса сухого охмеления

Даже при небольшой длительности процесса 4 часов удается достигнуть значений критерия оптимизации более 0,60 (оранжевая область на рисунке 4.18, а). Однако только при длительности процесса порядка 12 часов удается достигнуть критерия оптимизации более 0,65 (красная область на рисунке 4.18, в).

С точки зрения экономической эффективности желательно, чтобы длительность процесса сухого охмеления была минимальной при высоких показателях качества. Поэтому более подробно изучено изменение с течением времени  $t$  критерия оптимизации  $K_{\text{оп}}$ , а именно, максимального значения  $K_{\text{оп}}^{\text{M}}(t)$  среди различных температур ( $T$  от 0 до 20 °С) и различных концентраций комбинации хмелей ( $c$  от 0 до 1).

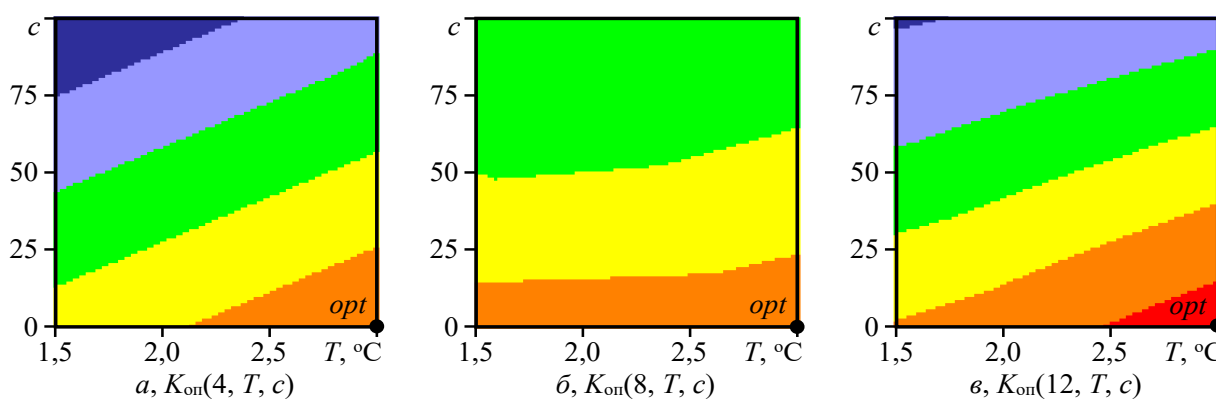


Рисунок 4.18 – Картограммы оптимизации  $K_{\text{оп}}(T, c)$  при разной длительности  $t$  процесса сухого охмеления

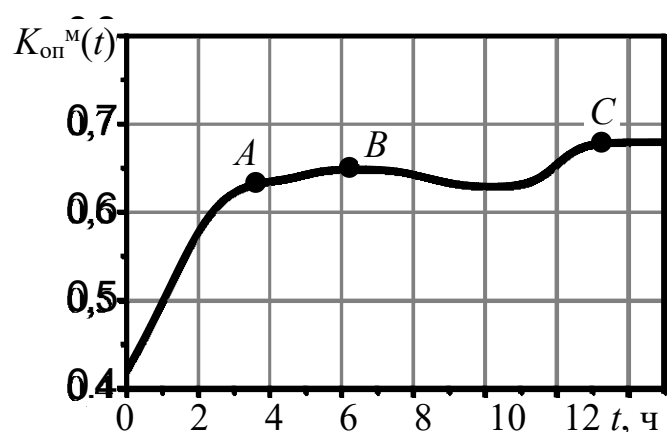


Рисунок 4.19 – Зависимость от времени  $t$  критерия оптимизации  $K_{\text{оп}}^{\text{M}}$ , максимального в диапазонах температур  $T$  от 1,5 до 3,0° и концентраций  $c$  0–1

На зависимости критерия оптимизации от времени можно выделить три характерные точки (рис. 4.19). Точка *A* – это точка наименьшей длительности процесса 3,8 ч, при которой достигается высокие показатели качества пива – критерий оптимизации равен 0,636. Благодаря такой малой длительности процесса может быть достигнут наибольший экономический эффект.

Вторая характерная точка *B* представляет собой локальную точку максимума и соответствует примерно вдвое большей длительности процесса 6,2 ч, при этом достигается больший критерий оптимизации 0,650. С точки зрения экономического эффекта в данном случае необходимо оценивать баланс между снижением производительности в 1,75 раза процесса и повышением качества на 2,2 %. Данный вариант не позволяет получить пиво заметно высокого качества, при высокой длительности, поэтому не рекомендуется для реального производства.

Третья характерная точка *C* соответствует глобальному максимуму  $K_{\text{оп}}^M = 0,679$  и требует значительной длительности процесса 13,1 ч. В таком технологическом процессе получается наиболее качественное пиво (на 6,8 % качественнее, чем для быстрого варианта *A*), однако длительность процесса существенно выше (в 3,7 раза по сравнению с вариантом *A*). Поэтому с точки зрения экономической эффективности такой вариант приемлем для производства пива премиального класса.

Таким образом, разработана методика интегральной оценки качества пива, получаемого в процессе сухого охмеления, позволившая определить оптимальные технологические параметры процесса, исследовать влияние длительности процесса, температуры и комбинации хмелей на показатели качества, а также оценить экономическую эффективность трех вариантов длительности процесса.



*Заключение к главе 4*

Определение эффективности переноса ароматических веществ во время сухого охмеления показало, что средние значения для полифенолов составляли 50–70 %, около 70 % для низкомолекулярных полифенолов. Увеличение содержания  $\alpha$ -кислот составило от 1,1 до 5,5 %. Эффективность значительно варьировалась для отдельных компонентов аромата хмеля: самая низкая эффективность преобразования (менее 1 %) была зарегистрирована для мирцена,  $\beta$ -кариофиллена и  $\alpha$ -гумулена. Для гераниола, с другой стороны, значения составляли 50 % и выше, а для линалоола – более 100 %.

Были обнаружены изменения в компонентах аромата хмеля после длительного хранения пива в стеклянных бутылках. Концентрация терпеновых спиртов (гераниол и линалоол) увеличилась в среднем на 48 мкг/дм<sup>3</sup>, содержание эфиров, напротив, снизилось на 50 % и более, что можно объяснить химическими реакциями иной природы, а также возможной адсорбцией на поверхности пробки.

Разработан математический аппарат – комбинация линейной интерполяции и аппроксимации радиальной нейронной сетью – для получения аналитических непрерывных дифференцируемых функций показателей эффективности процесса охмеления от времени, температуры и состава хмелей, что позволяет их использовать для решения общей задачи оптимизации.

Определены оптимальные технологические параметры процесса сухого охмеления: хмель Saphir, длительность процесса 12 ч, температура 3,0 °С. Использование комбинации хмелей Saphir + Chinook не дает улучшение общего критерия оптимальности по сравнению с использованием только хмеля Saphir. 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.

При небольшой длительности процесса 4 ч удается достигнуть значений критерия оптимизации более 0,60, однако только при длительности порядка 12 ч удается достигнуть критерия оптимизации более 0,65.

С точки зрения экономической эффективности возможны два варианта процесса сухого охмеления. Для получения пива обычного класса с достаточно высоким показателем качества 0,636 длительность процесса должна составлять 3,8 ч. Для получения пива премиального класса с показателем качества 0,679 (на 6,8 % качественнее, чем обычного класса) длительность процесса должна составлять 13,1 ч.

## ГЛАВА 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХМЕЛЯ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛУПРОДУКТОВ ПИВОВАРЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

С целью обеспечения контроля качества и безопасности пищевой продукции впервые были проведены исследования влияния хмеля *in vivo* на частоту аберраций клеток с помощью микроядерного теста в буккальном эпителии человека.

В результате проведенных исследований в клетках буккального эпителия были обнаружены следующие типы нарушений: клетки с микроядрами, двумя ядрами, насечками, перинуклеарными вакуолями, протрузиями типа «язык» и «разбитое яйцо», кариопикнозом, кариолизисом и кариорексисом (рис. 5.1). В таблице 5.1. приведены данные по составу образцов.

Частоты встречаемости клеточных аномалий в клетках буккального эпителия у лиц, употреблявших охмеленное и неохмеленное сусло, а также в контрольной группе в течение двух недель исследования представлены в таблице (приложение Б).

Двухфакторный дисперсионный анализ не показал влияние факторов охмеление и не охмеление сусла, а также фактора дня на индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений.

Индекс репарации показывает динамику канцерогенеза. Данное значение статистически достоверно не повышается в сравнении с контролем как в группе лиц, которые употребляли неохмеленный образец, так и в группе лиц, которые употребляли охмеленный образец.

Спустя неделю после прекращения употребления экстракта статистически достоверных изменений индекса репарации в сравнении с контролем у лиц, которые употребляли неохмеленный образец, и у лиц, употреблявших охмеленный образец, не отмечается. Индекс накопления цитогенетических нарушений используется для оценки цитогенетического статуса индивида. Данное значение статистически достоверно не повышается в сравнении с контролем как в группе лиц, которые употребляли охмеленный образец, так и у лиц, употреблявших неохмеленный образец.

Через неделю после прекращения употребления экстракта не происходит достоверных изменений индекса накопления как у лиц, употреблявших неохмеленное сусло, так и у лиц, которые употребляли охмеленное сусло.

Таблица 5.1 – Состав пивного сусла

Показатели	Значение
<b>ДО ОХМЕЛЕНИЯ – 1 и 2 группа испытателей. 2 группа – отбор в начале кипа, перед задачей хмеля.</b>	
Массовая доля сухих веществ, %	11–13
Кислотность, см <sup>3</sup> 1 моль/дм <sup>3</sup> раствора NaOH на 100 см <sup>3</sup> сусла (к.ед.)	1,5–2,8
pH	5,4–5,8
Цвет	0,8–2,0
<b>Состав экстракта сусла, в % к массе сухих веществ:</b>	
Сырая мальтоза	60–70
Декстрины	15–26
Сахароза	2–8
Пентозаны	3–4
Азотистые вещества <sup>1</sup>	3–6
Минеральные вещества	1,5–2,0
Зола: в т. ч	1,5
SiO <sub>2</sub>	0,148
CaO	0,044
MgO	0,12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,684
Инозит	0,1
Гумми-вещества	0,2
Витамины, мкг/дм <sup>3</sup> в т. ч.	
B1 (тиамин)	10–100
B2 (рибофлавин)	120–1300
B6 (пиридоксин)	300–900
Органические кислоты	200–300
<b>ОХМЕЛЕННОЕ СУСЛО (после кипячения с хмелем) 3 группа испытателей:</b>	
Горькие вещества <sup>2</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	100–180
Эфирные масла, мкг/дм <sup>3</sup>	20
Фенольные вещества <sup>3</sup>	150
<sup>1</sup> – альбумозы, пептоны, аминокислоты (пролин фенилаланин, α-аминомасляная кислота тирозин, валин), амины (метиламин, диметиламин, этиламин, изобутиламин, изоамиламин и триметиламин) тирамин, гордеин, амиды, аммиачный азот <sup>2</sup> – цис- и транс- изогумулоны, изокогумулоны и изоадгумулоны <sup>3</sup> – линалоол, фарнезен, β-кариофиллен, мирцен	

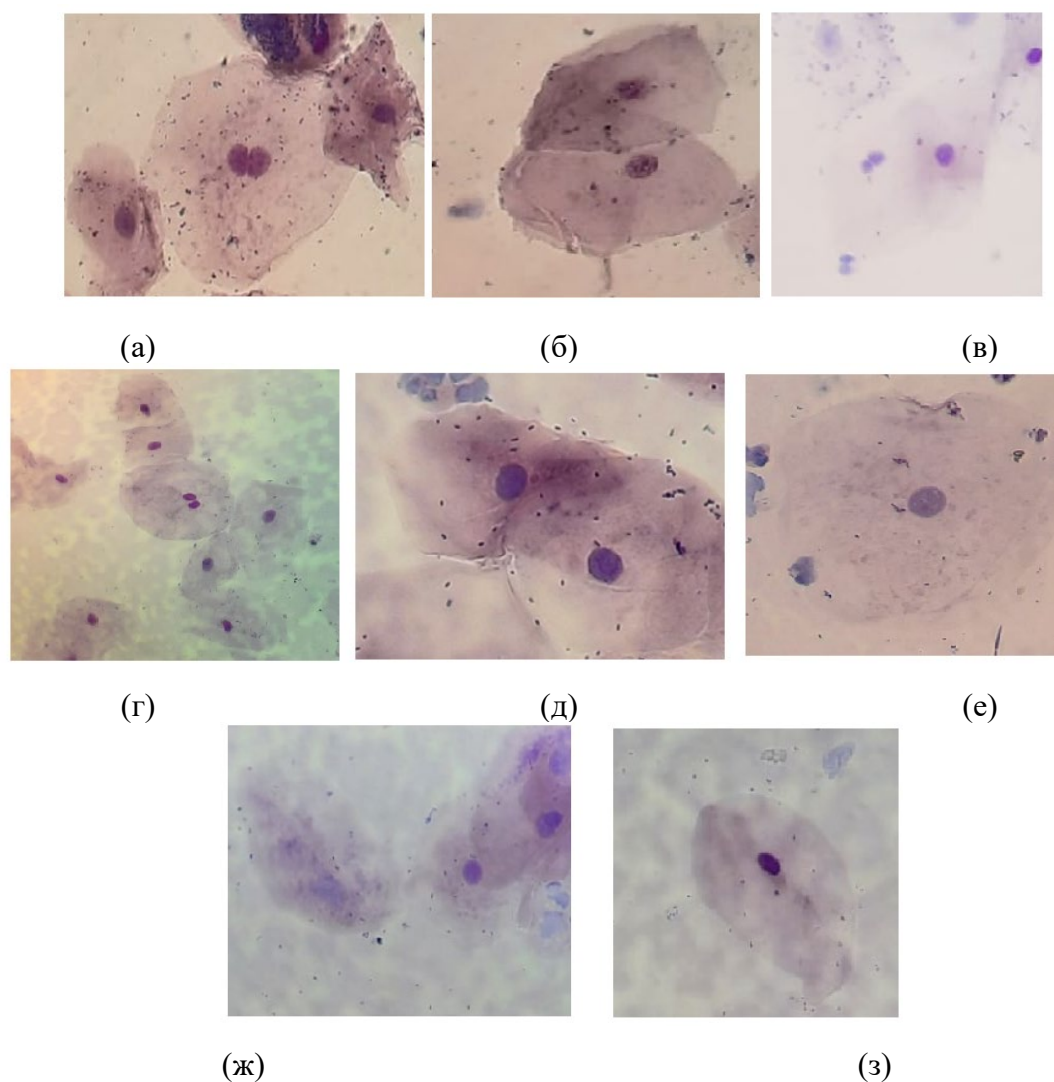


Рисунок 5.1 – Клетки буккального эпителия человека с: а) насечкой; б) кариорексисом; в) протрузией типа «язык»; г) двумя ядрами; д) микроядром; е) перинуклеарной вакуолью; ж) кариолизисом; з) кариопикнозом

Стоит отметить высокую изменчивость данного показателя (на что указывает высокие значения коэффициента вариации  $\gg 25\%$ ) у обследованных лиц (таблица, приложение Б), что может свидетельствовать о значительной гетерогенности данного показателя и разных эффектах употребляемых напитков у людей, что требует дальнейшего изучения данного феномена и выяснения его генетической и физиологической основы.

Для выявления схожести цитогенетических эффектов употребления образцов охмеленного и неохмеленного сула нами был проведен кластерный анализ полученных результатов (рис. 5.2, табл. 5.2).

Дендрограмма кластерных расстояний между сериями экспериментов, построенная на основании значений индекса репарации и индекса накопления цитогенетических нарушений (средние значения, медианы и коэффициенты вариации) в клетках буккального эпителия обследованных лиц, употреблявших охмеленное и неохмеленное сусло, а также в контрольной группе, не показало четкого выделения кластеров, что подтверждает ранее высказанную мысль о том, что образцы охмеленного и неохмеленного сусла не оказывают влияния на индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений.

Таблица 5.2– Кластерные расстояния между сериями экспериментов по употреблению обследуемыми охмеленных и неохмеленных образцов, вычисленные на основании индекса репарации и индекса накопления цитогенетических нарушений (средние значения, медианы и коэффициенты вариации) в буккальных эпителиоцитах

	1	2	3	4	5	6	7	8
2	2,587							
3	2,316	2,228						
4	3,01	4,044	4,53					
5	3,993	3,771	5,2	4,967				
6	4,962	3,353	5,114	4,196	5,235			
7	2,375	0,984	2,066	3,372	4,329	3,146		
8	3,759	2,55	4,01	4,649	4,159	4,102	2,824	
9	1,574	1,939	1,726	4,154	4,306	4,814	2,08	3,214

Обозначения (1 – контрольная группа (взятие пробы до употребления экстракта), 2 – контрольная группа (взятие пробы через неделю, в течение которой испытуемые употребляли экстракт), 3 – контрольная группа (взятие пробы спустя неделю после прекращения употребления экстракта), 4 – неохмеленная группа (взятие пробы до употребления неохмеленного сусла), 5 – неохмеленная группа (взятие пробы через неделю, в течение которой испытуемые употребляли неохмеленное сусло), 6 – неохмеленная группа (взятие пробы спустя неделю после прекращения употребления неохмеленного сусла), 7 – охмеленная группа (взятие пробы до употребления охмеленного сусла), 8 – охмеленная группа (взятие пробы через неделю, в течение которой испытуемые употребляли охмеленное сусло), 9 – охмеленная группа (взятие пробы спустя неделю после прекращения употребления охмеленного сусла).

Как следует из анализа дендрограммы, нельзя выделить отдельные кластеры, группирующие отдельные серии экспериментов, т. е. можно говорить о том, что употребление такого рода напитков не сказывается на изучаемых цитогенетических показателях клеток буккального эпителия человека.

Нами был проведен факторный анализ. Результаты факторного анализа представлены на рисунке 5.3 (табл. 5.3). Факторный анализ позволил выявить один фактор, отражающий 96,37 % дисперсии системы.

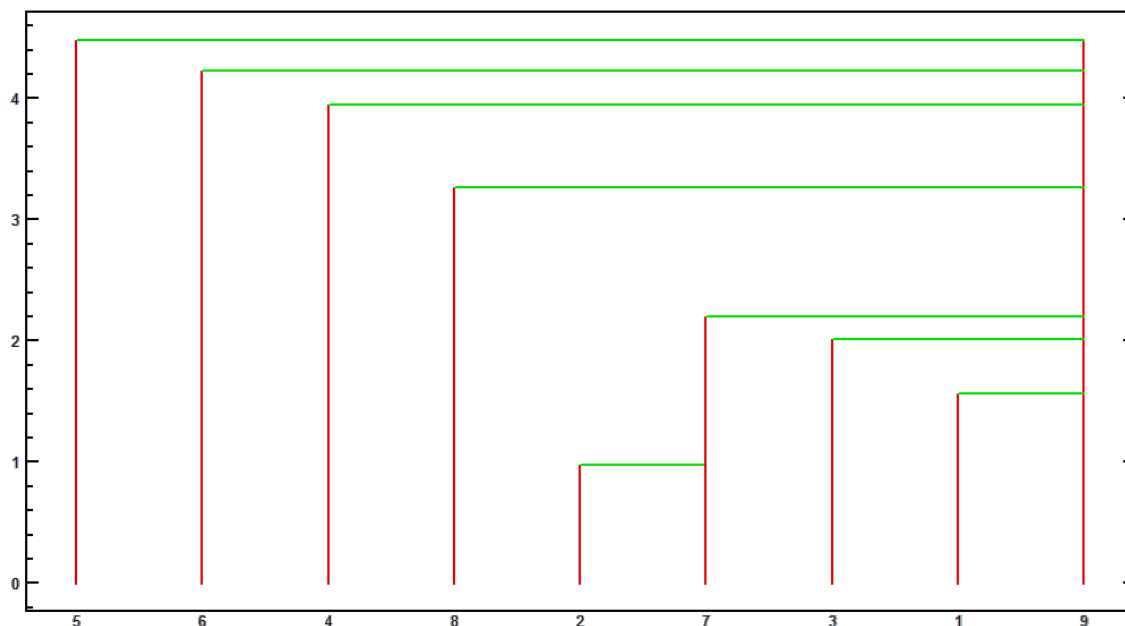


Рисунок 5.2 – Дендрограмма кластерных расстояний между сериями экспериментов по употреблению охмеленных и неохмеленных образцов.

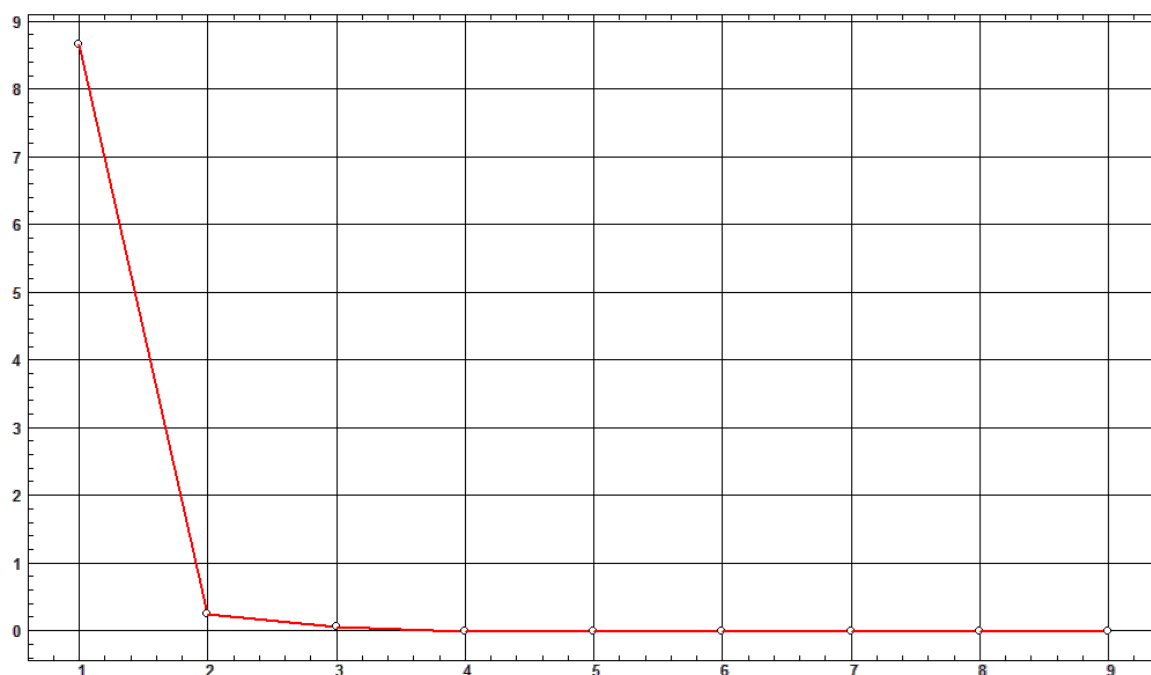


Рисунок 5.3 – График собственных значений факторов (ось Y) относительно номеров факторов (ось X).

Из рисунка 5.4 (проекции на плоскости 1 и 2 факторов) и таблицы 5.3 следует, что исследуемые дни взятия пробы не образуют хорошо различимых группировок (исходные переменные проецируются на один фактор), что позволяет интерпретировать результаты, не используя «вращение» факторов. Основной вклад в дисперсию системы признаков будет вносить фактор «специфичность изучаемых цитогенетических показателей».

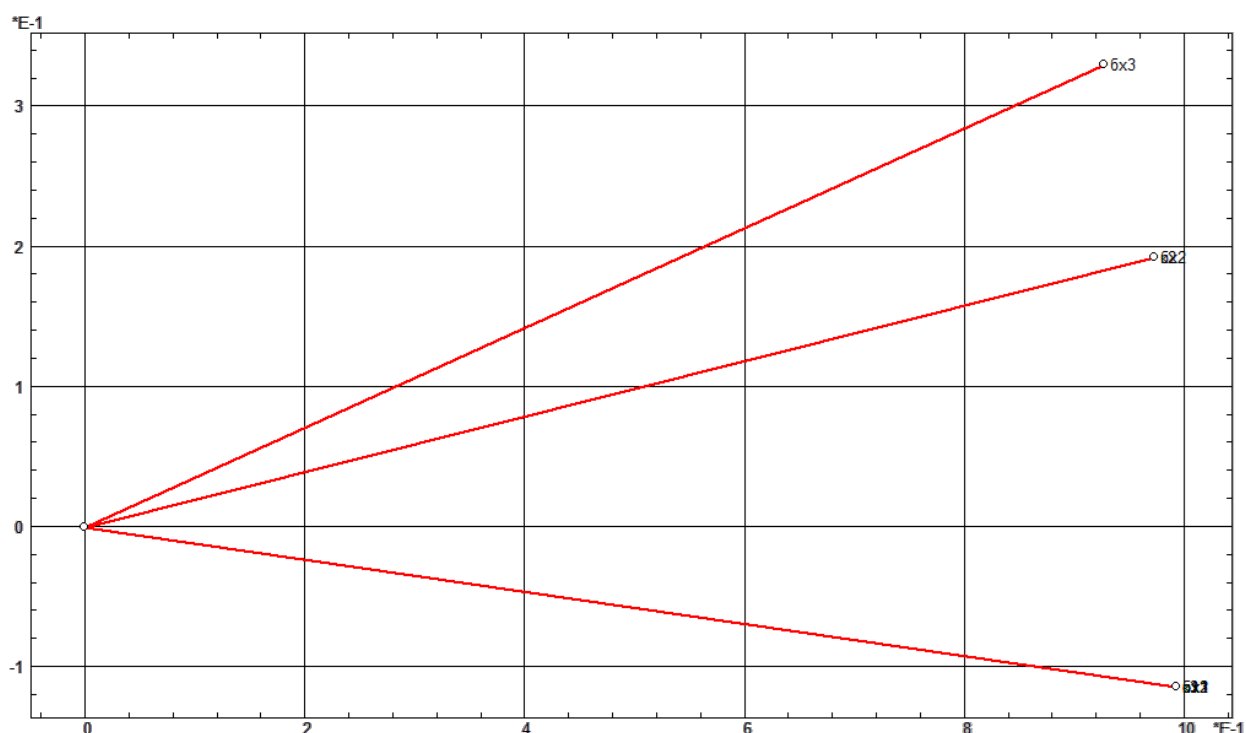


Рисунок 5.4 – Факторный анализ результатов экспериментов по влиянию употребления охмеленных и неохмеленных образцов на индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений.

Таблица 5.3 – Собственные значения и процент объясняемой дисперсии факторов

Фактор:	1	2
Собственные значения	8,674	0,261
Дисперсия, %	96,37	2,9
Накопленная дисперсия, %	96,37	99,27



*Заключение к главе 5*

Получены результаты исследования *in vivo* образцов пивного сусла с целью выявления возможного отрицательного влияния хмеля, который вносит свой вклад в увеличение экстрактивных компонентов в готовом пиве при сухом охмелении и содержит большое количество биологически активных соединений (горькие и фенольные вещества, эфирные масла), на организм человека.

Проведен анализ частот встречаемости аномалий ядра в клетках буккального эпителия у лиц, употребляющих охмеленные и неохмеленные образцы сусла, 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».

## ГЛАВА 6 ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 6.1 Реализация пивопроизводства с применением установки для сухого охмеления

Заключительным этапом работы являлось применение технических решений по модификации установки для сухого охмеления в условиях пивопроизводства.

Недостатками существующих устройств для сухого охмеления являются невысокая интенсивность извлечения ароматических соединений хмеля из-за прямого способа задачи хмеля в емкость с пивом, необходимости в отделении частиц хмеля после окончания процесса сухого охмеления [107, 132, 133], высокие энергозатраты в процессе продолжительного формирования суспензии в ходе принудительной рециркуляции и последующей фильтрации суспензии, а также регенерации фильтрующей поверхности и т. д. [134, 108]

Блок-схема производства пива по предложенной технологии с применением динамического сухого охмеления включает (рис.6.1): I – приготовление и сбраживание сусла; II – созревание, сухое охмеление; III – розлив и хранение.

Рецептура основного продукта в ассортиментной линейке пива с применением сухого охмеления приведена в таблице 6.1. Выбор сырьевых ингредиентов обоснован применением в большом количестве рецептур, доступностью, возможностью варьирования компонентного состава напитков с учетом широкого распространения в современном производстве и замены при необходимости импортозамещения.

Производство пива с применением динамического сухого охмеления включало стандартные этапы производства светлого пива: дробление солода; затирание; фильтрование затора; варка сусла с хмелем; гидроциклонная обработка сусла; задача сухих либо семенных дрожжей в танк; охлаждение сусла; брожение сусла; дображивание пива (см. Приложение Г); *сухое охмеление пива* и розлив пива.

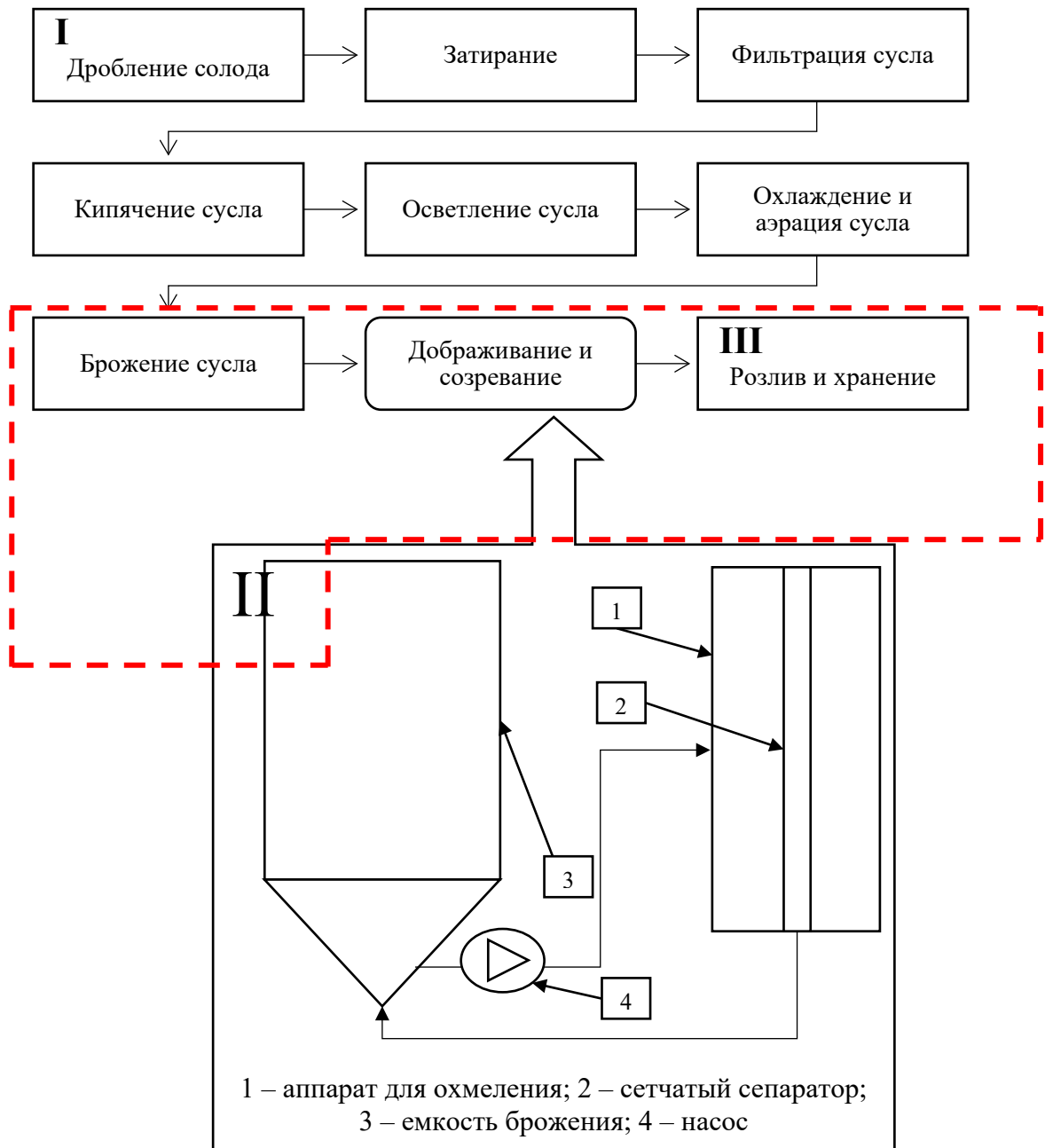


Рисунок 6.1 – Блок-схема производства пива

Таблица 6.1 – Рецептúra пива

Наименование сырья	Расход сырья на 1 л
	«Индийский пэйл эль»
Солод светлый «Пэйл эль», кг	0,225
Солод карамельный «Кристал», кг	0,002
Хмель горький «Hallertauer magnum»	0,006
Хмель гранулированный, горько-ароматный «Chinook», кг	0,0085
Хмель гранулированный, ароматный «Saphir», кг	0,07
Дрожжи пивные, кг	0,001

Проводили динамическое сухое охмеление пива с помощью установки для сухого охмеления. С помощью установки для сухого охмеления пропускали готовое пиво через слой хмеля и возвращали его в ферментатор (ЦКТ или форфас), обогащая при этом пиво ароматическими веществами, задерживая частицы хмеля внутри установки. Благодаря сухому охмелению пиво получало яркий хмелевой аромат и при этом не приобретало заметную дополнительную хмелевую горечь.

Конструкция установки для динамического сухого охмеления представлена на рис. 6.2 и включала в себя вертикальную цилиндрическую емкость 1 на роликовых опорах (общий вид см. рис. 6.3), рассчитанную на давление до 2 бар. Емкость оборудована сетчатым сепаратором 2 для удержания хмелевых гранул или шишек хмеля, тремя смотровыми диоптрами 3, предохранительным клапаном с рычагом сброса давления 4, манометром с мембранным разделителем 5, краном подачи углекислоты 6, краном входа 7 и выхода пива 8; верхним 9, средним 10 и нижним 11 кранами тангенциального входа, воздуховыпускным рычагом 12. Также установка включала емкость с пивом 13 оборудованную пивным 14, дрожжевым 15 кранами и краном углекислого газа 16. Установка снабжена трубопроводом СІР с двумя моющими головками 17, краном СІР мойки 18 и насосом 19.

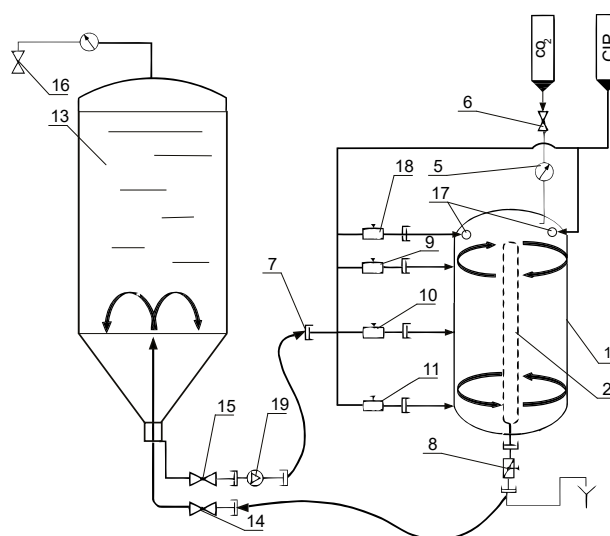


Рисунок 6.2 – Схема установки для сухого охмеления пива

В емкости 1 открывали крышку и заполняли рабочее пространство между корпусом емкости 1 и сетчатым сепаратором 2 гранулами хмеля «Saphir» тип 90  $\alpha=3,5$  % и «Chinook» согласно рецептуре (в установку возможно загружают 7 кг хмеля), герметично закрывали крышку. Соединяли с помощью шланга дрожжевой кран 15 емкости с пивом 13 с всасывающим патрубком насоса 19. Нагнетательный патрубок насоса 19 подключали к крану входа пива 7 емкости 1. Выход из емкости 1 через кран выхода пива 8 подсоединяли к пивному выходу 14 емкости с пивом 13. Через кран подачи углекислоты 6 и предохранительный клапан 4 с поднятым седлом наполняли емкость 1 углекислым газом, уравнивая давление с пивной емкостью 13. Открывали кран емкости с пивом 13 и кран входа пива 7 и начинали медленно заполнять емкость 1 пивом, стравливая избыточное давление через предохранительный клапан 4, одновременно увеличивая давление в емкости с пивом 13 через кран углекислого газа 16. При этом давление в емкости 1 поддерживали на уровне не более 2 атм. Заканчивали наполнение емкости 1 при появлении пива из крана подачи углекислого газа 6. После заполнения емкости 1 пивом, закрывали предохранительный клапан 4, открывали нижний кран тангенциального входа 11 и дрожжевой кран 15 емкости пива 13, открывали кран выхода пива 8 и кран пивного выхода 14, включали насос 19. После подъема хмеля в емкости 1 (около 5 мин), открывали средний 10 и верхний 9 краны тангенциального входа. Визуально контролировали процесс охмеления в диоптре 3. Температура пива составляла 2–2,5 °С, однако, в процессе охмеления поднималась до 3–4 °С. Процесс охмеления занимал около 8 часов, в зависимости от желаемого результата и качества сырья. После завершения охмеления выключали насос 19 и, в зависимости от степени «намытия» хмеля на сетчатый сепаратор 2, с помощью углекислого газа, медленно перекачивали пиво из емкости 1 в емкость с пивом 13, стравливая излишек давления через кран углекислого газа 16 емкости с пивом 13.

Закрывали все краны, отсоединяли насос 19 и шланги, сбрасывали давление с емкости 1 через предохранительный клапан 4 и открывали крышку емкости 1. Извлекали сетчатый сепаратор 2 и тщательно промывали емкость 1 и сетчатый сепаратор 2 от остатков хмеля. Затем помещали сетчатый сепаратор 2 обратно в емкость 1, закрывали крышку и подключали всасывающий патрубок насоса 19 к крану выхода пива 8 емкости 1, а нагнетательный патрубок к крану входа пива 7. Заливали моющий состав в емкость 1, открывали краны 8 и 17, включали насос 19 и осуществляли промывку [135].

Охмеленное пиво выдерживали в бродильном танке 3–5 суток для повторного осветления и отправляли на розлив.

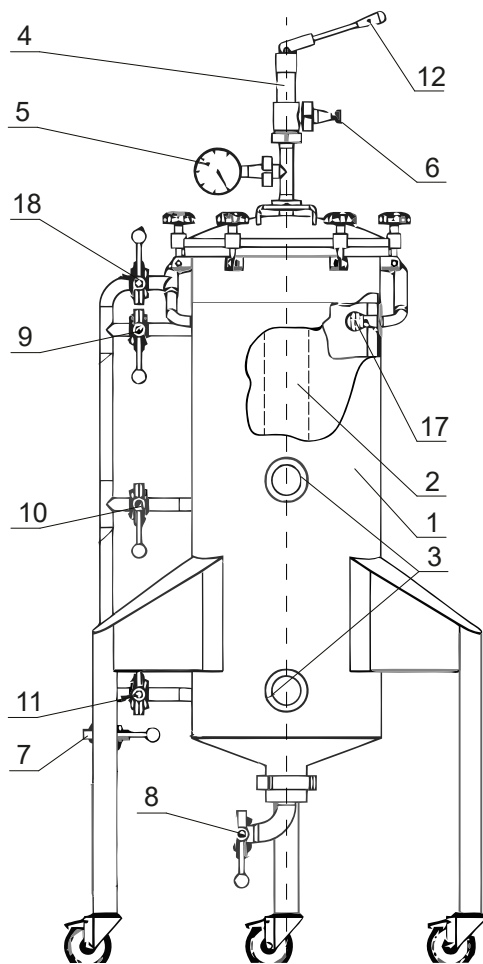


Рисунок 6.3 – Общий вид устройства для сухого охмеления:

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.

Пиво разливали при температуре от +2 до + 5 °С в кеги и другие виды тары, разрешенные к применению.

Органолептические и основные физико-химические показатели готовых образцов приведены в табл. 6.2 и табл. 6.3.

Таблица 6.2 – Органолептические показатели пива

Показатель	Характеристика и норма для пива непастеризованного
	«Индийский Пэйл эль»
Внешний вид:	Непрозрачная или прозрачная с опалесценцией пенящаяся жидкость без посторонних включений, не свойственных пиву. В процессе хранения допускается появление частиц белково-дубильных соединений. Допускается дрожжевой осадок
Аромат	Сброженный солодовый, с выраженным хмелевым ароматом, допускается дрожжевой оттенок, без посторонних запахов
Вкус	Сброженный солодовый, с хмелевой горечью, допускается дрожжевой привкус

Таблица 6.3 – Характеристика физико-химических показателей образцов пива и показателей безопасности

Показатель, ед. изм.	Характеристика и норма для пива непастеризованного
	«Индийский пэйл эль»
Экстрактивность начального сусла, %	13,0 ± 0,3
Объемная доля спирта, %	4,9 ± 0,5
Кислотность, к. ед.	2,6–3,2
Цвет, ц. ед.	1,4–1,8
Высота пены, мм, не менее	40
Пеностойкость, мин	3
Массовая доля CO <sub>2</sub> , %, не менее	0,40
Энергетическая ценность, ккал/кДж в 100г пива	46/218
Углеводы, г в 100г пива, не более	4,7

Показатели безопасности (по ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», приложение 3, п. 8 (табл. 3), приложение 1, приложение 2, п. 1.7)

Показатель	Допустимые уровни, не более мг/кг
Токсичные элементы:	0,3
Свинец	0,03
Кадмий	0,2
Мышьяк	0,005
Ртуть	
N-нитрозамины	0,003
Токсичные элементы:	0,3

Наименование продуктов	КОЕ/см <sup>3</sup> , не более		Масса / Объем продукта, в которых не допускается	
	КМАФАнМ	Дрожжи и плесени	БГКП (г/см <sup>3</sup> )	Патогенные, в т. ч. сальмонеллы (г)
Пиво разливное	–	–	1,0	25,0
Пиво непастеризованное – в кегах	–	–	3,0	25,0

## 6.2 Расчет технико-экономических показателей предлагаемых технических и технологических решений

Расчет технико-экономических показателей для пивоваренного предприятия малой мощности (90 000 дал/год) показал эффективность предлагаемых технических и технологических решений.

Расчитанные технико-экономические показатели проекта, предусматривающего инновационное решение (использование установки для сухого охмеления) в деятельности предприятия, подтверждают эффективность внедрения (Приложение А).

Планируется увеличение таких основных показателей, как: объем реализованной продукции + 885,57 тыс. р. (снижение потерь пива на 15 % по усовершенствованной технологии), прибыль от реализованной продукции + 1719,30 тыс. р., рентабельность продукции и производства + 1,55 % и + 4,84 %, соответственно. При этом наблюдается снижение следующих показателей: себестоимости – 833,73 тыс. р. (снижение расхода хмеля в 2,5–3 раза и электроэнергии на 20 % из-за сокращения длительности сухого охмеления); затрат на 1 р. товарной продукции; срока окупаемости капитальных вложений на 0,01 года, несмотря на то, что внедрение инновационной технологии повлекло увеличение капитальных вложения на 400 тыс. р. (использование установки для сухого охмеления). Предложенная технология по повышению эффективности производственной деятельности предприятия целесообразна к внедрению.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана методика 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 обоснован 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  $\alpha$ -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,  $\beta$ -кариофиллена и  $\alpha$ -гумулена, для гераниола эта величина составляла 50 % и выше, для линалоола – более 100 %.

3. Разработана математическая модель для оптимизации параметров процесса динамического сухого охмеления с получением данных по сортам и соотношению сырья, продолжительности и условиям реализации охмеления и методика интегральной оценки качества пива; для аппроксимации результатов исследования использовали радиальные нейронные сети. Определены 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 выявлено влияние хмеля на индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений с помощью микроядерного теста в буккальном эпителии человека. Методами факторного анализа показано, что основной вклад в дисперсию системы признаков будет вносить фактор «специфичность изучаемых цитогенетических показателей».

5. Модифицирована установка для проведения процесса динамического сухого охмеления: смешивание и рециркуляция суспензии осуществляется 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. Проведена апробация и технико-экономическая оценка разработанного способа динамического сухого охмеления в опытно-производственных условиях. Рассчитанные технико-экономические показатели разработок подтверждают 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 90000 дал продукции в год.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Нарцисс, Л. Краткий курс пивоварения [Текст] / Л. Нарцисс: Л. Нарцисс, Б. Вернер; пер. с нем. яз. А.А. Куреленкова. – 7 е изд., перераб. и доп. СПб. : Профессия, 2007 – 640 с.
2. Швилль-Миданер, А. Технология процессов в пивоварении [Текст] / А. Швилль-Миданер: Бремен: Медиен трансфер, 2016 – 297 с.
3. Кунце, В. Технология солода и пива: пер. с нем. [Текст] / В. Кунце. – СПб.: Изд-во «Профессия», 2009 – 912 с.
4. Zanolì, P. Pharmacognostic and pharmacological profile of *Humulus lupulus* L [Text] / P. Zanolì, M. Zavatti // *Journal of ethnopharmacology*. – 2008. – Т. 116. – № 3. – С. 383–396.
5. Чеснокова, А.Н. Фенольные соединения хмеля обыкновенного (*Humulus Lupulus* L.) и хмелепродуктов / автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук [Текст] / Чеснокова А. Н. – Иркутск, 2011 – 20 с.
6. Graham G. Stewart Handbook of brewing [Text] / Graham G. Stewart, Anne Anstruther, Inge Russell. – Boca Raton Florida: CRC Press, 2017. – 779 с.
7. Меледина, Т.В. Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении [Текст] / Т.В. Меледина. – СПб.: Изд-во Профессия, 2003 – 304 с.
8. Bryant, R.W. Characterization of Hop Acids in Spent Brewer's Yeast from Craft and Multinational Sources [Text] / R.W. Bryant, S.D. Cohen // *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. – 2015. – Т. 73. – № 2. – С. 159–164.
9. Maye, J.P. Humulinone Formation in Hops and Hop Pellets and Its Implications for Dry Hopped Beers [Text] / J.P. Maye, R. Smith, J. Leker // *Technical Quarterly*. – 2016. – Т. 53. – № 1. – С. 23–27.
10. Comprehensive sensomics analysis of hop-derived bitter compounds during storage of beer [Text] / D. Intelmann, G. Haseleu, A. Dunkel [et al.] // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2011. – Т. 59. – № 5. – С. 1939–1953.
11. Radicaloid-type oxidative decomposition of beer bittering agents revealed [Text] / K. Huvaere, M.L. Andersen, K. Olsen [et al.] // *Chemistry (Weinheim an der Bergstrasse, Germany)*. – 2003. – Т. 9. – № 19. – С. 4693–4699.

12. Takoi, K. Screening of Geraniol-rich Flavor Hop and Interesting Behavior of beta-Citronellol During Fermentation under Various Hop-Addition Timings [Text] / K. Takoi, Y. Itoga, J. Takayanagi // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 2014. – T. 72. – № 1. – C. 22–29.
13. Determination of Bitterness Units and Iso- $\alpha$ -Acid Levels in Dry-Hopped Beers Using the Iso- $\alpha$ -Acids Spectrophotometric Method [Text] // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 2018. – T. 68. – № 4. – C. 213–215.
14. Maye, J.P. Dry Hopping and Its Effects on the International Bitterness Unit Test and Beer Bitterness [Text] / J.P. Maye, R. Smith // Technical Quarterly. – 2016. – T. 53. – № 3. – C. 134–136.
15. Analytical and Sensory Assessment of Hoppy Aroma and Bitterness of Conventionally Hopped and Advanced Hopped Pilsner Beers [Text] / F. van Opstaele, G. de Rouck, J. de Clippeleer [et al.] // Journal of the Institute of Brewing. – 2010. – T. 116. – № 4. – C. 445–458.
16. Haseleu, G. Identification and RP-HPLC-ESI-MS/MS quantitation of bitter-tasting beta-acid transformation products in beer [Text] / G. Haseleu, D. Intelmann, T. Hofmann // Journal of agricultural and food chemistry. – 2009. – T. 57. – № 16. – C. 7480–7489.
17. Briggs, D.E. Brewing [Text] / D.E. Briggs. – Boca Raton, Cambridge England: CRC Press; Woodhead Pub. Ltd, 2004. – 881 c.
18. Mikyška, A. Assessment of changes in hop resins and polyphenols during long-term storage [Text] / A. Mikyška, K. Krofta // Journal of the Institute of Brewing. – 2012. – T. 118. – № 3. – C. 269–279.
19. Evaluation of Pesticide Residues from Conventional, Organic, and Non-treated Hops on Conventionally Hopped, Late-Hopped, and Wet-Hopped Beers [Text] / D.B. Walsh, S.D. O'Neal, A.E. George [et al.] // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 2016. – T. 74. – № 1. – C. 53–56.
20. Determination of Linalool in Different Hop Varieties Using a New Method Based on Fluidized-Bed Extraction with Gas Chromatographic-Mass Spectrometric Detection [Text] / K. Štěrbá, P. Čejka, J. Čulík [et al.] // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 2015. – T. 73. – № 2. – C. 151–158.

21. Gerhäuser, C. Broad spectrum anti-infective potential of xanthohumol from hop (*Humulus lupulus* L.) in comparison with activities of other hop constituents and xanthohumol metabolites [Text] / C. Gerhäuser // *Molecular nutrition & food research*. – 2005. – T. 49. – № 9. – C. 827–831.
22. The Impact of a Xanthohumol-Enriched Hop Product on the Behavior of Xanthohumol and Isoxanthohumol in Pale and Dark Beers: A Pilot Scale Approach [Text] / P.J. Magalhães, P. Dostalek, J.M. Cruz [et al.] // *Journal of the Institute of Brewing*. – 2008. – T. 114. – № 3. – C. 246–256.
23. Wunderlich, S. Enrichment of xanthohumol in the brewing process [Text] / S. Wunderlich, A. Zürcher, W. Back // *Molecular nutrition & food research*. – 2005. – T. 49. – № 9. – C. 874–881.
24. *Humulus lupulus* - a story that begs to be told. A review [Text] / C. Almaguer, C. Schönberger, M. Gastl [et al.] // *Journal of the Institute of Brewing*. – 2014. – T. 56.
25. Quantitation of selected terpenoids and mercaptans in the dual-purpose hop varieties Amarillo, Citra, Hallertau Blanc, Mosaic, and Sorachi Ace [Text] / M.-L.K. Cibaka, J. Gros, S. Nizet, S. Collin // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2015. – T. 63. – № 11. – C. 3022–3030.
26. Riboflavin-sensitized photooxidation of isohumulones and derivatives [Text] / K. Huvaere, K. Olsen, M.L. Andersen [et al.] // *Photochemical & photobiological sciences : Official journal of the European Photochemistry Association and the European Society for Photobiology*. – 2004. – T. 3. – № 4. – C. 337–340.
27. Comparison of the analytical profiles of volatiles in single-hopped worts and beers as a function of the hop variety [Text] / M. Dresel, T. Praet, F. van Opstaele [et al.] // *BrewingScience*. – 2015. – T. 68. – C. 8–28.
28. 18O stable isotope labeling, quantitative model experiments, and molecular dynamics simulation studies on the trans-specific degradation of the bitter tasting iso-alpha-acids of beer [Text] / D. Intelmann, O. Demmer, N. Desmer, T. Hofmann // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2009. – T. 57. – № 22. – C. 11014–11023.
29. Intelmann, D. On the autoxidation of bitter-tasting iso-alpha-acids in beer [Text] / D. Intelmann, T. Hofmann // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2010. – T. 58. – № 8. – C. 5059–5067.

30. Impact of harvest maturity on the aroma characteristics and chemistry of Cascade hops used for dry-hopping [Text] / S. Lafontaine, S. Varnum, A. Roland [et al.] // *Food chemistry*. – 2019. – T. 278. – C. 228–239.
31. The influence of hop harvest date on hop aroma in dry-hopped beers [Text] / B. Bailey, C. Schönberger, Drexler G. [et al.] // *Technical Quarterly*. – 2009.
32. Malowicki, M.G. Isomerization and degradation kinetics of hop (*Humulus lupulus*) acids in a model wort-boiling system [Text] / M.G. Malowicki, T.H. Shellhammer // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2005. – T. 53. – № 11. – C. 4434–4439.
33. Comparison of the odor-active compounds in unhopped beer and beers hopped with different hop varieties [Text] / T. Kishimoto, A. Wanikawa, K. Kono, K. Shibata // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2006. – T. 54. – № 23. – C. 8855–8861.
34. Comparison of 4-Mercapto-4-methylpentan-2-one contents in hop cultivars from different growing regions [Text] / T. Kishimoto, M. Kobayashi, N. Yako [et al.] // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2008. – T. 56. – № 3. – C. 1051–1057.
35. Comparison of two extraction techniques, solid-phase microextraction versus continuous liquid-liquid extraction/solvent-assisted flavor evaporation, for the analysis of flavor compounds in gueuze lambic beer [Text] / K.A. Thompson-Witrick, R.L. Rouseff, K.R. Cadawallader [et al.] // *Journal of food science*. – 2015. – T. 80. – № 3. – C571-6.
36. Isolation of a hop-sensitive variant of *Lactobacillus lindneri* and identification of genetic markers for beer spoilage ability of lactic acid bacteria [Text] / K. Suzuki, K. Iijima, K. Ozaki, H. Yamashita // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2005. – T. 71. – № 9. – C. 5089–5097.
37. Characterization of novel single-variety oxygenated sesquiterpenoid hop oil fractions via headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry [Text] / F. van Opstaele, T. Praet, G. Aerts, L. de Cooman // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2013. – T. 61. – № 44. – C. 10555–10564.

38. Eyres, G.T. Comparison of odor-active compounds in the spicy fraction of hop (*Humulus lupulus* L.) essential oil from four different varieties [Text] / G.T. Eyres, P.J. Marriott, J.-P. Dufour // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2007. – Т. 55. – № 15. – С. 6252–6261.
39. Vollmer, D.M. Influence of Hop Oil Content and Composition on Hop Aroma Intensity in Dry-Hopped Beer [Text] / D.M. Vollmer, T.H. Shellhammer // *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. – 2016. – Т. 74. – № 4. – С. 242–249.
40. Kunimune, T. Foam-stabilizing effects and cling formation patterns of iso-alpha-acids and reduced iso-alpha-acids in lager beer [Text] / T. Kunimune, T.H. Shellhammer // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2008. – Т. 56. – № 18. – С. 8629–8634.
41. Phenolic profiles and antioxidant activities of commercial beers [Text] / H. Zhao, W. Chen, J. Lu, M. Zhao // *Food chemistry*. – 2010. – Т. 119. – № 3. – С. 1150–1158.
42. Contributions of Select Hopping Regimes to the Terpenoid Content and Hop Aroma Profile of Ale and Lager Beers [Text] / D.C. Sharp, Y. Qian, G. Shellhammer, T.H. Shellhammer // *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. – 2017. – Т. 75. – № 2. – С. 93–100.
43. Roberts, M.T. Application of comprehensive multidimensional gas chromatography combined with time-of-flight mass spectrometry (GC x GC-TOFMS) for high resolution analysis of hop essential oil [Text] / M.T. Roberts, J.-P. Dufour, A.C. Lewis // *Journal of separation science*. – 2004. – Т. 27. – № 5-6. – С. 473–478.
44. Биологически активные вещества дикорастущего хмеля обыкновенного (*Humulus lupulus* L.), произрастающего в республике Северная Осетия-Алания [Текст] / А.В. Хмелевская, С.К. Черчесова, А.А. Компанцев, И.Т. Караева // *Известия Горского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 2. – С. 195–198.
45. Хоконова, М.Б. Применение хмеля в пивоваренном производстве [Текст] / М.Б. Хоконова // *Символ науки*. – 2015. – № 7-1.
46. ChemInform Abstract: Rearrangements of Epoxides of Linalool and Nerolidyl Acetate in Acid Media [Text] / Т.М. Khomenko, L.E. Tatarova, D.V. Korchagina, V.A. Barkhash // *ChemInform*. – 2002. – Т. 33. – № 47.

47. The Contribution of Geraniol Metabolism to the Citrus Flavour of Beer: Synergy of Geraniol and  $\beta$ -Citronellol Under Coexistence with Excess Linalool [Text] / K. Takoi, Y. Itoga, K. Koie [et al.] // Journal of the Institute of Brewing. – 2010. – T. 116. – № 3. – C. 251–260.
48. Optimum Method of Analyzing Hop Derived Aroma Compounds in Beer by Headspace Solid-Phase Microextraction (SPME) with GC/MS and Their Evolutions during Chinese Lager Brewing Process [Text] / J. Hao, J. Dong, H. Yin [et al.] // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 2018. – T. 72. – № 4. – C. 261–270.
49. Characterization of novel varietal floral hop aromas by headspace solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry [Text] / F. van Opstaele, B. de Causmaecker, G. Aerts, L. de Cooman // Journal of agricultural and food chemistry. – 2012. – T. 60. – № 50. – C. 12270–12281.
50. Analytical and sensory assessment of hoppy aroma and bitterness of conventionally hopped and advanced hopped Pilsner beers [Text] / F. van Opstaele, G. de Rouck, J. de Clippeleer [et al.] // Cerevisia. – 2011. – T. 36. – № 2. – C. 47–59.
51. King, A. Biotransformation of hop aroma terpenoids by ale and lager yeasts [Text] / A. King, J. Dickinson // FEMS yeast research. – 2003. – T. 3. – № 1. – C. 53–62.
52. Optimisation of a complete method for the analysis of volatiles involved in the flavour stability of beer by solid-phase microextraction in combination with gas chromatography and mass spectrometry [Text] / D. Saison, D.P. de Schutter, F. Delvaux, F.R. Delvaux // Journal of chromatography. A. – 2008. – T. 1190. – № 1-2. – C. 342–349.
53. Vollmer, D.M. Aroma Properties of Lager Beer Dry-Hopped with Oxidized Hops [Text] / D.M. Vollmer, V. Algazzali, T.H. Shellhammer // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 2018. – T. 75. – № 1. – C. 22–26.
54. Scale-up of Dry Hopping Trials [Text] / M. Schnaitter, A. Kell, H. Kollmannsberger [et al.] // Chemie Ingenieur Technik. – 2016. – T. 88. – № 12. – C. 1955–1965.
55. Beer Photooxidation Creates Two Compounds with Aromas Indistinguishable from 3-Methyl-2-butene-1-thiol [Text] / L.T. Lusk, A. Murakami, L. Nielsen [et al.] // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 2018. – T. 67. – № 4. – C. 189–192.



56. Nickerson, G.B. Hop Aroma Component Profile and the Aroma Unit [Text] / G.B. Nickerson, E.L. van Engel // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 2018. – T. 50. – № 3. – C. 77–81.
57. Advancing Flavor Stability Improvements in Different Beer Types Using Novel Electron Paramagnetic Resonance Area and Forced Beer Aging Methods [Text] / L. Marques, M.H. Espinosa, W. Andrews, R.T. Foster // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 2018. – T. 75. – № 1. – C. 35–40.
58. Improved Flavor Stability by Aging Beer in the Presence of Yeast [Text] / D. Saison, D.P. de Schutter, F. Delvaux, F.R. Delvaux // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 2011. – T. 69. – № 1. – C. 50–56.
59. Gros, J. Occurrence of odorant polyfunctional thiols in beers hopped with different cultivars. First evidence of an S-cysteine conjugate in hop (*Humulus lupulus* L.) [Text] / J. Gros, F. Peeters, S. Collin // Journal of agricultural and food chemistry. – 2012. – T. 60. – № 32. – C. 7805–7816.
60. Aron, P.M. A Discussion of Polyphenols in Beer Physical and Flavour Stability [Text] / P.M. Aron, T.H. Shellhammer // Journal of the Institute of Brewing. – 2010. – T. 116. – № 4. – C. 369–380.
61. The Role of Malt and Hop Polyphenols in Beer Quality, Flavour and Haze Stability [Text] / A. Mikyška, M. Hrabák, D. Hašková, J. Šrogl // Journal of the Institute of Brewing. – 2002. – T. 108. – № 1. – C. 78–85.
62. Steenackers, B. Chemical transformations of characteristic hop secondary metabolites in relation to beer properties and the brewing process: a review [Text] / B. Steenackers, L. de Cooman, D. de Vos // Food chemistry. – 2015. – T. 172. – C. 742–756.
63. The Use of Hop Polyphenols during Brewing to Improve Flavor Quality and Stability of Pilsner Beer [Text] / B. Jaskula-Goiris, K. Goiris, E. Stryn [et al.] // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 2018. – T. 72. – № 3. – C. 175–183.
64. McLaughlin, I.R. Bitterness-Modifying Properties of Hop Polyphenols Extracted from Spent Hop Material [Text] / I.R. McLaughlin, C. Lederer, T.H. Shellhammer // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 2018. – T. 66. – № 3. – C. 174–183.

65. Stevens, J.F. Xanthohumol and related prenylflavonoids from hops and beer: to your good health! [Text] / J.F. Stevens, J.E. Page // *Phytochemistry*. – 2004. – T. 65. – № 10. – C. 1317–1330.
66. Haseleu, G. Identification and RP-HPLC-ESI-MS/MS quantitation of bitter-tasting beta-acid transformation products in beer [Text] / G. Haseleu, D. Intelmann, T. Hofmann // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2009. – T. 57. – № 16. – C. 7480–7489.
67. Callemien, D. Use of RP-HPLC-ESI(-)-MS/MS to Differentiate Various Proanthocyanidin Isomers in Lager Beer Extracts [Text] / D. Callemien, S. Collin // *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. – 2018. – T. 66. – № 2. – C. 109–115.
68. Li, H.-J. Structural identification and distribution of proanthocyanidins in 13 different hops [Text] / H.-J. Li, M.L. Deinzer // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2006. – T. 54. – № 11. – C. 4048–4056.
69. Hop (*Humulus lupulus* L.) proanthocyanidins characterized by mass spectrometry, acid catalysis, and gel permeation chromatography [Text] / A.W. Taylor, E. Barofsky, J.A. Kennedy, M.L. Deinzer // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2003. – T. 51. – № 14. – C. 4101–4110.
70. Aberl, A. Determination of volatile compounds in different hop varieties by headspace-trap GC/MS--in comparison with conventional hop essential oil analysis [Text] / A. Aberl, M. Coelhan // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2012. – T. 60. – № 11. – C. 2785–2792.
71. Steinhaus, M. Comparison of the most odor-active compounds in fresh and dried hop cones (*Humulus lupulus* L. variety spalter select) based on GC-olfactometry and odor dilution techniques [Text] / M. Steinhaus, P. Schieberle // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2000. – T. 48. – № 5. – C. 1776–1783.
72. Modeling of  $\alpha$ -acids and xanthohumol extraction in dry-hopped beers [Text] / J.C. Machado, M.A. Faria, A. Melo [et al.] // *Food chemistry*. – 2019. – T. 278. – C. 216–222.
73. Wolfe, P. The Effect of Pellet Processing and Exposure Time on Dry Hop Aroma Extraction [Text] / P. Wolfe, M.C. Qian, T.H. Shellhammer // *Flavor Chemistry of Wine and Other Alcoholic Beverages* / ed. M. C. Qian, T. H. Shellhammer. – Washington, DC: American Chemical Society, 2012. – C. 203–215.

74. Hopping Technology in Relation to Beer Bitterness Consistency and Flavor Stability [Text] / B. Jaskula, E. Syryn, K. Goiris [et al.] // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 2018. – T. 65. – № 1. – C. 38–46.
75. Three TAS2R Bitter Taste Receptors Mediate the Psychophysical Responses to Bitter Compounds of Hops (*Humulus lupulus* L.) and Beer [Text] / D. Intelmann, C. Batram, C. Kuhn [et al.] // Chemosensory Perception. – 2009. – T. 2. – № 3. – C. 118–132.
76. Sensory and Analytical Characterisation of Reduced, Isomerised Hop Extracts and Their Influence and Use in Beer [Text] / A. Weiss, C. Schönberger, W. Mitter [et al.] // Journal of the Institute of Brewing. – 2002. – T. 108. – № 2. – C. 236–242.
77. Biotransformations of hop-derived aroma compounds by *Saccharomyces cerevisiae* upon fermentation [Text] / T. Praet, F. van Opstaele, B. Jaskula-Goiris [et al.] // Cerevisia. – 2012. – T. 36. – № 4. – C. 125–132.
78. Araki, S. A New Parameter for Determination of the Extent of Staling in Beer [Text] / S. Araki, M. Takashio, K. Shinotsuka // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 2002. – T. 60. – № 1. – C. 26–30.
79. Schonberger, C. The processing of hops [Text] / C. Schonberger // Brewing / ed. C. W. Bamforth: CRC Press, 2006.
80. Identification and Quantification of the Oxidation Products Derived from  $\alpha$ -Acids and  $\beta$ -Acids During Storage of Hops (*Humulus lupulus* L.) [Text] / Y. Taniguchi, Y. Matsukura, H. Ozaki [et al.] // Journal of agricultural and food chemistry. – 2013. – T. 61. – № 12. – C. 3121–3130.
81. The Role of Malt and Hop Polyphenols in Beer Quality, Flavour and Haze Stability [Text] / A. Mikyška, M. Hrabák, D. Hašková, J. Šrogl // Journal of the Institute of Brewing. – 2002. – T. 108. – № 1. – C. 78–85.
82. Aron, P.M. Flavan-3-ols: nature, occurrence and biological activity [Text] / P.M. Aron, J.A. Kennedy // Molecular nutrition & food research. – 2008. – T. 52. – № 1. – C. 79–104.
83. Impact of hop raw material type on antioxidant behaviour of beer [Text] / A. Mikyška, D. Hašková, T. Horák, M. Jurková // Kvasny Prumysl. – 2010. – T. 56. – № 7. – C. 294–302.

84. A comprehensive characterisation of beer polyphenols by high resolution mass spectrometry (LC-ESI-LTQ-Orbitrap-MS) [Text] / P. Quifer-Rada, A. Valverde-Queralt, M. Martínez-Huélamo [et al.] // *Food chemistry*. – 2015. – Т. 169. – С. 336–343.
85. García, A.A. Development of a rapid method based on solid-phase extraction and liquid chromatography with ultraviolet absorbance detection for the determination of polyphenols in alcohol-free beers [Text] / A.A. García, B.C. Grande, J.S. Gándara // *Journal of chromatography. A*. – 2004. – Т. 1054. – № 1-2. – С. 175–180.
86. Перспективы применения способа сухого охмеления в пивоварении [Текст] / 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.
87. Матвеева, Н.А. Применение технологии сухого охмеления в пивоварении [Текст] / Н.А. Матвеева, А.А. Титов // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*. – 2015. – № 1. – С. 111–118.
88. Schönberger, C. 125th Anniversary Review: The Role of Hops in Brewing [Text] / C. Schönberger, T. Kostecky // *Journal of the Institute of Brewing*. – 2011. – Т. 117. – № 3. – С. 259–267.
89. Podeszwa, T. New methods of hopping dryhopping and their impact on sensory properties of beer [Text] / T. Podeszwa, Harasymm Joanna // *Acta Innovations*. – 2016. – № 21. – С. 79–86.
90. Матвеева, Н.А. Выбор сорта хмеля для технологии сухого охмеления [Текст] / Н.А. Матвеева, А.А. Титов // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*. – 2014. – № 4. – С. 120–125.
91. Рукавицын, П.В. Условия реализации способа «сухого» охмеления в пивопроизводстве [Текст] / 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.

92. Карпенко, Д.В. Повышение экстрактивности хмеля с помощью акустической обработки [Текст] / Д.В. Карпенко, И.Э. Позднякова // Пиво и напитки. – 2016. – № 6. – С. 46–49.
93. Интенсификация процесса охмеления пивного сусла с применением роторно-пульсационного аппарата [Текст] / Д.М. Бородулин, В.Н. Иванец, Е.А. Сафонова [и др.] // Processes and Food Production Equipment. – 2017. – № 4.
94. Evaluation of Nonvolatile Chemistry Affecting Sensory Bitterness Intensity of Highly Hopped Beers [Text] / C.D. Hahn, S.R. Lafontaine, C.B. Pereira, T.H. Shellhammer // Journal of agricultural and food chemistry. – 2018. – Т. 66. – № 13. – С. 3505–3513.
95. A preliminary investigation into differences in hops' aroma attributes [Text] / S. Barry, E.M. Muggah, M.B. McSweeney, S. Walker // International Journal of Food Science & Technology. – 2018. – Т. 53. – № 3. – С. 804–811.
96. Effects of processing steps on the phenolic content and antioxidant activity of beer [Text] / C. Leitaó, E. Marchioni, M. Bergaentzlé [et al.] // Journal of agricultural and food chemistry. – 2011. – Т. 59. – № 4. – С. 1249–1255.
97. Адсорбционное извлечение полифенолов и меланоидинов на углеродных сорбентах как фактор, формирующий качество напитков [Текст] / Т.А. Краснова, Н.В. Гора, К.В. Зеленая, Н.С. Голубева // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2018. – № 1 (48). – С. 83–88.
98. Parkin, E. Toward understanding the bitterness of dry-hopped beer [Text] / E. Parkin, T. Shellhammer // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 2017. – Т. 75. – № 4. – С. 363–368.
99. Possibilities to improve the antioxidative capacity of beer by optimized hopping regimes [Text] / T. Kunz, J. Frenzel, P.C. Wietstock, F.-J. Methner // Journal of the Institute of Brewing. – 2014. – Т. 56. – № 11. – С. 415–425.
100. Fritsch, A. Relative Bitterness of Reduced and Nonreduced Iso- $\alpha$ -Acids in Lager Beer [Text] / A. Fritsch, T.H. Shellhammer // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 2008. – Т. 66. – № 2. – С. 88–93.
101. Bamforth, C.W. Standards of brewing [Text] / C.W. Bamforth. – Boulder Colo.: Brewers Publications, 2002. – 209 с.

102. Новикова, И.В. Обзор: Сухое охмеление в пивоварении [Текст] / И.В. Новикова, П.В. Рукавицын, А.С. Муравьев // Вестник ВГУИТ. – 2018. – Т. 80. – № 2. – С. 144–149.

103. Рукавицын, П.В. Современные тенденции при формировании вкусоароматического профиля пива [Текст] / П.В. Рукавицын, И.В. Новикова, А.В. Коростелев: Материалы V Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство»: ВГУИТ, 2018. – С. 274–278.

104. Рукавицын, П.В. Сухое охмеление в пивоварении: экстрагирование ароматических веществ хмеля [Текст] / П.В. Рукавицын, И.В. Новикова, А.В. Коростелев: Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство, 2019. – С. 201–204.

105. Иванченко, О.Б. Санитария и гигиена на пивоваренном производстве [Текст] / О.Б. Иванченко, Т.В. Меледина: СПб. : Гиорд, 2011 – 200 с.

106. Ермолаева, Г.А. Справочник работника лаборатории пивоваренного предприятия [Текст] / Г.А. Ермолаева: СПб.: Профессия, 2004 – 536 с.

107. Изобретение № 2670651 RU МПК кл.<sup>7</sup> G01N 33/00(2006.01) Способ установления идентичности проб гранулированного хмеля по запаху с применением химических сенсоров [Текст] / А.В. Коростелев, Т.А. Кучменко, И.В. Новикова, Р.У. Умарханов, П.В. Рукавицын, заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "ВГУИТ" – № 20171109494; заявл. 21.03.2017; опубл. 21.09.2018. – 7 с.

108. Исследование ароматобразующих компонентов хмеля с применением химических сенсоров [Текст] / А.В. Коростелев, П.В. Рукавицын, И.В. Новикова [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2020. – Т. 10. – № 3. – С. 479–486.

109. Analysis of the volatile compounds' condensate exhaled air "electronic nose" based on piezoelectric sensor to assess the status of calves [Text] / Т.А. Kuchmenko, R.U. Umarkhanov, A.A. Shuba [et al.] // IOP conference series. Earth and environmental science. – 2021. – Т. 640. – № 7. – С. 72028.

110. Грачев, Ю.П. Математические методы планирования экспериментов [Текст] / Ю.П. Грачев, Ю.М. Плаксин: ДеЛи принт М, 2005 – 296 с.
111. Кучменко, Т.А. Химические сенсоры на основе пьезокварцевых микровесов [Текст] / Т.А. Кучменко // Проблемы аналитической химии; под ред. Ю.Г. Власова. – М.: Наука, 2011. – С. 127–202.
112. Practical manual of groundwater microbiology [Text] / ed. D. R. Cullimore. – Boca Raton: Taylor & Francis, 2008.
113. Кучменко, Т.А. Пример решения идентификационных задач в методе пьезокварцевого микровзвешивания смесей некоторых органических соединений [Текст] / Т.А. Кучменко, А.А. Шуба, Н.В. Бельских // Аналитика и контроль. – 2012. – Т. 16. – № 2. – С. 1–11.
114. Zhong, Y. Electronic nose for food sensory evaluation [Text] / Y. Zhong // Evaluation technologies for food quality / ed. J. Zhong, X. Wang. – Oxford: Woodhead Publishing, 2019. – С. 7–22.
115. Sonamani Singh, T. Fuzzy Subtractive Clustering for Polymer Data Mining for SAW Sensor Array Based Electronic Nose [Text] / T. Sonamani Singh, P. Verma, R.D.S. Yadava. – 2017. – Т. 546. – С. 245–253.
116. Zhang, L. E-Nose Algorithms and Challenges [Text] / L. Zhang, F. Tian, D. Zhang. – 2018. – Т. 156. – С. 11–20.
117. Electronic nose sensors data feature mining: a synergetic strategy for the classification of beer [Text] / H. Men, Y. Shi, Y. Jiao [et al.] // Analytical Methods. – 2018. – Т. 10. – № 17. – С. 2016–2025.
118. Santos, J.P. Electronic Noses Applications in Beer Technology [Text] / J.P. Santos, J. Lozano, M. Aleixandre // Brewing Technology / ed. M. Kanauchi: InTech, 2017.
119. Aliani, M. Bitterness [Text] / M. Aliani, M.N.A. Eskin. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2017.
120. Ocvirk, M. Comparison of sensory and chemical evaluation of lager beer aroma by gas chromatography and gas chromatography/mass spectrometry [Text] / M. Ocvirk, N.K. Mlinarič, I.J. Košir // Journal of the science of food and agriculture. – 2018. – Т. 98. – № 10. – С. 3627–3635.

121. Рукавицын, П.В. Исследование компонентного состава сортов хмеля для сухого охмеления [Текст] / П.В. Рукавицын, И.В. Новикова: Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение / сборник научных статей и докладов: ООО Ритм, 2018. – С. 529–533.
122. Рукавицын, П.В. Оценка перехода основных компонентов растительного сырья в пиво при сухом охмелении [Текст] / П.В. Рукавицын, И.В. Новикова: Материалы LVIII отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2019 год, 2020. – С. 22.
123. Экстрагирование для пробоподготовки при идентификации сортов хмеля [Текст] / 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.
124. Рукавицын, П.В. Динамика изменения содержания компонентов хмеля при проведении процесса сухого охмеления [Текст] / П.В. Рукавицын, И.В. Новикова, О.Ю. Мальцева: Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение, 2019. – С. 527–530.
125. Новикова, И.В. Влияние основных параметров процесса сухого охмеления на физико-химические показатели пива [Текст] / И.В. Новикова, П.В. Рукавицын, А.С. Муравьев // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2018. – № 6 (53). – С. 9–17.
126. Hopping technology in relation to  $\alpha$ -acids isomerization yield, final utilization, and stability of beer bitterness [Text] / B. Jaskula, K. Goiris, F. van Opstaele [et al.] // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 2018. – Т. 67. – № 1. – С. 44–57.
127. Huszcza, E. The implication of yeast in debittering of spent hops [Text] / E. Huszcza, A. Bartmańska // Enzyme and Microbial Technology. – 2008. – Т. 42. – № 5. – С. 421–425.
128. Callemien, D. Involvement of flavanoids in beer color instability during storage [Text] / D. Callemien, S. Collin // Journal of agricultural and food chemistry. – 2007. – Т. 55. – № 22. – С. 9066–9073.



129. Новикова, И.В. К вопросу перехода ароматических соединений хмеля в пиво при реализации сухого охмеления [Текст] / И.В. Новикова, П.В. Рукавицын, А.С. Муравьев // Пищевая промышленность. – 2019. – № 1. – С. 69–73.

130. Основные аспекты проектирования напитков на основе зернового сырья [Текст] / И.В. Новикова, Е.А. Коротких, П.В. Рукавицын, А.А. Пенкина: Материалы III Международной научно-практической конференции «Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья»: ВГУИТ, 2017. – С. 771–773.

131. Рукавицын, П.В. Система менеджмента безопасности продукции для пивоваренного завода [Текст] / П.В. Рукавицын, И.В. Новикова, А.В. Коростелев: Пища. Экология. Качество. : труды XV Междунар. науч.- практ. конф.: Издательство «Перо», 2018. – С. 522–526.

132. Новикова, И.В. Оптимизация технологических параметров процесса сухого охмеления с разработкой методики интегральной оценки качества пива [Текст] / И.В. Новикова, П.В. Рукавицын, А.С. Муравьев // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2022. – № 3. – С. 163–175.

133. Рукавицын, П.В. Динамика изменения содержания компонентов хмеля при проведении процесса сухого охмеления [Текст] / П.В. Рукавицын, И.В. Новикова, О.Ю. Мальцева: Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение / сборник научных статей и докладов: ООО Ритм, 2019. – С. 527–531.

134. Рукавицын, П.В. Оценка эффективности извлечения компонентов хмеля в пиво при сухом охмелении [Текст] / П.В. Рукавицын, И.В. Новикова, О.Ю. Мальцева: Инновационные технологии студентов, аспирантов и молодых ученых / сборник тезисов докладов: СевГУ, 2020. – С. 25–26.

135. Полезная модель № 187478 RU МПК кл.<sup>7</sup> C12C 7/24 (2018.08) Установка для сухого охмеления пива [Текст] / П.В. Рукавицын, И.В. Новикова, А.С. Муравьев, заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "ВГУИТ" – № 2018131762; заявл. 05.09.2018; опубл. 06.03.2019. – 7 с.

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

## Приложение А

### Расчёт технико-экономических показателей

#### Производственная мощность.

Производственная мощность пивоваренного завода определяется в декалитрах пива, выпускаемого в заданном ассортименте в течение календарного года.

$$M = H \cdot \Phi \cdot n, \quad (\text{A.1})$$

где  $H$  – техническая норма производительности ведущего оборудования, дек./ч;  $\Phi$  – фонд времени работы оборудования за год, ч;  $n$  – количество оборудования, шт.

С учетом коэффициента использования производственной мощности ( $K_m$ ) принимается фактическая производительность КО ( $P_{год}$ , млн. дек.):

$$P_{год} = M \cdot K_m. \quad (\text{A.2})$$

Рассчитывается суточная производительность ( $P_{сут}$ , тыс. ед.):

$$P_{сут} = P_{год} / D, \quad (\text{A.3})$$

где  $D$  – количество дней работы предприятия в году, сут.

Годовой фонд времени работы предприятия определяется по форме таблицы А.1.

Таблица А.1 – Годовой фонд времени работы предприятия

Показатели	Количество дней
Календарное число дней	365
Выходные дни	–
Праздничные дни	–
Время на капитальный ремонт	65
ИТОГО нерабочих дней	65
ВСЕГО рабочих дней	300

На основе суточной производительности предприятия и годового фонда времени работы рассчитывается производственная программа в натуральном и стоимостном выражении в виде таблицы А.2.

Таблица А.2 – Производственная программа

Наименование продукции	Годовой фонд времени, сут.	Производство продукции, дал/сут.	Производство продукции, дал/год
«Индийский Пэйл эль»	300	16,0	4800,0
«Пинта»	300	284,0	85200,0
Итого		300,00	90000,00

**Материальные затраты**

Расчет затрат на рабочие машины и оборудование представлены в таблице А.3.

Таблица А.3 – Расчет затрат на рабочие машины и оборудование (без применения установки для сухого охмеления)

Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Стоимость единицы оборудования, р.	Общая сумма затрат на оборудование, р.
Дробилка двухвальцовая	1	85000	85000
Заторно-суловарочный аппарат для затирания с необходимой комплектностью	1	583000	583000
Фильтрационный аппарат для фильтрования экстракта с необходимой комплектностью	1	1090000	1090000
Вирпул для отделения белка и осветления экстракта с необходимой комплектностью	1	253000	253000
Площадка обслуживания с необходимой комплектностью	1	89000	89000
Пульт управления варочного отделения. Тач-панель 10» с необходимой комплектностью	1	450000	450000
Монтажный комплект варочного отделения с необходимой комплектностью Трубная обвязка, насосы, щиты управления, СИП мойка оборудования	1	690000	690000
Теплообменники для охлаждения суслу	1	120000	120000
Емкость для охлаждения воды	1	150000	150000
Цилиндро-конические танки для брожения и дображивания на 2000 литров полного объема	16	700000	11200000
Устройство для мойки внутренней и наружной поверхности кег	1	1200000	1200000
Устройство для розлива	5	2000	10000
Система СИП	1	1200000	1200000
Итого без НДС			17120000

Таблица А.4 – Расчет затрат на рабочие машины и оборудование (с применением установки для сухого охмеления)

Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Стоимость единицы оборудования, р.	Общая сумма затрат на оборудование, р.
Дробилка двухвальцовая	1	85000	85000
Заторно-суловарочный аппарат для затирания с необходимой комплектностью	1	583000	583000
Фильтрационный аппарат для фильтрования экстракта с необходимой комплектностью	1	1090000	1090000
Вирпул для отделения белка и осветления экстракта с необходимой комплектностью	1	253000	253000
Площадка обслуживания с необходимой комплектностью	1	89000	89000
Пульт управления варочного отделения. Тач-панель 10» с необходимой комплектностью	1	450000	450000
Монтажный комплект варочного отделения с необходимой комплектностью Трубная обвязка, насосы, щиты управления, СИП мойка оборудования	1	690000	690000
Теплообменники для охлаждения сусла	1	120000	120000
Емкость для охлаждения воды	1	150000	150000
Установка для сухого охмеления	1	400000	400000
Цилиндро-конические танки для брожения и дображивания на 2000 литров полного объема	16	700000	11200000
Устройство для мойки внутренней и наружной поверхности кег	1	1200000	1200000
Устройство для розлива	5	2000	10000
Система СИП	1	1200000	1200000
Итого без НДС			17520000

### Калькуляция себестоимости

Стоимость сырья, основных материалов рассчитывается на основе потребности в них, выявленного продуктового расчета в работе по технологии. Расчет производится в таблице А.5.

Стоимость вспомогательных материалов рассчитывается, исходя из количества произведенной продукции, норм расхода каждого вида материала на единицу продукции, оптовых цен и расходов по доставке материалов (табл. А.6).

Таблица А.5 – Стоимость сырья и основных материалов

Наименование видов сырья, материалов, отходов	Объем производства продукции, дал / год	Норма расхода сырья на 1 дал продукции, ед.	Общая потребность в сырье в год, т	Оптовая цена единицы сырья, тыс. р.	Стоимость всего сырья, тыс. р.
<b>«Индийский Пэйл эль» без охмеления / с охмелением</b>					
Солод светлый Пэйл эль, кг	4800	2,250	10,800	89,000	961,200
Солод Шато Кристалл, кг		0,030	0,144	144,000	20,736
Хмель на кипячение Халлертау Магнум, кг		0,006	0,029	2780,000	80,064
Хмель на сухое охмеление Чинук: без охмеления / с охмелением, кг		0,05/0,025	0,24/0,12	1700,000	408,000 /204,000
Хмель на сухое охмеление Сапфир: без охмеления / с охмелением, кг		0,02/0,01	0,096/0,048	1363,000	130,850 /65,420
Дрожжи пивные US-05, кг		0,005	0,024	12298,000	295,152
Вода холодная, м <sup>3</sup>		0,060	0,288	50,000	14,400
<b>Итого: без охмеления / с охмелением</b>					<b>1779,552/1640,976</b>
<b>«Пинта»</b>					
Солод светлый Пилзнер, кг	85200	1,500	127,800	84,000	10735,200
Солод карамельный, кг		0,500	42,600	89,000	3791,400
Хмель на кипячение Перле, кг		0,010	0,826	2500,000	2066,100
Дрожжи пивные US-05, кг		0,005	0,426	12298,000	5238,948
Вода, м <sup>3</sup>		0,060	5,112	50,000	255,600
<b>Итого</b>					<b>22087,248</b>
<b>Всего: без охмеления / с охмелением</b>					<b>23866,800/23728,224</b>

Таблица А.6 – Стоимость вспомогательных материалов

Наименование вспомогательных материалов	Объем производства продукции, дал/год	Норма расхода материалов на 1 дал продукции, ед.	Общая потребность в материалах в год, ед.	Оптовая цена единицы материалов, р.	Стоимость всего сырья, тыс. р.
Кислота молочная пищевая, кг	90000,0	0,001	90,0	130,0	11,70
Кеги объемом 30 дм <sup>3</sup> , шт. (запас на неделю)		0,333	700,0	4500,0	3150,00
Этикетка, шт.		0,200	18000,0	7,0	126,00
Клей, кг		0,006	540,0	120,0	64,80
Щелочь, кг		0,005	450,0	80,0	36,00
<b>Итого</b>					<b>3388,50</b>

Таблица А.7 – Стоимость электроэнергии, воды, пара

Наименование вспомогательных материалов	Объем производства продукции, ед.	Норма расхода материалов на 1000 дал продукции, ед.	Общая потребность в материалах в год	Оптовая цена	Стоимость всего сырья, тыс. р.
Вода техническая, м <sup>3</sup>	90000,0	65,00	5850	50,0	292,50
Пар, т		3,50	315	667,0	210,11
Электроэнергия, кВт*ч		0,50	45000	8,5	382,50
Углекислота, кг		150,00	13500	22,5	303,75
Холод, ккал		710,00	63900	32,0	2044,80
<b>Итого: без охмеления / с охмелением</b>					<b>3233,66/2586,92</b>

Стоимость электроэнергии, воды, пара на технологические цели рассчитывается на основе норм расхода на единицу продукции, объема производства продукции и действующего тарифа (табл. А.7).

В себестоимость продукции включается заработная плата рабочих основного производства, расчеты численности и заработной платы рабочих вспомогательного производства, необходимых для определения производительности труда, (табл. А.8).

Отчисления на социальные нужды определяются по действующим нормативам в процентах от суммы заработной платы производственных рабочих (основной и дополнительной).

Таблица А.8 – Расчеты численности и заработной платы персонала производства

Профессия рабочих	Численность всех рабочих, чел.	Часовая тарифная ставка, р.	Годовой фонд времени всех рабочих, ч	Годовой фонд заработной платы по тарифу, тыс. р.	Годовой фонд дополнительной заработной платы, тыс. р.	Годовой фонд заработной платы, тыс. р.
Машинист дробильной установки	1	200	2120	424,00	42,40	466,40
Аппаратчик процесса брожения и дображивания – варщик	3	200	6360	1272,00	127,20	1399,20
Разливщик пива в кеги	1	180	2120	381,60	38,16	419,76
Компрессорщик	3	180	6360	1144,80	114,48	1259,28
Слесарь-наладчик	1	180	2120	381,60	38,16	419,76
Служащие и специалисты	3	220	6360	1399,20	139,92	1539,12
Рабочие вспомогательного производства	6	150	12720	1908,00	190,80	2098,80
<b>Итого</b>	<b>18</b>			<b>6911,20</b>	<b>691,12</b>	<b>7602,32</b>

### Расчет издержек производства продукции

Первоначальный этап расчета себестоимости продукции – определение сметы затрат предприятия на ее производство. Смета затрат предприятия показывает максимально возможную сумму расходов в планируемом периоде на производство и реализацию товарной продукции, таблица 9.



Таблица А.9 – Смета затрат на производство и реализацию продукции

Элементы затрат	Сумма, тыс. р.	Структура себестоимости, %	Сумма, тыс. р.	Структура себестоимости, %
	<b>без охмеления</b>		<b>с охмелением</b>	
1. Основное сырье и вспомогательные материалы	27255,30	57,35	27116,72	58,08
2. Топливо и электроэнергия	3233,66	6,80	2586,92	5,54
3. Основная и дополнительная заработная плата	7602,32	16,00	7602,32	16,28
4. Отчисления на социальное страхование	2280,70	4,80	2280,70	4,88
5. Амортизация основных фондов	1468,04	3,09	1502,34	3,22
6. Прочие денежные расходы	1362,77	2,87	1355,84	2,90
7. Итого производственная себестоимость	43202,78	90,91	42444,84	90,91
8. Внепроизводственные расходы	4320,28	9,09	4244,48	9,09
9. Полная себестоимость товарной продукции	<b>47523,05</b>	100,00	<b>46689,32</b>	100,00

Важной частью экономического обоснования плана производства является плановая калькуляция, которая представляет собой расчет плановой себестоимости 1 т продукции по предлагаемым видам изделий, и включает соответствующие статьи расходов в зависимости от отраслевой принадлежности предприятия, в соответствии с проектными показателями производства. Себестоимость единицы продукции определяется по форме таблицы 10.

Таблица А.10 – Расчет плановой калькуляции и проекта оптовой цены 1 дал готовой продукции

Статьи калькуляции	Затраты на 1 дал продукции, р.		
	«Пинт а»	Индийский пэйл эль	Индийский пэйл эль
		без установки сухое охмеление	с установкой сухое охмеление
1. Сырье и материалы	259,24	370,74	341,87
2. Вспомогательные материалы	37,65	37,65	37,65
3. Топливо и электроэнергия на технологические цели	35,93	35,93	28,74
4. Заработная плата производственных рабочих	51,85	74,15	68,37
5. Отчисления в социальные фонды	15,55	22,24	20,51
6. Расходы по подготовке и освоению производства	25,92	37,07	34,19
7. Общехозяйственные расходы 10 % от п. 1	25,92	37,07	34,19
8. Производственная себестоимость	452,07	614,86	565,52
9. Коммерческие расходы 10 % п. 9	45,21	61,49	56,55
10. Полная себестоимость продукции	497,28	676,35	622,08
11. Рентабельность, %	20,00	25,00	36,00
12. Прибыль	99,46	169,09	223,95
13. Оптовая цена	596,73	845,43	846,02
14. НДС (10–20 % в зависимости от производства)	119,35	169,09	169,20
15. Акциз	210,00	210,00	210,00
16. Отпускная цена	926,08	1224,52	1225,23
17. Отпускная цена 1 л продукции, р.	92,60	122,45	122,25

**Финансовые показатели плана**

В результате проведенных экономических расчетов производственно-хозяйственной деятельности предприятия составила сводную таблицу (табл. А.11).

Таблица А.11 – Технико-экономические показатели проекта

Показатели	По проекту без установки сухое охмеление	По проекту с установкой сухое охмеление	Отклоне ния, +/-
1. Объем реализованной продукции, тыс. р.	84779,67	85665,24	+ 885,57
2. Производство продукции, тыс. дал	90000,00	103500,00	+ 13500,00
7. Полная себестоимость реализованной продукции, тыс. р.	47523,05	46689,32	– 833,73
8. Затраты на 1 р. товарной продукции, р.	0,561	0,545	– 0,02
9. Стоимость производственных фондов, тыс. р.	17120,00	17520,00	+ 400,00
10. Фондоотдача, р./р.	4,95	4,89	-0,06
11. Фондоемкость, р./р.	0,20	0,20	–
12. Прибыль от реализованной продукции, тыс. р.	37256,62	38975,91	+ 1719,30
13. Рентабельность продукции, %	43,95	45,50	+ 1,55
14. Рентабельность производства, %	217,62	222,47	+ 4,84
15. Эффективность капитальных вложений, р.	2,18	2,22	+ 0,05
16. Срок окупаемости капитальных вложений, годы	0,46	0,45	– 0,01
17. Производительность труда персонала, тыс. р.	4709,98	4759,18	49,20
18. Среднемесячная з/п персонала, тыс. р. \мес.	38,40	38,40	–

### Приложение Б

Индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений в буккальном эпителии человека в контрольной группе и у лиц, употреблявших охмеленное и не охмеленное сусло

Показатель	Контроль			Без хмеля			С хмелем		
	<i>1 проба</i>	<i>2 проба</i>	<i>3 проба</i>	<i>1 проба</i>	<i>2 проба</i>	<i>3 проба</i>	<i>1 проба</i>	<i>2 проба</i>	<i>3 проба</i>
RI	22,71±9,0 <i>Me=14,5</i>	19,45±7,0 <i>Me=12</i>	19,26± 5,2 <i>Me=17</i>	16,72± 4,0 <i>Me=12,8</i>	28,53±15,6 <i>Me=9,4</i>	8,4±2,1 <i>Me=7,3</i>	17,06± 4,0 <i>Me=12,8</i>	28,5±15,6 <i>Me=16,6</i>	22,9± 2,1 <i>Me=13,1</i>
<i>Cv, %</i>	115	101	80,1	85,1	197	88,6	79,5	61,7	108,3
Iac	6,7±3,6 <i>Me=1,9</i>	2,3± 0,6 <i>Me=1,7</i>	2,4± 1,0 <i>Me=0,6</i>	11,1± 4,0 <i>Me=2,7</i>	7,9± 5,3 <i>Me=1,9</i>	2,6± 1,6 <i>Me=2,5</i>	3,5±0,9 <i>Me=2,18</i>	3,3±2,8 <i>Me=1,9</i>	2,6± 1,2 <i>Me=1,2</i>
<i>Cv, %</i>	153	69,7	125	128	29,8	27,5	84,2	66,9	150

## Приложение В

ФГБОУ ВО  
«Воронежский государственный университет  
инженерных технологий»

ОКЦД-2 11.05.10.150

Группа Н72  
(ОКС 67.160.10)

УТВЕРЖДАЮ



Проректор по Нид  
ФГБОУ ВО ВГУИТ  
проф. О.С. Корнеева

«12» января 2022

ПИВО СВЕТЛОЕ  
НЕФИЛЬТРОВАННОЕ НЕПАСТЕРИЗОВАННОЕ  
«ИНДИЙСКИЙ ПЭЙЛЭЛЬ»

Технические условия  
ТУ 11.05.10-553-02068108-2022

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор ООО «ПИВОВАР»

 А.Р. Арустамов

РАЗРАБОТАНО

 П.В. Рукавицын

 И.В. Новикова

 А.С. Муравьев

Воронеж 2022

## **1. Область применения**

Настоящие технические условия распространяются на пиво светлое (далее – пиво), которое представляет собой алкогольную продукцию с содержанием этилового спирта, образовавшегося в процессе брожения пивного сусла, которая произведена из пивоваренного солода, хмеля и (или) полученных в результате переработки хмеля продуктов (хмелепродуктов), воды с использованием пивных дрожжей, без добавления этилового спирта, ароматических и вкусовых добавок.

Пиво предназначено для непосредственного употребления в пищу в качестве алкогольного напитка, по месту его производства (разлитое в кеги) и для реализации через оптовую и розничную торговлю в кегах.

Пиво выпускают следующих наименований: «Индийский пэйл эль» непастеризованное, нефильтованное, неосветлённое, светлое.

Требования настоящих технических условий являются обязательными и данные технические условия пригодны для целей подтверждения соответствия.

## **2. Требования к качеству и безопасности сырья и продукции**

2.1. Пиво должно соответствовать требованиям настоящих технических условий и вырабатывается по технологической инструкции и рецептуре с соблюдением ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

2.2. Требования к сырью:

Для приготовления пива в соответствии с рецептурой применяют солод пивоваренный: ячменный светлый, карамельный по ГОСТ 29294 или импортный по документам фирм производителей, использование которых обеспечивает качество и безопасность пива; воду питьевую по ГОСТ Р 51232 и СанПиН 2.1.4.1074; хмель молотый гранулированный и хмелевые экстракты, разрешенные к применению уполномоченными органами; дрожжи определенных рас для брожения пивного сусла.

Все используемое сырье должно соответствовать требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

2.3. При приготовлении пива могут использоваться вспомогательные материалы, разрешенные к применению в пивоварении уполномоченными органами (ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции») согласно ТР ТС 029/2012 «Пищевые добавки, ароматизаторы, технологические вспомогательные средства», например, кизельгур.

2.4. Используемое аналогичное импортное сырье должно иметь заключения уполномоченных органов, разрешающие их применение в производстве пивоваренной продукции.

2.5. Для приготовления пива при сбраживании сусла используют дрожжи определенных рас, применяемые для брожения пивного сусла.

2.6. Пиво выпускают непастеризованным, нефильтованным неосветленным.

2.7. В пиве должны отсутствовать генномодифицированные микроорганизмы (ГММ) и генномодифицированные организмы (ГМО).

## **3. Характеристика готового продукта**

3.1. По органолептическим показателям пиво должно соответствовать требованиям ГОСТ 31711–2012, указанным в таблице 1.

3.2. По физико-химическим показателям пиво должно соответствовать требованиям, указанным в таблице 2.

3.3. По микробиологическим показателям, содержанию токсичных элементов, N-нитрозаминов пиво должно соответствовать ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», приложение 3, п. 8 (табл. 3), приложение 1, приложение 2, п. 1.7 (табл. 4).

Таблица 1

Наименование показателя	Характеристика и норма для пива непастеризованного	
	«Индийский пэйл эль»	
Внешний вид:	Непрозрачная или прозрачная с опалесценцией пенящаяся жидкость без посторонних включений, не свойственных пиву. В процессе хранения допускается появление частиц белково-дубильных соединений. Допускается дрожжевой осадок	
Аромат	Сброженный солодовый, с выраженным хмелевым ароматом, допускается дрожжевой оттенок, без посторонних запахов	
Вкус	Сброженный солодовый, с хмелевой горечью, допускается дрожжевой привкус	

Таблица 2

Наименование показателя, ед. изм.	Характеристика и норма для пива непастеризованного	
	«Индийский пэйл эль»	
Экстрактивность начального сусла, %	13,0 ± 0,3	
Объемная доля спирта, %	4,9 ± 0,5	
Кислотность, к. ед.	2,6 – 3,2	
Цвет, ц. ед.	1,4–1,8	
Высота пены, мм, не менее	40	
Пеностойкость, мин	3	
Массовая доля двуокиси углерода, %, не менее	0,40	
Энергетическая ценность, ккал/кДж в 100г пива	46/218	
Углеводы, г в 100г пива, не более	4,7	

Таблица 3

Показатель	Допустимые уровни, не более мг/кг	
Токсичные элементы:	0,3	
Свинец	0,03	
Кадмий	0,2	
Мышьяк	0,005	
Ртуть		
N-нитрозамины	0,003	

Таблица 4

Наименование продуктов	КОЕ/см <sup>3</sup> , не более		Масса / Объем продукта, в которых не допускается	
	КМАФАнМ	Дрожжи и плесени	БГКП (г/см <sup>3</sup> )	Патогенные, в т. ч. сальмонеллы (г)
Пиво разливное	–	–	1,0	25,0
Пиво непастеризованное – в кегах	–	–	3,0	25,0

## 4. Маркировка

4.1. Маркировку потребительской тары по ГОСТ 31711–2012, ГОСТ Р 51074–2003, ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки», ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки» производят в удобном для прочтения месте с указанием:

- наименования предприятия-изготовителя, его товарного знака;
- наименования и типа пива;
- величины экстрактивности начального сусла в процентах;
- величины объемной доли этилового спирта (алк. % об., в мл на 100мл и мл в объеме тары);
- даты розлива;
- состава основного сырья, использованного при изготовлении пива;
- срока годности;
- условий хранения;
- объема;
- пищевой ценности в кал и Дж;
- единого знака обращения товара на рынке государств – членов Таможенного союза;
- информации о соответствии содержания вредных для здоровья веществ в пиве требованиям, установленным законодательными актами Российской Федерации, и о противопоказаниях к его применению;
- информации о вреде употребления алкогольной продукции для здоровья
- дополнительных сведений, в том числе штриховой код продукции, обозначение ТУ,
- пиктограммы «для пищевой продукции», «петля Мебиуса», цифровое и буквенное обозначение материала упаковки.

4.2. Транспортная маркировка – по ГОСТ 14192, ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки», ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки».

Маркировку транспортной тары производят с указанием:

- наименования пива;
- количества пива;
- даты изготовления пива;
- срока годности пива;
- условий хранения пива;
- сведений, позволяющих идентифицировать партию;
- наименования и местонахождения изготовителя пива.

Если пиво, разлитое в транспортную тару в дальнейшем подлежит фасовке, оно маркируется в соответствии с п. 4.1. Допускается указывать маркировку на этикетке, листе-вкладыше либо в сопроводительных документах.

## 5. Упаковка

5.1. Пиво разливают в кеги, емкостью: 10,0–50,0 л. изготовленные из материалов, использование которых в контакте с пивом обеспечивают его качество и безопасность (ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки») и другие виды тары, разрешенные органами Роспотребнадзора РФ.

5.2. Наполнение кег пивом должно быть не менее 95 % их номинальной вместимости.

5.3. Пиво из форфаса подают в кег-бочки. При реализации пива наливом и на предприятиях общественного питания, пиво из кег подают в ПЭТ-тару, бокалы, кружки, другую посуду под давлением двуокиси углерода.

## 6. Правила приемки

6.1. Приемка ГОСТ 12786–80.



6.2. Порядок и периодичность контроля содержания токсичных элементов, N – нитрозаминов, микробиологических показателей, ГМО и ГММ в пиве устанавливается предприятием-изготовителем в программе производственного контроля. Программа производственного контроля должна соответствовать ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и принципам ХАССП (гл. 3, ст. 10, п. 2). Контроль осуществляют в аккредитованных лабораториях.

6.3. Изготовитель пива, по договоренности с покупателем может оформить документ, в котором удостоверяет соответствие качества и безопасности каждой партии продукции требованиям, указанным в ТУ.

6.4. Изготовитель оформляет декларацию соответствия продукции и имеет право предъявить ее копию при первой поставке продукции покупателю.

## **7. Методы контроля**

7.1. Отбор проб ГОСТ 12786–80.

7.2. Определение органолептических показателей, аромата, высоты пены и объема – ГОСТ 30060–93.

7.3. Массовая доля сухих веществ в начальном сусле (экстрактивность начального сусле) гарантируется предприятием-изготовителем; определение – ГОСТ 12787–81.

7.4. Определение объемной доли спирта ГОСТ 12787–81.

7.4.1. Допускается определение массовой и объемной доли спирта на автоматическом пивоанализаторе.

7.5. Определение кислотности – ГОСТ 12788–87.

7.5.1. Определение pH – ГОСТ 31764.

7.6. Определение цвета – ГОСТ 12789–87. Соотношение цветовых единиц и единиц EBC – по приложению А ГОСТ 31711–2012.]

7.7. Определение концентрации дрожжевых клеток в нефилтрованном пиве осуществляют в камере Горяева в соответствии с ИК 10–04–06–140–87.

7.8. Определение массовой доли двуокси углерода и стойкости пива – по ГОСТ Р 51154.

7.9. Определение токсичных элементов, нитрозаминов:

Определение ртути – ГОСТ 26927–86, ГОСТ Р 51823.

Определение мышьяка – ГОСТ 26930–86, ГОСТ 30178, ГОСТ 30538, ГОСТ Р 51823, ГОСТ Р 51766.

Определение свинца – ГОСТ 26932–86, ГОСТ 30178, ГОСТ 30538, ГОСТ Р 51301, ГОСТ Р 51823.

Определение кадмия – ГОСТ 26933–86, ГОСТ 30178, ГОСТ 30538, ГОСТ Р 51301, ГОСТ Р 51823.

Определение N-нитрозаминов – МУК 4.4.1.011–93 «Определение летучих N-нитрозаминов в продовольственном сырье и пищевых продуктах».

7.10. Определение бактерий группы кишечной палочки (БГКП) – в соответствии с ГОСТ 31747–2012 (ISO 4831:2006, ISO 4832:2006), патогенных микроорганизмов (в том числе сальмонелл) – ГОСТ 31659–2012 (ISO 6579:2002).

7.11. Определение дрожжей и плесневых грибов ГОСТ 10444.12–88

7.12. Определение количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов ГОСТ 10444.15–94.

## **8. Правила транспортирования и хранения**

8.1. Пиво перевозят всеми видами транспорта согласно правилам перевозок грузов, действующим на соответствующем виде транспорта.

8.2. Пиво хранят в складских помещениях при температуре, обеспечивающей его сохранность в течение всего срока годности.

## 9. Гарантийные обязательства

9.1. Срок годности пива непастеризованного нефильтрованного неосветленного, разлитого в кеги, – 7 суток при температуре хранения до +10 °С.

### Перечень нормативной документации, на которую даны ссылки в технических условиях

Группа	Обозначение	Наименование
H08	ГОСТ Р 51232–98	Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством
H72	ГОСТ 31711–2012	Пиво. Общие технические условия.
H79	ГОСТ 12786–80	Пиво. Правила приемки и методы отбора проб.
H79	ГОСТ 12787–81	Пиво. Методы определения спирта, действительного экстракта и расчет сухих веществ в начальном сусле.
H79	ГОСТ 12788–87	Пиво. Методы определения кислотности.
H79	ГОСТ 12789–87	Пиво. Методы определения цвета.
H79	ГОСТ Р 51154	Пиво. Методы определения двуокиси углерода и стойкости.
H09	ГОСТ 26927–86	Сырье и продукты пищевые. Метод определения ртути.
H79	ГОСТ Р 51823–2001	Алкогольная продукция и сырье для ее производства. Метод инверсионно-вольтамперометрического определения содержания кадмия, свинца, цинка, меди, мышьяка, ртути, железа и общего диоксида серы
H09	ГОСТ 26930–86	Сырье и продукты пищевые. Метод определения мышьяка.
H09	ГОСТ 26932–86	Сырье и продукты пищевые. Метод определения свинца.
H09	ГОСТ 26933–86	Сырье и продукты пищевые. Метод определения кадмия.
H09	ГОСТ 30178	Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов.
H09	ГОСТ 30538	Продукты пищевые. Методика определения токсичных элементов атомно-эмиссионным методом.
H72	ГОСТ 29294–2014	Солод пивоваренный. Технические условия
H79	ГОСТ 30060–93	Пиво. Методы определения органолептических показателей и объема продукции.
H09	ГОСТ Р 51074–2003	Продукты пищевые. Информация для потребителя. Общие требования
H09	ГОСТ Р 51301–99	Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрические методы определения содержания токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка)
H79	ГОСТ Р 52816–2007	Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)
H79	ГОСТ Р 52814–2007	Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода Salmonella
H09	МУК 4.4.1.011–93	«Определение летучих N-нитрозаминов в продовольственном сырье и пищевых продуктах».
	ТР ТС 021/2011	«О безопасности пищевой продукции»
	СанПиН 2.1.4.1074	«Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества»
	ТР ТС 029/2012	«Пищевые добавки, ароматизаторы, технологические вспомогательные средства»
	ТР ТС 005/2011	«О безопасности упаковки»
	ТР ТС 022/2011	«Пищевая продукция в части ее маркировки»

## Приложение Г

ФГБОУ ВО  
«Воронежский государственный университет  
инженерных технологий»

ОКП 11.05.10.150

Группа Н72  
(ОКС 67.160.10)

УТВЕРЖДАЮ



Проректор по Нид  
ФГБОУ ВО ВГУИТ  
проф. О.С. Корнеева

« 12 » января 2022

ПИВО СВЕТЛОЕ  
НЕФИЛЬТРОВАННОЕ НЕПАСТЕРИЗОВАННОЕ  
«ИНДИЙСКИЙ ПЭЙЛ ЭЛЬ»

Технологическая инструкция  
ТИ к ТУ 11.05.10-553-02068108-2022


СОГЛАСОВАНО

Директор ООО «ПИВОВАР»

 А.Р. Арустамов

РАЗРАБОТАНО

 П.В. Рукавицын

 И.В. Новикова

 А.С. Муравьев

Воронеж 2022

1. Настоящая технологическая инструкция устанавливает технологическую схему, правила и нормы приготовления пива непастеризованного нефильтрованного неосветленного «Индийский пэйл эль» (далее по тексту – пиво) по ГОСТ 31711–2012 Пиво. Общие технические условия.

Настоящая технологическая инструкция является нормативно-технической документацией на пиво совместно с ГОСТ 31711–2012 Пиво. Общие технические условия.

Ассортимент пива, выпускаемый по данной технологической инструкции, приведен в таблице 1.

Таблица 1

	Торговое наименование	Группа	Тип
1.	Пиво «Индийский пэйл эль»	светлое	непастеризованное нефильтрованное неосветленное

Перечень сортов пива нефильтрованного неосветленного непастеризованного, торговой марки «Индийский пэйл эль»:

Таблица 2

	Сорт светлого пива	Объемная доля этилового спирта %	Экстрактивность начального сусле %
1.	«Индийский пэйл эль»	4,9 %	13,0 %

## 2. Характеристика сырья и материалов

В качестве сырья для производства пива используют:

- солод пивоваренный ячменный по ГОСТ 29294;
- солод ржаной по ГОСТ Р 52061;
- солод пивоваренный пшеничный;
- несоложенные зернопродукты:
- ячмень пивоваренный по ГОСТ 5060,
- пшеницу по ГОСТ Р 52554,
- крупу пшеничную дробленую по ГОСТ 18271,
- крупу рисовую по ГОСТ 6292,
- крупу кукурузную по ГОСТ 6002;
- концентраты пивного сусла, солодовые, ячменно-солодовые экстракты и другие продукты переработки солода и зернопродуктов;
- воду питьевую по [2], [3];
- хмель прессованный по ГОСТ 21947;
- хмелепродукты;
- патоку крахмальную по ГОСТ Р 52060;
- сахар-песок по ГОСТ 21;
- сахар белый по ГОСТ Р 53396;
- сахар-сырец по ГОСТ Р 52305;
- сахар жидкий по ГОСТ Р 53035;
- мед натуральный по ГОСТ 19792;
- меды монофлорные по ГОСТ Р 52451;
- продукты пчеловодства:
- прополис по ГОСТ 28886,
- пыльцу цветочную по ГОСТ 28887,

- молочко маточное пчелиное по ГОСТ 28888;
- плодово-ягодное, пряно-ароматическое и другое растительное сырье и продукты его переработки;
- пиво по ГОСТ Р 51174 или по нормативному документу изготовителя;
- вкусовые и ароматические добавки;
- дрожжи пивные.

Для приготовления пива при сбраживании сусла применяют специальные расы пивных дрожжей низового брожения. Концентрация дрожжевых клеток в готовом пиве должна составлять не более 2,0 млн/см<sup>3</sup>.

Допускается использование аналогичного импортного сырья, качество которого соответствует требованиям нормативных документов России.

Все сырье, используемое для производства пива должно соответствовать требованиям СанПиН 2.3.2.1078–01.

### 3. Рецепттура

3.1. Рецепттура на производство пива «Индийский пэйл эль» представлена в таблице 3.

Таблица 3

Наименование сырья	Расход сырья на 1 л
	«Индийский пэйл эль»
Солод светлый «Пэйл эль», кг	0,225
Солод карамельный «Кристал», кг	0,002
Хмель горький «Hallertauer magnum»	0,006
Хмель гранулированный, горько-ароматный «Chinook», кг	0,0085
Хмель гранулированный, ароматный «Saphir», кг	0,07
Дрожжи пивные, кг	0,001

Норма расхода светлого солода дана при экстрактивности 80–82 % на АСВ. В случае применения солода с экстрактивностью, отличающейся от указанной, производится пересчет нормы расхода по АСВ солода. Норма расхода гранулированного хмеля дана при содержании  $\alpha$ -горькой кислоты: горьком – 13,0 %; ароматном – 3,5 %. В случае применения хмеля с содержанием  $\alpha$ -кислоты, отличающемся от указанного производится пересчет нормы расхода.

3.2. Рецепттура является коммерческой тайной предприятия-изготовителя.

### 4. Технологическая схема производства и реализации пива

4.1. Технологическая схема производства и реализации пива «Индийский пэйл эль» включает следующие этапы:

- производство пива;
- розлив пива;
- транспортирование пива;
- реализация пива.

4.2. Производство пива состоит из стадий:

- дробление солода;
- затирание;
- фильтрование затора;
- варка суслу с хмелем;
- гидроциклонная обработка суслу;

- задача сухих либо семенных дрожжей в танк;
- охлаждение сусла;
- брожение сусла;
- дображивание пива;
- сухое охмеление пива;
- розлив пива.

#### 4.2.1. Дробление солода

Требуемое в соответствии с рецептурой количество солода из мешков подают в приемный бункер 2-х вальцовой дробилки. Качество дробления солода оценивают следующим образом: в помоле должны присутствовать фракции: шелуха, крупная и мелкая зерновая крупка и небольшое количество муки, при этом не допускается наличие целых зерен, при этом рекомендуемый фракционный состав помола содержит: шелуха 20 %; крупная крупка 15 %; мелкая крупка 40 %; мука 25 %. Указанный состав помола достигается регулированием зазора между вальцами солододробилки.

#### 4.2.2. Затирание

Процесс приготовления осахаренного затора проводят с использованием настольного (инфузионного) способа.

Процесс затирания осуществляют в заторно-сусловарочном аппарате. Гидромодуль при затирании 1:4. В процессе затирания происходит набухание крахмальных зерен, клейстеризация и растворение крахмала, повышение активности ферментов солода.

Температура 51–52 °С является оптимальной для действия протеолитических ферментов солода. Затор выдерживают при температуре 51–52 °С в течение 15 мин при постоянно работающей мешалке. Затем затор нагревают до температуры 62–63 °С со скоростью 1 град/мин.

Под действием фермента  $\beta$ -амилазы при температуре 62–63 °С происходит расщепление крахмала до мальтозы, продолжительность мальтозной паузы 30 мин.

Под действием фермента  $\alpha$ -амилазы при температуре 70–72 °С крахмал подвергается гидролизу с образованием декстринов в течение не менее 20 мин и не более 1 часа. Контроль полноты осахаривания определяют методом йодной пробы.

Процесс затирания заканчивают на стадии полного осахаривания при температуре 77 °С.

При переработке солода с экстрактивностью не менее 80–82 % на АСВ может применяться следующий режим затирания: дробленный солод смешивают с водой при температуре 50° С при соотношении дробленого солода и воды 1:4–4,5. Поводят корректировку рН затора до значений 5,5–5,6 внесением молочной кислоты, монокальцийфосфата или других средств, разрешенных к применению, далее процесс проводят по режиму:

- выдержка при 51–52 °С 15 мин;
- подогрев до 62 °С 10 мин;
- выдержка при 62–64 °С 30 мин;
- подогрев до 72 °С 10 мин;
- выдержка при 72–74 °С 20 мин;
- подогрев до 77 °С 10 мин.

#### 4.2.3. Фильтрация затора

Процесс фильтрации осуществляют по этапам:

- получение 1-го сусла;
- получение промывной воды.

По окончании осахаривания затор перекачивают в фильтрационный аппарат и оставляют на 20 мин. В первую очередь на сита аппарата оседают частицы оболочек зернопродуктов, которые образуют основной фильтрующий слой, затем крупная, мелкая крупка и мука. Температуру затора поддерживают в пределах 76–78 °С. Первые порции сусла мутные, их возвращают в фильтрационный аппарат.

Прозрачное сусло направляют в заторно-сусловарочный аппарат. Затем в фильтрационный чан набирают горячую воду с температурой 76–78 °С.

После набора горячей воды проводят фильтрацию промывной воды, как указано выше. После набора первого сусла в заторно-сусловарочном аппарате включают нагревательные элементы для продолжения нагрева общего объема сусла до температуры кипения.

Процесс фильтрования сусла длится 2,5–3 ч. Дробину удаляют их фильтрационного аппарата через боковой люк.

#### 4.2.4 Кипячение сусла с хмелем.

Кипячение сусла осуществляют для придания суслу хмелевого аромата и хмелевой горечи; коагуляции высокомолекулярных соединений сусла; проведения реакции меланоидинообразования; стерилизации сусла.

Норму внесения хмеля в пересчете на ВСВ определяют по рецептуре, исходя из содержания  $\alpha$ -кислоты в хмелепродуктах. Хмель гранулированный вносят в два приема: 1 порция – 60 % через 30 мин. после закипания, 2 порция – 40 % за 10 мин до конца кипячения. Продолжительность процесса кипячения сусла с хмелем составляет около 1,5 ч.

В процессе кипячения происходит процесс коагуляции белковых и полифенольных соединений, сусло становится прозрачным. Аминокислоты и низкомолекулярные углеводы взаимодействуют с образованием окрашенных соединений, при этом цветность сусла увеличивается на 20–30 %. При кипячении под действием высоких температур достигается микробиологическая чистота сусла, кипячение способствует достижению заданной плотности сусла.

#### 4.2.5. Гидроциклонная обработка сусла.

Гидроциклонная обработка сусла производится в гидроциклонном аппарате (вирпуле) с целью удаления хмелевой дробины, белковых компонентов, подвергшихся коагуляции, а также белково-полифенольных комплексов из сусла. Сусло после кипячения подают в гидроциклонный аппарат через тангенциальный патрубок, при этом происходит его раскручивание в аппарате. После окончания перекачивания сусла выдерживают паузу в течение 20 мин. При этом белковый осадок находится в центре плоского днища аппарата, сливной патрубок расположен на днище около обечайки и отделен от белкового осадка бортиком.

#### 4.2.6. Задача сухих либо семенных дрожжей в танк.

Для сбраживания пивного сусла используют сухие пивные дрожжи Fermentis Safale S-33, которые задают непосредственно в бродильный танк перед закачкой охлажденного сусла, либо задают семенные дрожжи повторных генераций стерильным шлангом из другого бродильного танка.

#### 4.2.7. Охлаждение сусла.

Охлаждение сусла проводят с целью охлаждения до температуры брожения, насыщения кислородом.

Охлаждение сусла осуществляют прокачиванием сусла с помощью центробежного насоса через пластинчатый теплообменник до достижения температурного значения 18–20 °С в течение 1 ч. Теплообменник охлаждается либо холодной водопроводной водой либо комбинацией водопроводной воды (1 ступень) и ледяной воды (2 ступень). На выходе теплообменника сусло с помощью аэратора насыщается кислородом (подготовленный стерильный воздух). Охлажденное и насыщенное кислородом сусло направляется в бродильный аппарат, где уже находятся пивные дрожжи.

#### 4.2.8. Брожение сусла

Брожение пивного сусла – биохимический процесс образования этилового спирта и диоксида углерода в результате анаэробной жизнедеятельности дрожжей различных видов.

Пивоваренные дрожжи должны обладать следующими свойствами: сбраживать мальтозу; развиваться при пониженных температурах; обладать флокуляционными свойствами.

В процессе спиртового брожения кроме спирта и диоксида углерода образуются побочные и вторичные продукты брожения. Одним из путей уменьшения количества побочных продуктов спиртового брожения является снижение температуры процесса, однако, снижение температуры приводит к пролонгированию процесса брожения. Продолжительность главного брожения составляет 5–7 суток.

Физиологически активные и микробиологически чистые дрожжи должны отвечать следующим требованиям:

- содержание дрожжевых клеток, не менее 100–140 млн/см<sup>3</sup>;
- наличие мертвых клеток, не более 5 %;
- присутствие дрожжей других видов – не допускается.

Норма введения густых дрожжей, составляет 0,5–1 % от объема танка брожения, при этом концентрация дрожжевых клеток в бродящем сусле должна составлять 15–25 млн/см<sup>3</sup>.

По достижении видимого экстракта примерно 1 % от расчетной конечной степени сбраживания производят шпунтование бродильного танка до 0,8–1,0 атм. и поднимают температуру брожения на 2°С для снижения уровня диацетила, образовавшегося при брожении.

#### 4.2.9. Дображивание пива.

Окончание брожения определяют по снижению массовой доли экстракта в пиве на 0,1–0,2 % в течение 24 часов. Молодое пиво охлаждают до температуры 2°С и выдерживают 20 суток для окончательного созревания и осветления. Оседающие при этом дрожжи и белковые частицы сбрасывают в канализацию с периодичностью 1 раз в 2–3 суток.

#### 4.2.10. Холодное охмеление пива.

Недостатками существующих способов сухого охмеления являются невысокая интенсивность извлечения ароматических соединений хмеля из-за прямого способа задачи хмеля в емкость с пивом, необходимости в отделении частиц хмеля после окончания процесса сухого охмеления, высокие энергозатраты в процессе продолжительного формирования суспензии в ходе принудительной рециркуляции и последующей фильтрации суспензии, а также регенерации фильтрующей поверхности и т. д.

Для исключения этих недостатков проводят холодное («сухое») охмеление пива с помощью установки для сухого охмеления. Установка пропускает готовое пиво через хмель и возвращает его в ферментатор (ЦКТ или Форфас), обогащая при этом пиво масличными и эфирными веществами, задерживая частицы хмеля внутри установки. Благодаря «холодному охмелению» пиво получает яркий хмелевой аромат и при этом не получает дополнительную хмелевую горечь.

Конструкция установки для сухого охмеления представлена на рис. 1. и включает в себя вертикальную цилиндрическую емкость 1 на роликовых опорах (общий вид см. рис. 2), рассчитанную на давление до 2 бар. Емкость оборудована сетчатым сепаратором 2 для удержания хмелевых гранул или шишек хмеля, тремя смотровыми диоптрами 3, предохранительным клапаном с рычагом сброса давления 4, манометром с мембранным разделителем 5, краном подачи углекислоты 6, краном входа 7 и выхода пива 8; верхним 9, средним 10 и нижним 11 кранами тангенциального входа, воздуховыпускным рычагом 12. Также установка включает емкость с пивом 13 оборудованную пивным 14, дрожжевым 15 кранами и краном углекислого газа 16. Установка снабжена трубопроводом СІР с двумя моющими головками 17, краном СІР мойки 18 и насосом 19.

В емкости 1 открывают крышку и заполняют рабочее пространство между корпусом емкости 1 и сетчатым сепаратором 2 гранулами хмеля «Сапфир» тип 90  $\alpha=3,5$  % в количестве 7000г, герметично закрывают крышку. Соединяют с помощью шланга дрожжевой кран 15 емкости с пивом 13 с всасывающим патрубком насоса 19. Нагнетательный патрубок насоса 19 подключают к крану входа пива 7 емкости 1. Выход из емкости 1 через кран выхода пива 8 подсоединяют к пивному выходу 14 емкости с пивом 13. Через кран подачи углекислоты 6 и предохранительный клапан 4 с поднятым седлом наполняют емкость 1 углекислым газом, уравнивая давление с пивной емкостью 13.



Открывают кран емкости с пивом 13 и кран входа пива 7 и начинают медленно заполнять емкость 1 пивом, стравливая избыточное давление через предохранительный клапан 4, одновременно увеличивая давление в емкости с пивом 13 через кран углекислого газа 16. При этом давление в емкости 1 поддерживают на уровне не более 2 атм. Заканчивают наполнение емкости 1 при появлении пива из крана подачи углекислого газа 6. После заполнения емкости 1 пивом, закрывают предохранительный клапан 4, открывают нижний кран тангенциального входа 11 и дрожжевой кран 15 емкости пива 13, открывают кран выхода пива 8 и кран пивного выхода 14, включают насос 19. После подъема хмеля в емкости 1 (около 5 мин.), открывают средний 10 и верхний 9 краны тангенциального входа. Визуально контролируют процесс охмеления в диоптре 3. Температура пива составляет 2–2,5 °С, однако, в процессе охмеления поднимается до 3–4 °С. Процесс охмеления занимает около 8 часов, в зависимости от желаемого результата и качества сырья. После завершения охмеления выключают насос 19 и, в зависимости от степени «намытия» хмеля на сетчатый сепаратор 2, с помощью углекислого газа, медленно перекачиваем пиво из емкости 1 в емкость с пивом 13, стравливая излишек давления через кран углекислого газа 16 емкости с пивом 13.

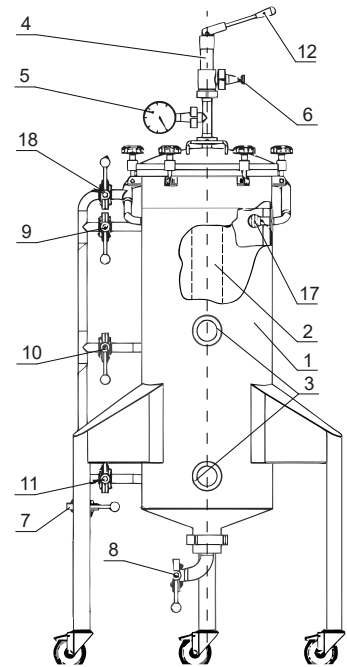
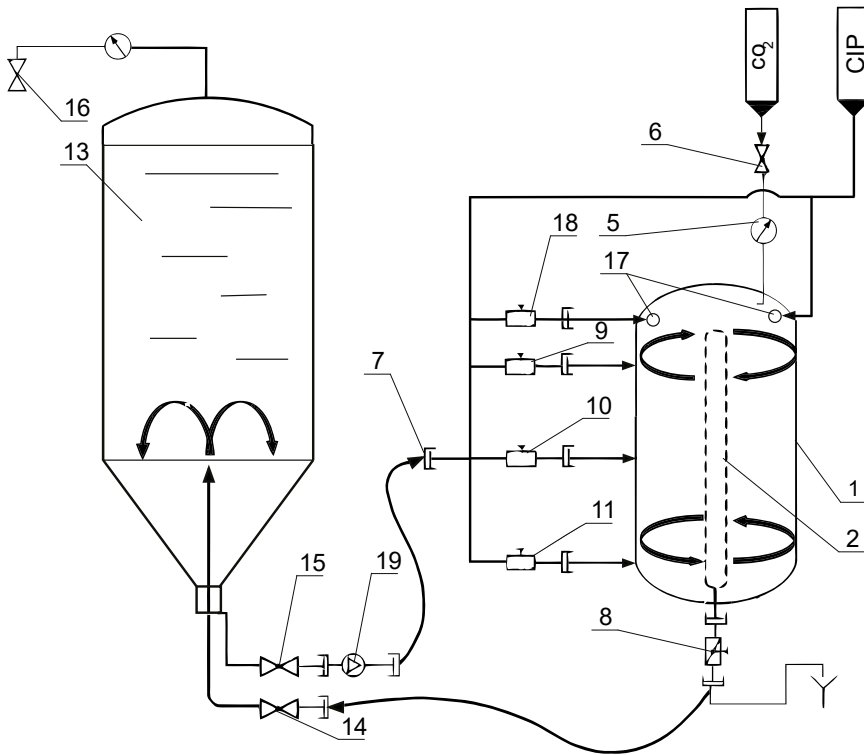


Рисунок 1 – Схема установки для сухого охмеления пива

Рисунок 2 – Общий вид устройства для сухого охмеления

Далее закрывают все краны, отсоединяют насос 19 и шланги, сбрасывают давление с емкости 1 через предохранительный клапан 4 и открывают крышку емкости 1. Извлекают сетчатый сепаратор 2 и тщательно промывают емкость 1 и сетчатый сепаратор 2 от остатков хмеля. Затем помещают сетчатый сепаратор 2 обратно в емкость 1, закрывают крышку и подключают всасывающий патрубок насоса 19 к крану выхода пива 8 емкости 1, а нагнетательный патрубок к крану входа пива 7. Заливают моющий состав в емкость 1, открывают краны 8 и 17, включают насос 19 и осуществляют мойку.

Охмеленное пиво выдерживают в бродительном танке 3–5 суток для повторного осветления и отправляют на розлив.

Преимущества предлагаемой установки для сухого охмеления заключаются в том, что смешивание и рециркуляция суспензии осуществляется тангенциальной подачей пива, что обеспечивает получение пива с насыщенным вкусом и ароматом.

Предлагаемая установка для сухого охмеления позволяет:

- интенсифицировать переход эфирных масел и ароматических веществ хмеля при сухом охмелении, в результате пиво приобретает насыщенный вкус и аромат и продлевается срок годности напитка;
- исключить потери углекислого газа и нагрев пива;
- использовать отработанный отжатый хмель для охмеления суслу при варке в заторно-сусловарочном котле;
- использовать вместо хмеля фрукты, ягоды, специи, трав и прочие растительные ароматические источники;
- снизить расход хмеля в 2,5–3 раза и потери пива на 15 %, чем при сухом охмелении непосредственно в емкости с пивом.

#### 4.2.11. Розлив пива

Пиво разливают при температуре от +2 до +5 °С в кеги и другие виды тары, разрешенные к применению. Возможен розлив в стеклянные бутылки коричневого или зеленого цвета, стеклянные – по ГОСТ 10117 типа Х и другому НД или бутылки ПЭТФ емкостью 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 5,0 дм<sup>3</sup>.

Среднее наполнение 10 бутылок при 20 °С должно соответствовать их номинальной вместимости с допустимым отклонением ±3 %.

Укупорка бутылок, кег и других видов тары с пивом должна быть герметичной с применением укупорочных материалов, разрешенных органами Минздрава России. Наполнение бочек или кег не должно быть менее 99,5 % объема.

При недостаточном насыщении пива двуокисью углерода проводят дображивания в стеклянных бутылках с добавлением сахарного сиропа; дополнительную карбонизацию предварительно охлажденного до температуры 1–2 °С пива.

### 5. Методы и средства контроля

Методы и средства контроля осуществляются в соответствии с требованиями действующей «Инструкции по теххимическому контролю пивоваренного производства».

### 6. Санитарные требования

Для обработки оборудования, коммуникаций контактирующих с пищевыми жидкостями и изотермических емкостей для транспортирования пива допускается применять моющие средства и дезинфектанты, использование которых для этих целей разрешено действующими санитарными правилами для предприятий пивоваренной и безалкогольной промышленности, утвержденными в установленном порядке.

#### 6.1. Санитарная обработка оборудования и коммуникаций предприятия-изготовителя.

Санитарную обработку лагерных танков (танков брожения и дображивания) и сборников пива (мерников) проводят в соответствии с действующими санитарными правилами для предприятий пивоваренной и безалкогольной промышленности.

Коммуникации для передачи пива бродильных и лагерных танков до мерника каждый день после окончания работы промывают горячей (60–70 °С), а затем холодной питьевой (водопроводной) водой.

Местную дезинфекцию этого участка осуществляют через день с использованием общепринятых дезинфицирующих средств (в соответствии с санитарными правилами). Дезинфекцию с использованием дезинфицирующих средств допускается заменять пропариванием острым паром не менее 15 мин с последующим тщательным ополаскиванием водой.

Санитарную обработку коммуникаций до мерника целесообразно проводить одновременно с обработкой шланга для розлива пива. Приготовление дезинфицирующего раствора допускается производить в заторно-сусловарочном аппарате или дополнительном резервуаре, вместимость которого зависит от суммарной вместимости коммуникаций в системе и от вместимости сборников готового пива (если они обрабатываются совместно с коммуникациями).

Сборники готового пива для отпуска пива промывают сначала горячей водой (60–70 °С), затем холодной водой после окончания каждой смены. Допускается очистка и промывка внутренней полости сборников готового пива с помощью щеток. Санитарную обработку сборников готового пива проводят с использованием дезинфицирующих средств не реже 1 раза в 2 сут.

Промывка заторно – сусловарочного аппарата, фильтрационного чана, аппарата гидроциклонного, теплообменника, коммуникаций и насосов производится аналогично промывке сборников готового пива после каждой варки.

Общая санитарная обработка оборудования варочного отделения и технологических коммуникаций, насосов указанных аппаратов производится 1 раз в месяц в соответствии с санитарными правилами.

**6.2. Санитарная обработка изотермических резервуаров, установленных на предприятиях общественного питания и торговли**

Контроль за санитарным состоянием оборудования для реализации пива осуществляет предприятие-изготовитель в соответствии с нормативной документацией, действующими санитарными правилами для предприятий пивоваренной и безалкогольной промышленности, «Технологической инструкцией по производству солода и пива» (ТИ 18–8–47–85) и «Инструкцией по обслуживанию изотермических резервуаров, предназначенных для продажи безалкогольных напитков, кваса и пива в розлив» (ТИ 10–04–06–109–87).

Контроль качества дезинфекции осуществляют путем микробиологического посева последней смывной воды из резервуара и из разливочного крана. При обнаружении в 100 см<sup>3</sup> промывной воды более 100 клеток микроорганизмов, качество дезинфекции считают неудовлетворительным. В смывной воде не допускается присутствие кишечной палочки.

## **7. Требования безопасности при производстве пива**

Техника безопасности при производстве пива – в соответствии с ТИ 18–8–47–85 «Технологическая инструкция по производству солода и пива».

Техника безопасности при реализации пива – в соответствии с действующей ТИ 10–04–06–109–87 «Инструкция по обслуживанию изотермических резервуаров, предназначенных для продажи безалкогольных напитков, кваса и пива в розлив».

## Приложение Д



### АКТ

составлен по результатам производственных испытаний (приготовление пива «Индийский пэйл эль» с применением установки для сухого охмеления) комиссией в составе главного технолога ООО «ПИВОВАР» Д.И. Савченко, главного инженера ООО «ПИВОВАР» Е.С. Акулова, сотрудников кафедры технологии броидильных и сахаристых производств ФГБОУ ВО «ВГУИТ»: д.т.н., доцента кафедры ТБиСП А.Е. Чусовой, экстерна кафедры ТБиСП П.В. Рукавицына.

Целью испытаний являлось апробирование экспериментальных исследований для получения пива с применением установки для динамического сухого охмеления

Рецептура пива приведена в таблице 1.

Таблица 1.

Рецептура пива

Наименование сырья	Расход сырья на 1 л
	«Индийский пэйл эль»
Солод светлый «Пэйл эль», кг	0,225
Солод карамельный «Кристал», кг	0,002
Хмель горький «Hallertauer magnum»	0,006
Хмель гранулированный, горько-ароматный «Chinook», кг	0,0085
Хмель гранулированный, ароматный «Saphir», кг	0,07
Дрожжи пивные, кг	0,001

Производство пива с применением сухого охмеления включало этапы: дробление солода; затирание; фильтрование затора; варка сусла с хмелем; гидроциклонная обработка сусла; задача сухих либо семенных дрожжей в танк; охлаждение сусла; брожение сусла; дображивание пива; сухое охмеление пива; розлив пива.

Требуемое в соответствии с рецептурой количество солода из мешков подавали в приемный бункер 2-х вальцовый дробилки. Качество дробления солода оценивали следующим образом: в помоле должны присутствовать фракции: шелуха, крупная и мелкая зерновая крупка и небольшое количество

муки, при этом не допускается наличие целых зерен, при этом рекомендуемый фракционный состав помола содержит: шелуха 20 %; крупная крупка 15 %; мелкая крупка 40 %; мука 25 %. Указанный состав помола достигается регулированием зазора между вальцами солододробилки.

Процесс приготовления осахаренного затора проводили с использованием настоянного (инфузионного) способа.

Процесс затирания осуществляли в заторно-сусловарочном аппарате. Гидро модуль при затирании 1:4. Затор выдерживали при температуре 51–52 °С в течение 15 мин при постоянно работающей мешалке, затем нагревали до температуры 62–63 °С со скоростью 1 град/мин. Под действием фермента  $\alpha$ -амилазы при температуре 70–72 °С крахмал подвергали гидролизу с образованием декстринов в течение не менее 20 мин и не более 1 часа. Контроль полноты осахаривания определяли методом йодной пробы. Процесс затирания заканчивали на стадии полного осахаривания при температуре 77 °С.

При переработке солода с экстрактивностью не менее 80–82 % на АСВ применяли следующий режим затирания: дробленый солод смешивали с водой при температуре 50° С при соотношении дробленого солода и воды 1:4–4,5. Проводили корректировку рН затора до значений 5,5–5,6 внесением молочной кислоты, монокальцийфосфата или других средств, разрешенных к применению, далее процесс проводили по режиму: выдержка при 51–52 °С 15 мин; подогрев до 62 °С 10 мин; выдержка при 62–64 °С 30 мин; подогрев до 72 °С 10 мин; выдержка при 72–74 °С 20 мин; подогрев до 77 °С 10 мин.

Процесс фильтрования затора осуществляли по этапам: получение 1-го сусла; получение промывной воды.

По окончании осахаривания затор перекачивали в фильтрационный аппарат и оставляли на 20 мин. В первую очередь на сита аппарата оседали частицы оболочек зернопродуктов, которые образовывали основной фильтрующий слой, затем крупная, мелкая крупка и мука. Температуру затора поддерживали в пределах 76–78 °С. Первые порции сусла возвращали в фильтрационный аппарат.

Прозрачное сусло направляли в заторно-сусловарочный аппарат, затем в фильтрационный чан набирали горячую воду с температурой 76–78 °С. После набора горячей воды проводили фильтрацию промывной воды, как указано выше. После набора первого сусла в заторно-сусловарочном аппарате включали нагревательные элементы для продолжения нагрева общего объема сусла до температуры кипения.

Процесс фильтрования сусла длился 2,5–3 ч. Дробину удаляли из фильтрационного аппарата через боковой люк.

Норму внесения хмеля в пересчете на ВСВ определяли по рецептуре, исходя из содержания  $\alpha$ -кислоты в хмелепродуктах (по ИК-10-04-06-140-87). Хмель гранулированный «Hallertauer magnum» при кипячении вносили в два приема: 1 порция – 60 % через 30 мин. после закипания, 2 порция – 40 % за 10 мин до конца кипячения. Продолжительность процесса кипячения сусла с хмелем составляла около 1,5 ч.

В процессе кипячения происходил процесс коагуляции белковых и полифенольных соединений, сусло становилось прозрачным. Аминокислоты и низкомолекулярные углеводы взаимодействовали с образованием окрашенных соединений, при этом цветность сусла увеличивалась на 20 %. Достигали микробиологической чистоты сусла, кипячение способствовало достижению заданной плотности сусла.

Гидроциклонную обработку сусла проводили в гидроциклонном аппарате (вирпуле) с целью удаления хмелевой дробины, белковых компонентов, подвергшихся коагуляции, а также белково-полифенольных комплексов из сусла. Сусло после кипячения подавали в гидроциклонный аппарат через тангенциальный патрубок, при этом происходило его раскручивание в аппарате. После окончания перекачивания сусла выдерживали паузу в течение 20 мин. При этом белковый осадок находился в центре плоского днища аппарата, сливной патрубок расположен на днище около обечайки и отделен от белкового осадка бортиком.

Для сбраживания пивного сусла использовали сухие пивные дрожжи *Fermentis Safale S-33*, которые задавали непосредственно в бродильный танк перед закачкой охлажденного сусла, либо задавали семенные дрожжи повторных генераций стерильным шлангом из другого бродильного танка.

Охлаждение сусла проводили с целью охлаждения до температуры брожения, насыщения кислородом. Охлаждение сусла осуществляли прокачиванием сусла с помощью центробежного насоса через пластинчатый теплообменник до достижения температурного значения 18–20 °С в течение 1 ч. Теплообменник охлаждается либо холодной водопроводной водой либо комбинацией водопроводной воды (1 ступень) и ледяной воды (2 ступень). На выходе теплообменника сусло с помощью аэратора насыщается кислородом (подготовленный стерильный воздух). Охлажденное и насыщенное кислородом сусло направляли в бродильный аппарат, где уже находились пивные дрожжи. Продолжительность главного брожения составляла 5–7 суток.

Физиологически активные и микробиологически чистые дрожжи отвечали следующим требованиям: сбраживать мальтозу; развиваться при пониженных температурах; обладать флокуляционными свойствами, содержание дрожжевых клеток, не менее 100–140 млн/см<sup>3</sup>; наличие мертвых клеток, не более 5 %; присутствие дрожжей других видов – не допускается.

Норма введения густых дрожжей, составляла 0,5–1 % от объема танка брожения, при этом концентрация дрожжевых клеток в бродящем сусле составляла 15–25 млн/см<sup>3</sup>.

По достижении видимого экстракта примерно 1 % от расчетной конечной степени сбраживания проводили шпунтование бродильного танка до 0,8–1,0 атм и поднимали температуру брожения на 2 °С для снижения уровня диацетила, образовавшегося при брожении.

Окончание брожения определяли по снижению массовой доли экстракта в пиве на 0,1–0,2 % в течение 24 часов. Молодое пиво охлаждали до температуры 2 °С и выдерживали 20 суток для окончательного созревания и осветления. Оседающие при этом дрожжи и белковые частицы сбрасывали в канализацию с периодичностью 1 раз в 2–3 суток.

Проводили сухое охмеление пива с помощью установки для сухого охмеления. С помощью установки для сухого охмеления пропускали готовое пиво через слой хмеля и возвращали его в ферментатор (ЦКТ или Форфас), обогащая при этом пиво ароматическими веществами, задерживая частицы хмеля внутри установки. Благодаря сухому охмелению пиво получало яркий хмелевой аромат и при этом не приобретало заметную дополнительную хмелевую горечь.

Конструкция установки для сухого охмеления представлена на рис. 1. Установка включала вертикальную цилиндрическую емкость 1 на роликовых опорах (общий вид см. рис.2), рассчитанную на давление до 2 бар. Емкость оборудована сетчатым сепаратором 2 для удержания хмелевых гранул или шишек хмеля, тремя смотровыми диоптрами 3, предохранительным клапаном с рычагом сброса давления 4, манометром с мембранным разделителем 5, краном подачи углекислоты 6, краном входа 7 и выхода пива 8; верхним 9, средним 10 и нижним 11 кранами тангенциального входа, воздуховыпускным рычагом 12. Также установка включала емкость с пивом 13 оборудованную пивным 14, дрожжевым 15 кранами и краном углекислого газа 16. Установка снабжена трубопроводом СІР с двумя моющими головками 17, краном СІР мойки 18 и насосом 19.

В емкости 1 открывали крышку и заполняли рабочее пространство между корпусом емкости 1 и сетчатым сепаратором 2 гранулами хмеля «Saphir» тип 90  $\alpha=3,5$  % и «Chinook» согласно рецептуре (в установку возможно загружают 7 кг хмеля), герметично закрывали крышку. Соединяли с помощью шланга дрожжевой кран 15 емкости с пивом 13 с всасывающим патрубком насоса 19. Нагнетательный патрубок насоса 19 подключали к крану входа пива 7 емкости 1. Выход из емкости 1 через кран выхода пива 8 подсоединяли к пивному выходу 14 емкости с пивом 13. Через кран подачи углекислоты 6 и предохранительный клапан 4 с поднятым седлом наполняли емкость 1 углекислым газом, уравнивая давление с пивной емкостью 13.

Открывали кран емкости с пивом 13 и кран входа пива 7 и начинали медленно заполнять емкость 1 пивом, стравливая избыточное давление через предохранительный клапан 4, одновременно увеличивая давление в емкости с пивом 13 через кран углекислого газа 16. При этом давление в емкости 1 поддерживали на уровне не более 2 атм. Заканчивали наполнение емкости 1 при появлении пива из крана подачи углекислого газа 6. После заполнения емкости 1 пивом, закрывали предохранительный клапан 4, открывали нижний кран тангенциального входа 11 и дрожжевой кран 15 емкости пива 13, открывали кран выхода пива 8 и кран пивного выхода 14, включали насос 19. После подъема хмеля в емкости 1 (около 5 мин.), открывали средний 10 и верхний 9 краны тангенциального входа. Визуально контролировали процесс охмеления в диоптре 3. Температура пива составляла 2–2,5 °С, однако, в процессе охмеления поднималась до 3–4 °С. Процесс охмеления занимал около 8 часов, в зависимости от желаемого результата и качества сырья. После завершения охмеления выключали насос 19 и, в зависимости от степени «намытия» хмеля на сетчатый сепаратор 2, с помощью углекислого газа, медленно перекачивали пиво из емкости 1 в емкость с пивом 13, стравливая излишек давления через кран углекислого газа 16 емкости с пивом 13.

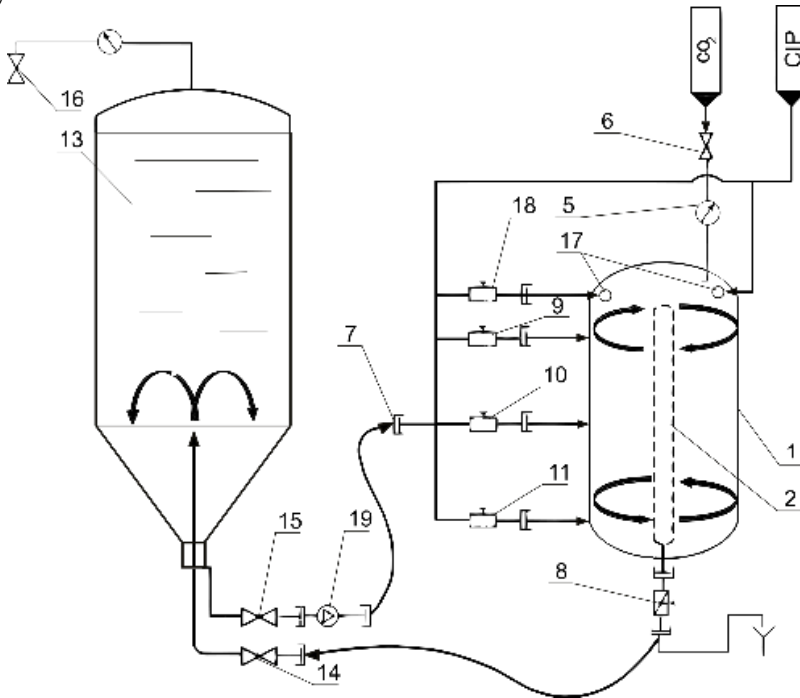


Рисунок 1 – Схема установки для сухого охмеления пива

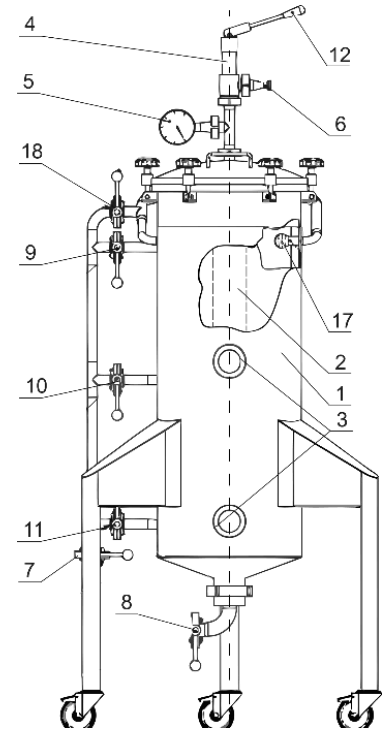


Рисунок 2 – Общий вид устройства для сухого охмеления

Закрывали все краны, отсоединяли насос 19 и шланги, сбрасывали давление с емкости 1 через предохранительный клапан 4 и открывали крышку емкости 1. Извлекали сетчатый сепаратор 2 и тщательно промывали емкость 1 и сетчатый сепаратор 2 от остатков хмеля. Затем помещали сетчатый сепаратор 2 обратно в емкость 1, закрывали крышку и подключали всасывающий патрубок насоса 19 к крану выхода пива 8 емкости 1, а нагнетательный патрубок к крану входа пива 7. Заливали моющий состав в емкость 1, открывали краны 8 и 17, включали насос 19 и осуществлял мойку.

Охмеленное пиво выдерживали в бродительном танке 3–5 суток для повторного осветления и отправляли на розлив.

Преимущества установки для сухого охмеления заключаются в том, что смешивание и рециркуляция суспензии осуществляется тангенциальной подачей пива, что обеспечивает получение пива с насыщенным вкусом и ароматом.

Предлагаемая установка для сухого охмеления позволяет:

- интенсифицировать переход эфирных масел и ароматических веществ хмеля при сухом охмелении, в результате пиво приобретает насыщенный вкус и аромат и продлевается срок годности 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-сусловарочном котле (в этом случае дозировка отработанного хмеля в 2 раза выше, чем свежего хмеля);
- использовать вместо хмеля фрукты, ягоды, специи, трав и прочие растительные ароматические источники;
- снизить расход хмеля в 2,5–3 раза и потери пива 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).
- снижаются потери пива с осадком, который образуется при сухом охмелении в танке.

Пиво разливали при температуре от +2 до + 5 °С в кеги и другие виды тары, разрешенные к применению.

Исследовали основные физико-химические и органолептические показатели готовых образцов пива в соответствии с разработанными рецептурами (таблицы 1, 2).

Результаты дегустации по ГОСТ 30060 «Пиво. Методы определения органолептических показателей и объема продукции» представлены в таблице 3, составлен протокол заседания дегустационной комиссии.

Таблица 1 Органолептические показатели пива

Наименование показателя	Характеристика и норма для пива непастеризованного
	«Индийский пэйл эль»
Внешний вид:	Непрозрачная или прозрачная с опалесценцией пенящаяся жидкость без посторонних включений, не свойственных пиву. В процессе хранения допускается появление частиц белково-дубильных соединений. Допускается дрожжевой осадок
Аромат	Сброженный солодовый, с выраженным хмелевым ароматом, допускается дрожжевой оттенок, без посторонних запахов
Вкус	Сброженный солодовый, с хмелевой горечью, допускается дрожжевой привкус



Таблица 2 Характеристика физико-химических показателей образцов пива

Наименование показателя, ед. изм.	Характеристика и норма для пива непастеризованного
	«Индийский пэйл эль»
Экстрактивность начального сусла, %	13,0 ± 0,3
Объемная доля спирта, %	4,9 ± 0,5
Кислотность, к. ед.	2,6–3,2
Цвет, ц. ед.	1,4–1,8
Высота пены, мм, не менее	40
Пеностойкость, мин	3
Массовая доля двуокиси углерода, %, не менее	0,40
Энергетическая ценность, ккал/кДж в 100г пива	46/218
Углеводы, г в 100г пива, не более	4,7

Таблица 3 Результаты дегустации

Наименование пива	Наименование показателей качества					пенообразование	Суммарная оценка в баллах	Примечания
	прозрачность	цвет	аромат	вкус				
				полнота вкуса	хмелевая горечь			
Оценка в баллах								
	1–3	1–3	1–4	2–5	2–5	2–5		
Индийский пэйл эль	3	3	4	5	5	5	25	

### Заключение

Результаты испытаний позволили подтвердить возможность применения рациональных условий, разработанных технологических режимов приготовления пива в соответствии с ТУ «Пиво светлое нефiltroванное непастеризованное «Индийский пэйл эль».

#### Исполнители:

Главный технолог ООО «ПИВОВАР»

Главный инженер ООО «ПИВОВАР»

Доцент кафедры ТБиСП  
ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

Эксперт кафедры ТБиСП  
ФГБОУ ВО «ВГУИТ»



Д.И. Савченко

Е.С. Акулов

А.Е. Чусова

П.В. Рукавицын

**ПРОТОКОЛ № 1** \_\_\_\_\_  
 заседания дегустационной комиссии  
 ООО «ПИВОВАР»  
 от «14» января 2022 г.

Дегустационная комиссия в составе 5 человек: главный технолог ООО «ПИВОВАР» Д.И. Савченко, главный инженер ООО «ПИВОВАР» Е.С. Акулов, заведующий кафедрой ТБиСП, профессор Г.В. Агафонов, доцент кафедры ТБиСП А.Е. Чусова, экстерн кафедры ТБиСП ФГБОУ ВО «ВГУИТ» П.В. Рукавицын в рамках производственной дегустации провела органолептическую оценку разработанных образцов пивоваренной продукции в соответствии с ГОСТ 30060 «Пиво. Методы определения органолептических показателей и объема продукции», ГОСТ 31711–2012 «Пиво. Общие технические условия».

Результаты дегустации

№ № п/ п	Наименование пива	Наименование показателей качества						Суммарная оценка в баллах	Поправленная суммар- ная оценка с
		прозрачность	цвет	аромат	вкус		пенообразование		
					полнота вкуса	хмелевая горечь			
Оценка в баллах									
		1–3	1–3	1–4	2–5	2–5	2–5		
1	Индийский пэйл эль 1	3,0	3,0	4,0	5,0	5,0	5,0	25,0	25,0 (отлично)
2	Индийский пэйл эль 2	3,0	3,0	4,0	4,0	5,0	5,0	25,0	25,0 (отлично)
3	Индийский пэйл эль 3	3,0	3,0	4,0	5,0	4,0	5,0	24,0	24,0 (отлично)

Примечание: 1. Перед определением вкуса и аромата, высоты пены и пеностойкости пиво охлаждали до температуры (12±2) °С в водяной бане. 2. Образец соответствует американскому типу IPA.

## Заключение дегустационной комиссии:

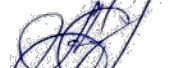
Представленные образцы пива «Индийский пэйл эль», № 1–3 отличного качества, по органолептическим показателям соответствуют ГОСТ 31711-2012 «Пиво. Общие технические условия».

Главный технолог ООО «ПИВОВАР»



Д.И. Савченко

Главный инженер ООО «ПИВОВАР»



Е.С. Акулов

Зав. кафедрой ТБиСП  
ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

Г.В. Агафонов

Доцент кафедры ТБиСП  
ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

А.Е. Чусова

Экстерн кафедры ТБиСП  
ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

П.В. Рукавицын

## Приложение Е

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2670651

**СПОСОБ УСТАНОВЛЕНИЯ ИДЕНТИЧНОСТИ ПРОБ  
ГРАНУЛИРОВАННОГО ХМЕЛЯ ПО ЗАПАХУ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ ХИМИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ**

Патентообладатели: *Коростелев Алексей Васильевич (RU),  
Кучменко Татьяна Анатольевна (RU)*

Авторы: *Коростелев Алексей Васильевич (RU), Кучменко  
Татьяна Анатольевна (RU), Новикова Инна Владимировна  
(RU), Умарханов Руслан Умарханович (RU), Рукавицын Павел  
Владимирович (RU)*

Заявка № 2017109494

Приоритет изобретения 21 марта 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 24 октября 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 21 марта 2037 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ильин

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **187 478** (13) **U1**  
(51) МПК  
C12C 7/24 (2006.01)  
C12C 7/20 (2006.01)

**(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(52) СПК  
C12C 7/24 (2018.08); C12C 7/20 (2018.08)

(21)(22) Заявка: **2018131762, 05.09.2018**  
(24) Дата начала отчета срока действия патента:  
**05.09.2018**  
Дата регистрации:  
**06.03.2019**  
Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: **05.09.2018**  
(45) Опубликовано: **06.03.2019** Бюл. № 7  
Адрес для переписки:  
**394036, Воронежская обл., г. Воронеж, пр-кт  
Революции, 19, ФГБОУ ВО "ВГУИТ", Отдел  
интеллектуальной собственности, Куцовой  
Алле Егоровне**

(72) Автор(ы):  
**Новикова Инна Владимировна (RU),  
Рухавицын Павел Владимирович (RU),  
Муравьев Александр Сергеевич (RU)**  
(73) Патентообладатель(и):  
**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Воронежский государственный  
университет инженерных технологий"  
(ФГБОУ ВО "ВГУИТ") (RU)**  
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: **РУКАВИЦЫН П.В. и др.  
Перспективы применения способа сухого  
охмеления в пивоварении, Инновационные  
решения при производстве продуктов  
питания из растительного сырья, Сборник  
научных статей и докладов II  
Международной научно-практической  
конференции, Воронеж, 26-27 октября 2016  
г., Издательско-полиграфический центр  
"Научная книга", С.105-109. (см. прод.)**

(54) Установка для сухого охмеления пива

(57) Реферат:  
Полезная модель относится к пищевой промышленности, в частности к пивоварению, и может использоваться преимущественно для процесса сухого охмеления пива.  
Технической задачей полезной модели является разработка установки для сухого охмеления пива, позволяющей повысить степень извлечения ароматических соединений хмеля, исключить необходимость фильтрации суспензии и отделения частиц хмеля за счет рециркуляции пива с помощью тангенциальной подачи, что обеспечивает получение пива с насыщенным вкусом и ароматом.

Техническая задача полезной модели достигается тем, что в установке для сухого охмеления пива, содержащей рабочую емкость,

сетчатый сепаратор, кран входа пива, новым является то, что смешивание и рециркуляция суспензии осуществляется тангенциальной подачей пива.

Технический результат полезной модели заключается в повышении степени извлечения ароматических соединений хмеля, и исключении необходимости фильтрации суспензии и отделения частиц хмеля за счет тангенциальной подачи пива.

Предлагаемая установка для сухого охмеления позволяет:

интенсифицировать переход эфирных масел и ароматических веществ хмеля при сухом охмелении, в результате пиво приобретает насыщенный вкус и аромат и продлевается срок годности напитка;