

На правах рукописи

ДЕДЕГКАЕВ Александр Тазаретович

**БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ
КАЧЕСТВА СВЕТЛОГО ПИВА**

Специальность 05.18.07 – Биотехнология пищевых продуктов
и биологических активных веществ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург
2013

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

Научный консультант:	Меледина Татьяна Викторовна, доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Красильников Валерий Николаевич, доктор технических наук, профессор, ООО «Протеин плюс», генеральный директор Помозова Валентина Александровна, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности», заведующий кафедрой технологии бродильных производств и консервирования Агафонов Геннадий Вячеславович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» заведующий кафедрой технологии бродильных производств и виноделия
Ведущее предприятие:	ГНУ ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Россельхозакадемии

Защита диссертации состоится «30» октября 2013 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.227.09 при Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики по адресу: 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, д. 9., тел./факс 315-30-15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «_____» _____ 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного Совета

Колодязная В.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В настоящее время на российском пивном рынке реализуются различные сорта пива отечественного и зарубежного производства, отличающиеся органолептическими и физико-химическими показателями качества, а также потребительскими свойствами, которые определяются вкусовыми предпочтениями. В связи с тем, что требования потребителей постоянно меняются, изменяются также число и значение показателей, характеризующих качественный продукт. Так, в 90-е годы в соответствии с ГОСТ 3473-78 определяли семь показателей, характеризующих свойство продукта, которые могли изменяться уже после 7 сут хранения напитка. Ухудшение свойств пива в то время было связано главным образом с отсутствием его биологической стойкости. По мере совершенствования технологии и развития пивной отрасли требования к качеству пива изменились, и его оценка в настоящее время проводится уже по 11 показателям (ГОСТ 51174-2009). Кроме того, в острой борьбе за потребителя лидеры отрасли для контроля продукции ввели дополнительные внутривзаводские критерии: горечь, мутность, растворенный в пиве кислород, общий диацетил. Также на предприятиях внедрены многочисленные системы менеджмента качества, стандарты ISO серии 9000, стандарты пищевой безопасности НАССР. Введение международных стандартов на крупных предприятиях отрасли, транспортирующих свой продукт в различные регионы России, потребовало производства пива длительного срока хранения (не менее 6 мес.). В связи с этим большое внимание уделяется биологической, коллоидной и вкусовой стабильности напитка, особенно светлых сортов пива. Между тем исследования в этой области ранее ограничивались повышением биологической и коллоидной стабильности. Среди отечественных ученых в этом направлении работали Покровская Н.В., Исаева В.С., Иванова Т.В.

Проблема повышения сенсорной стабильности возникла только после получения положительных результатов, позволяющих стабилизировать коллоидную систему пива и повысить срок его годности до 3 мес. Выяснением причин снижения вкусовой стойкости продукта стали заниматься ведущие ученые институтов пивоварения Германии (Нарцис Л., Ангер Х., Вакербауер К. и др), Чехии (Басаржова Г., Шавел Я. и др.), США (Бэмфорт С.). В России в этом направлении проводятся исследования во ВНИИ пивобезалкогольной и винодельческой промышленности (г. Москва), в Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики учениками научной школы проф. Мелединой Т.В. (Лебедева Е.П., Вишняков И.Г., Баташов Б.Э.) и в исследовательском центре ОАО «Пивоваренной компании «Балтика» (Афонин Д.В., Давыденко С.Г. и др.). С другой стороны, широкое развитие сети минипивзаводов изменило отношение к такому свойству качества как длительность хранения, т.к. в этом случае

продукция реализуется в течение 7-10 дней. В связи с этими изменениями возникла необходимость переосмысления понятия «качество», которое должно рассматриваться как функция свойств напитка и параметров процессов при его получении и зависеть от конкретных требований потребителя.

Таким образом, в связи с немногочисленностью исследований теоретическое обоснование и разработка технологии светлого пива, обеспечивающей разные сроки годности, высокую коллоидную и вкусовую стабильность при длительном хранении является актуальным научным направлением исследования и имеет высокое социально-экономическое значение.

Цель и задачи работы. Целью работы является научное обоснование и разработка технологии светлого пива различного срока годности с применением метода структурирования функции качества.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- теоретически и экспериментально обосновать роль физико-химических показателей сырья и параметров процесса в регулировании органолептических свойств пива и его стабильности;
- изучить влияние сортовой чистоты ячменя, используемого для солодоращения, на окислительно-восстановительные свойства пива;
- исследовать влияние режимов затирания зернопродуктов на химический состав свежего и состаренного пива;
- установить роль дрожжевых клеток в стабилизации коллоидной и вкусовой стабильности пива;
- получить новые сведения о процессах стабилизации коллоидной системы пива при его фильтровании;
- разработать критерии оценки пива длительного срока хранения (не менее 6 мес.);
- исследовать окислительно-восстановительные процессы при хранении пива в разных видах упаковки;
- теоретически и экспериментально обосновать и разработать комплексный подход к выявлению причин коллоидной нестабильности пива и их устранению;
- структурировать функции качества и выделить важнейшие характеристики сортов пива для отдельных сегментов рынка;
- разработать методологические подходы для создания новых сортов пива с заданными свойствами продукта с применением метода структурирования функции качества;
- разработать технологию и техническую документацию на новые сорта пива с разным сроком годности.

Научная концепция. Предложена концепция создания новых сортов пива, которая базируется на научно обоснованном выборе разработанных технологических процессов, с целью обеспечения стабильного качества

продукции с учетом требований потребителей.

Научная новизна. Проведено структурирование функции качества с применением модели «Дома качества» и выделены важнейшие характеристики продукта с различным сроком хранения, которые должны быть получены при его производстве.

Теоретически и экспериментально обоснован выбор показателей, играющих важную роль в регулировании коллоидной и вкусовой стабильности пива длительного хранения.

Обоснованы новые требования к ячменю как сырью для производства пива.

Установлены режимы затиранья солода, обеспечивающие повышение коллоидной и вкусовой стабильности пива.

Доказано, что вкусо-ароматическая и коллоидная стабильность пива зависят от штаммовых особенностей дрожжей, их физиологического состояния и потенциала поверхности клеток.

Определен электрофоретический потенциал соединений, входящих в состав коллоидов пива.

Получено эмпирическое уравнение, которое позволяет прогнозировать динамику образования диацетила при брожении пива в зависимости от величины засева и температуры.

Теоретически и экспериментально получены данные о расходе фильтровальных материалов и стабилизаторов (силикагеля и поливинилполипирролидона), а также режимах стабилизации в зависимости от адсорбирующей способности фильтровального слоя.

Изучены изменения концентрации алифатических альдегидов и 3-метил-1-бутен-1-тиола при хранении пива в различных видах упаковки и определены максимальные сроки хранения продукта в этих упаковках.

Основные положения, выносимые на защиту:

- концепция структурирования показателей качества и их регулирование при производстве пива;
- научно-обоснованные способы получения пива с высокой вкусо-ароматической и коллоидной стабильностью;
- результаты экспериментальных исследований повышения антиоксидантных свойств пива;
- методология создания новых сортов пива с различным сроком хранения.

Практическая значимость работы.

Применительно к производству пива разработана модель «Дома качества» и утверждена техническая документация (ТУ 9184-093-01824944) по производству светлого сорта пива длительного срока хранения (не менее 6 мес.), которое имеет уникальный вкус, высокую коллоидную и вкусовую стабильность. В 2007 г. было продано данного сорта пива 290 млн. л. Экономический эффект от внедрения данного сорта пива составил 7,5 млрд. руб.

Разработана модель «Дома качества» и техническая документация (ТУ 9184-043-01824944) для сорта светлого пива, не подвергающегося пастеризации, срок годности которого составляет не менее 3-х мес. За 2010 год было продано 9,3 млн. л данного пива. Доход от продажи пива «живое» составил около 620 млн. руб.

Разработаны мероприятия, направленные на регулирование коллоидной стойкости пива, включающие выбор сырья, режим затирания, штамма дрожжей, дозы внесения стабилизаторов при фильтровании пива и режим обработки, применение которых для завода производительностью 1 млн. гл пива в год составляет 1 млн. 242 тыс. руб.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены на всесоюзных, международных научных, научно-практических конференциях, симпозиумах и семинарах:

Всероссийской научно-технической конференции: Коршуновские чтения (Тольятти, 2005), Международной научно-технической конференции «Техника и технология пищевых производств» (Могилев, 2005), научно-практической конференции «Пищевая и морская биотехнология: Проблемы и перспективы» (Калининград, 2006), Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии в пищевой промышленности» (Самара, 2009), IV и V-ой Международной научно-технической конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» (Санкт-Петербург, 2009, 2011), 4-ой и 5-й Международной научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы развития пищевой промышленности и общественного питания» (Челябинск, 2010-2011), Всероссийской конференции «Пищевые добавки и современные технологии переработки сельскохозяйственного сырья» (Санкт-Петербург, 2011), 3-м Международном Форуме «Вода в пищевой промышленности: качество, безопасность, экология» (Санкт-Петербург, 2012), семинарах и технических советах ОАО «Пивоваренная компания «Балтика» (Санкт-Петербург, Дания, 2005-2012), международном конгрессе «1st Biotechnology World Congress» (ОАЭ, Дубай, 2012).

Публикации. По теме работы опубликованы 48 печатных работ, в том числе 16 статей в реферируемых ВАК журналах, одна монография, получено 5 патентов на изобретения.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из 5 глав, выводов, списка используемых источников (178 наименований) и 19 приложений. Диссертация изложена на 242 страницах машинописного текста, содержит 55 рисунков и 82 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** дано определение термина «качество» и изменение

показателей, определяющих качество пива, начиная с 90-х годов прошлого века. Обоснована актуальность выбранного научного направления, отмечена научная новизна и практическая значимость исследований, представлены выносимые на защиту основные положения.

В обзоре литературы рассмотрены основные компоненты пива, влияющие на его качество и восприятие потребителями; выявлены соединения, ответственные за изменение вкуса пива во время его хранения и рассмотрены биохимические пути их синтеза. Проанализированы сведения о причинах возникновения коллоидных помутнений в пиве и способах повышения физико-химической стабильности напитка. На основании анализа научной информации сформулирована цель и определены задачи исследований.

Объекты и методы исследования. Выбор объектов и методов исследований обусловлен поставленной задачей разработки технологии пива с высокой вкусовой и коллоидной стабильностью. Объектами исследования являлись товарный ячмень, солод 1 класса, пивное сусло, светлое пиво с массовой долей сухих веществ 12 %, пивные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* нового селекционированного штамма Y-3194 и зарубежных штаммов, которые обладают высокими технологическими характеристиками, а также фильтровальные материалы (кизельгур различных марок) и стабилизаторы пива (поливинилпирролидон и силикагель).

В работе использовали стандартные физико-химические методы исследования, а также оригинальные методики. Определение общего количества фенольных соединений, антоцианогенов, танноидов, диоксида серы, в пиве проводили спектрофотометрически (спектрофотометр фирмы «Shimadzu»); 3-метил-2-бутен-1-тиола, вицинальных дикетонов и сероводорода в пиве – газохроматографическим методом на газовом хроматографе *Hewlett Packard HP 6890* с электронно-захватным и пламенно-фотометрическим детекторами. Для определения в пиве альдегидов использовали метод хромато-масс-спектрометрии.

Определение пропускной способности УФ-излучения различными видами упаковки проводили на спектрофотометре *Shimadzu UV-2501PC*.

Измерение показателя окислительно-восстановительного потенциала пива осуществляли на установке Optima YT04 (Нефелометр *Behring Nephelometer DADE-Behring*). Для определения способности пива к окислению использовали интегральный метод «lag–time». Интегральные спектры получали с помощью ЭПР-спектрометра. В работе использовали косвенные методы измерения мутности с помощью турбидиметра и нефелометра. Для измерения размера частиц муты применяли лазерный анализатор частиц. Поверхностный потенциал частиц и дрожжевых клеток определяли методом микро-электрофореза и методом определения скорости частицы при помощи электрофоретического рассеяния света. Для оценки прогнозируемой коллоидной стабильности пива использовали методы определения чувствительных белков, способных реагировать с таннином,

метод определения осаждения белка сульфатом аммония (SASPL), метод форсирующей термообработки стабилизированного пива. Для оценки мутеобразующих частиц пива применяли метод флуоресцентной цитометрии. Органолептические характеристики пива оценивались профессиональной дегустационной комиссией.

Старение пива производили путем последовательного выдерживания образца пива в течение 7 сут при температуре 0°C и последующим выдерживанием данного образца в течение 7 сут при температуре 38°C.

Экспериментальная часть работы выполнялась на базе ОАО «Пивоваренная компания «Балтика» и кафедре пищевой биотехнологии продуктов из растительного сырья института холода и биотехнологий (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики), Санкт-Петербургского государственного технологического университета (ТУ), Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

Для разработки новых сортов пива использовали метод структурирования функции качества (QualityFunctionDeployment) путем построения дома качества (Акао Y., 1990, Адлер Ю.П., 1991).

В процессе выполнения работы использованы методы статистической обработки с применением контрольных карт, а также методы математического планирования эксперимента. Обработку экспериментальных данных проводили с привлечением методов математической статистики, регрессионного анализа и программ Excel 2007, CurveExpert и MathCad. Схема проведения исследований дана на рис. 1.

Исследование процессов стабилизации коллоидной системы пива.

Пиво является сложной коллоидной системой, состоящей из белков, фенольных соединений и полисахаридов. Появление осадка во время хранения пива связано с укрупнением размеров частиц в результате их столкновения, конденсации (окисления) и полимеризации. Интенсивность этих процессов зависит от электрофоретического потенциала соединений. Установлено, что для белков он составляет +0,981, для фенольных соединений – (-0,2784). Для адсорбции белков используют силикагель, имеющий отрицательный заряд, для удаления фенольных соединений – поливинилполипирролидон. Важным является установление высокого значения анодного потенциала (-1,0008) для декстринов с числом глюкозидных остатков от 10 до 18, которые могут являться причиной мутности пива после удаления белков и полифенолов.



Рисунок 1 – Схема проведения исследований

Влияние качества сырья, состава засыпи и режима затириания на коллоидную стойкость пива

Исследования показали, что на коллоидную стойкость пива влияют не только физико-химические показатели солода, но и сортовая чистота ячменя, используемого для его изготовления. Так, снижение сортовой чистоты ячменя сорта Скарлетт с 90 до 40% повышает инициальную мутность сусла, вызванную наличием в нем частиц размером 0,1-1,0 мкм, с 2 до 7 ед. ЕВС. Причиной этого, как показал электрофоретический анализ, является гордеиновая фракция запасных белков ячменя. Кроме того, стойкость пива к окислению снижается с 85 до 55 мин.

Окислительно-восстановительные свойства напитка зависят также от режима затириания, в частности от величины рН воды, используемой для промывания дробины, и начальной температуры затора. Затириание при температуре 65 °С (4 режим) способствует снижению доли антоцианогенов в полифенольной фракции пива с 0,29-0,30 (режим 1–3) до 0,24 (4 режим) и увеличению концентрации диоксида серы, который повышает антиоксидантные свойства продукта, а следовательно, его коллоидную стабильность (табл.1).

Таблица 1 – Концентрация фенольных соединений и диоксида серы при использовании различных режимов затириания

Группа веществ	Номер режима затириания (начальная температура затириания, °С/ рН промывных вод)			
	1 (52/5,4)	2 (52/5,1)	3 (52/5,1) *	4 (65/5,1)
Антоцианогены (АЦГ)	57	32	46	36
Полифенолы (ПФ)	195	105	158	148
Коэффициент АЦГ/ПФ	0,29	0,30	0,29	0,24
Диоксид серы	3,8	5,3	6,7	7,4

* используется галлотанин.

Исследование влияния мутности сусла на мутность пива

В зависимости от показателей качества сырья, фракционного состава засыпи и технологии затириания распределение взвешенных частиц значительно отличается для различных партий сусла. Результаты изучения распределения взвешенных частиц в диапазоне 0,1-3,0 мкм для сусла разной мутности показали, что отличия между образцами сусла связаны, главным образом, с частицами размером от 1,1 до 3,0 мкм, которые легко удаляются на последующих технологических этапах. Установлено, что, во-первых, концентрация частиц размером менее 1,1 мкм, определяющих мутность пива, варьирует незначительно. Во-вторых, эти частицы имеют поверхностный потенциал ниже 30 мВ и способны

к коагуляции с последующей седиментацией. Следовательно, корреляция между мутностью суслу в варочном цехе и готовым пивом отсутствует.

Влияние процессов, протекающих при брожении суслу, на инициальную мутность пива

Во время ферментации основные изменения коллоидной системы бродящего суслу связаны с адсорбцией взвешенных частиц на поверхности дрожжей и седиментацией с флокулирующими клетками.

Количество частиц, адсорбированных на клетках, определяется поверхностным потенциалом дрожжей, активация которого происходит в присутствии кислорода. Это показали опыты с различной концентрацией кислорода в сусле. В присутствии кислорода воздуха поверхностный (Z) потенциал составляет 45-46 мВ. В процессе брожения происходит снижение величины рН среды и одновременно падает поверхностный потенциал клеток и при его величине ниже 35 мВ начинаются процессы флокуляции и седиментации дрожжей. Дополнительное уменьшение потенциала клеток происходит за счет адсорбции на их поверхности взвешенных частиц. В результате к концу главного брожения (4-е сут – первый съем дрожжей), которое протекало при температуре 14 °С, значение Z -потенциала вновь падает до исходной величины 26 мВ.

Определение среднего размера адсорбированных на поверхности дрожжей частиц показало, что они относятся в основном к диапазону 0,31-0,39 мкм. Поверхностный потенциал коллоидов начинает увеличиваться только на вторые сутки брожения и совпадает со снижением Z -потенциала дрожжей ниже 35 мВ (рис. 2), при котором начинается аглютинация клеток.

Поверхностный потенциал частиц размером 0,01-0,1 мкм также начинает возрастать после вторых суток ферментации суслу. Изменение содержания крупных частиц (1–3 мкм) во время брожения пива не происходит. Они начинают оседать во время коллоидной стабилизации пива при температуре минус 1,5 °С, т.е. начиная с 6–8 сут брожения. Во время коллоидной стабилизации пива продолжается рост заряда и, соответственно, снижение количества частиц холодной мути, которые имеют размер 0,01-0,1 мкм. Напротив, частицы инициальной мути (0,1-1,0 мкм) в этот период практически не удаляются из пива, т.к. их Z -потенциал стабилизируется и составляет около 40 мВ (рис. 2).

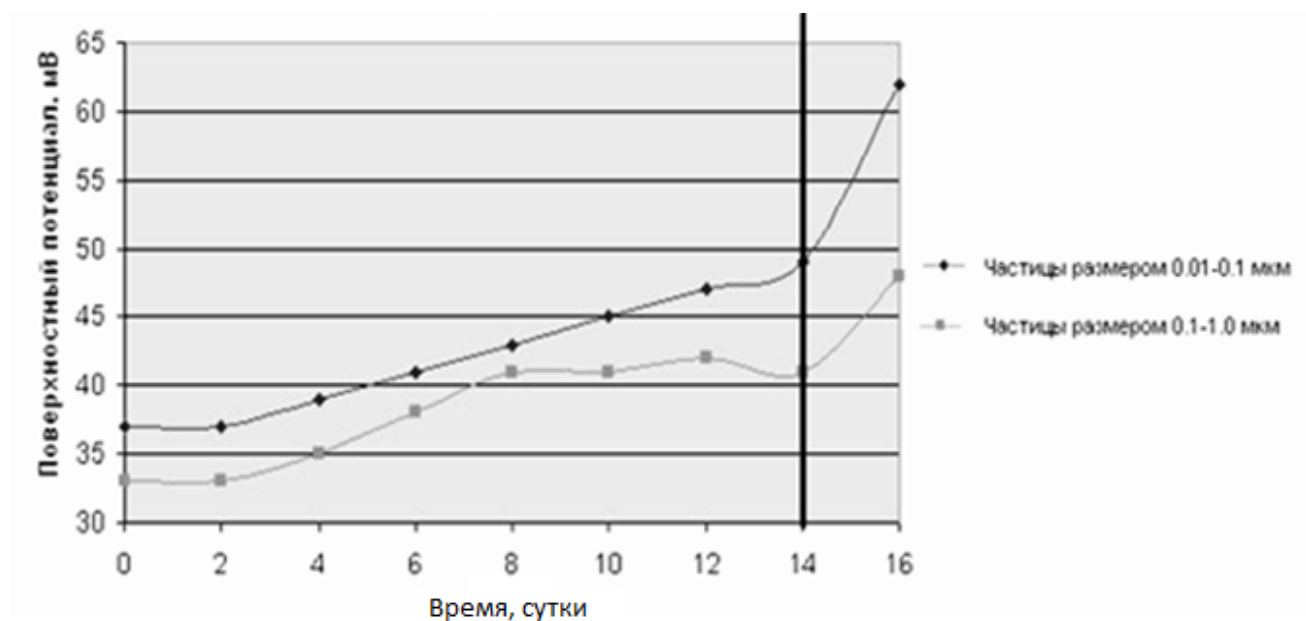


Рисунок 2 –Изменение поверхностного потенциала коллоидных частиц при брожении

Анализ химической природы взвешенных частиц инициальной мутности показал, что в течение брожения происходят изменения как поверхностного потенциала взвешенных частиц, так и их качественного состава. Вклад полипептидной фракции постепенно уменьшается (с 55 до 29 % от количества взвешенных частиц) вследствие коагуляции белков при снижении величины рН пива, но главным образом ввиду адсорбции коллоидов на поверхности дрожжей. Содержание частиц, в состав которых входят фенольные соединения, сначала увеличивается (с 25 до 32 %) в результате их полимеризации, но затем постепенно снижается из-за седиментации (с 32 до 14 %). Доля частиц, в состав которых входят полисахариды, в течение брожения существенно возрастает и в готовом пиве составляет 57 %, что связано со свойствами самих декстринов как сильно гидратированных веществ. Однако, в состаренном пиве количество частиц с полисахаридами падает практически до уровня сусла (27 %), напротив, значительно возрастает концентрация частиц фенольной природы (до 37 %), что объясняется окислением фенольных соединений, их полимеризацией и сополимеризацией. Соотношение между фракциями коллоидных помутнений, представленными в осадках, может измениться в зависимости от физиологического состояния семенных дрожжей.

Для подтверждения данного заключения исследовали 6 образцов пива, которые отличались по качественным характеристикам дрожжей в конце процесса брожения. Установлено, что чем хуже физиологическое состояние дрожжей, а именно содержание нежизнеспособных и частично ослабленных клеток, тем меньше они адсорбируют мутеобразующих соединений, и в результате больше веществ остается в пиве, что повышает его мутность (табл.2).

Таблица 2– Влияние качества снятых с пива дрожжей на его мутность

Образец	Мутность пива, ед. ЕВС	Физиологическое состояние дрожжей, определенное методом окрашивания клеток метиленовым синим и сафранином, %		
		Хорошее физиологическое состояние	Частично ослабленные	Нежизнеспособные
1	1,5	75,8	20,5	3,7
2	3,3	67,8	19,6	12,6
3	2,0	73,1	18,6	8,3
4	1,9	75,1	20,7	4,3
5	1,91	75,5	21,0	3,5
6	2,32	74,5	19,0	7,5

Также на степень адсорбции мутеобразующих частиц, а следовательно, их концентрацию в пиве, влияют штаммовые особенности дрожжей, в частности их способность преодолевать стрессы, один из которых – гидростатический – наиболее выражен при сбраживании суслу в цилиндрических танках. Это доказано на примере двух штаммов, один из которых широко используется за рубежом (X), другой – Y-3194 – селекционирован в ОАО «Пивоваренная компания «Балтика». Так, при отсутствии стресса различий между образцами пива как в размере коллоидных частиц, так и в их концентрации не обнаружено. В то время как повышение давления до 2 ати приводит к увеличению концентрации взвешенных частиц в пиве, сброженном дрожжами X, по сравнению с пивом, произведенном с помощью штамма Y-3194, в два раза (с 1,1 до 2,3 млн. частиц/дм³). Таким образом, для получения пива в ЦКТ можно рекомендовать штамм Y-3194.

Исследование процессов стабилизации коллоидной системы пива с помощью силикагелей и поливинилполипирролидона

Для удаления белков из пива во время фильтрования используют силикагель, который формирует на своей поверхности капиллярный слой воды с отрицательным зарядом, тем самым притягивая положительно заряженные полипептиды. В ходе экспериментов показано, что для извлечения чувствительных белков из пива разной мутности расход силикагеля составляет от 30-50 г/гл и зависит от того, подвергалось ли пиво перед фильтрованием осветлению на сепараторе. Так, минимальный расход гидрогеля для пива, прошедшего сепарирование (концентрация клеток дрожжей 0,5-1,0 млн/см³), составляет 30 г/гл, в то время как для неосветленного пива, содержащего от 3 до 10 млн клеток/мл – 50 г/гл, при этом коэффициент эффективной адсорбции гидрогеля снижается на 74 %. Дальнейшее увеличение расхода силикагеля, как показали исследования, снижают пеностойкость пива. Установлена зависимость

между стабильностью пены и дозой силикагеля, используемого для удаления мутеобразующих белков.

$$Y = 74,25e^{-0,002x}, \quad (1)$$

где Y - стабильность пены, определенная методом Росса и Кларка, сек;
 X - дозировка силикагеля, г/гл пива.

Важное значение при стабилизации пива имеет диаметр фильтрационного канала. Сужение его (менее 1,5 мкм) приводит не только к десорбции чувствительных белков, ответственных за коллоидное помутнение при хранении пива (рис.3), но и формирование выделенного капиллярного канала (рис.4).

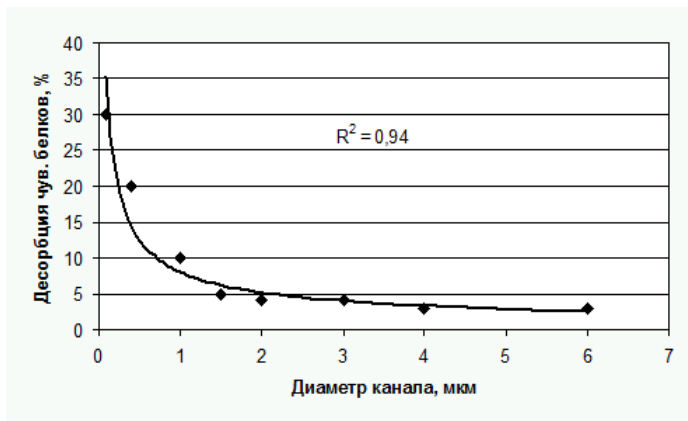


Рисунок 3- Зависимость десорбции чувствительных белков от диаметра фильтрационного канала

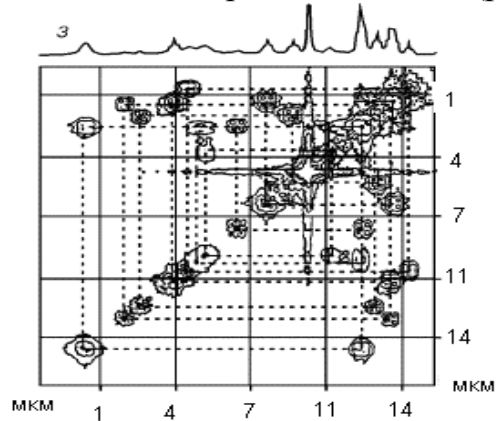


Рисунок 4- Ультразвуковая диаграмма кизельгурового слоя при образовании выделенного канала

В образовании фильтрационного канала и адсорбции коллоидов участвуют также средняя и тонкая фракции кизельгура. Для определения оптимального соотношения между силикагелем и кизельгуром можно воспользоваться формулой Смолуховского, с помощью которой можно ориентировочно рассчитать площадь фильтрационного канала (S) и далее его диаметр.

$$S = k \sum_{i=1}^n (\text{Darcy}_i * \chi_i * A_i), \quad (2)$$

где k – геометрический коэффициент сопряжения силикагеля и кизельгура в фильтрационном объеме;

χ_i – кинетический фактор формирования фильтрационного объема;

A_i – массовое отношение различных фракций кизельгура и силикагеля к общей текущей дозации.

Проведенные исследования показали, что можно практически полностью заменить тонкую фракцию кизельгура силикагелем. При этом отношение между расходом кизельгура средней фракции и силикагеля не должно быть менее 0,6. В этом случае диаметр фильтрационного канала составляет 1,7 мкм (табл.3). При уменьшении этого значения происходит десорбция белков и повышение мутности пива.

Таблица 3 – Влияние отношения расхода кизельгура и силикагеля на диаметр

фильтрационного канала

Вариант	Расход материалов, г/гл		Силикагель	Сумма кизельгура и силикагеля, г/гл	Д, г/г	К	Диаметр канала, мкм
	Фракция кизельгура						
	средняя	тонкая					
1	35	15	50	100	1,00	30	2,0
2	50	-	50	100	1,00	30	2,4
3	30		50	80	0,60	20	1,7
4	20	-	80	100	0,25	10	0,88

Д – отношение расхода кизельгура и силикагеля во время фильтрования

Показано, что показатель мутности пива свидетельствует только о наличии мутеобразующих белков, т.к. после его обработки силикагелем из расчета 30 г/гл мутность напитка независимо от начальной ее величины составляла 0,5 ед. ЕВС. При этом содержание в пиве фенольных соединений (ФС), в том числе танноидов (Т) и антоцианогенов (АЦГ) практически не изменяется. Для их удаления используют селективный адсорбент поливинилполипирролидон (табл. 4).

Таблица 4 – Влияние поливинилполипирролидона на фенольный состав пива и его коллоидную стойкость

Мутность пива до обработки, ед. ЕВС	Расход ПВПП, г/гл	Концентрация, мг/дм ³			Отношение Т+АЦГ/ФС	Коллоидная стойкость, мес.
		Танноиды	АЦГ	ФС		
5,4	0	78,9	78	253	0,62	1
	20	11,8	36	155	0,30	7
	40	11,4	34	155	0,29	6
3,1	0	78,0	83	242	0,66	1
	20	16,1	46	144	0,43	6
	40	13,7	36	132	0,37	6
1,4	0	82,0	67	234	0,63	1
	20	11,6	24	120	0,29	9
	20	15,2	36	152	0,34	7
0,8	0	96,0	88	231	0,79	1
	20	12,6	27	109	0,36	10
	20	14,1	39	135	0,39	9

На основании исследований разработаны критерии оценки пива длительного хранения (табл.5).

Таблица 5 – Параметры светлого пива, характеризующегося стойкостью не менее 6 мес

Параметры	Единицы измерения	Значения
Чувствительные белки	мутность, ед. ЕВС при добавлении 10мг танина на 1 л пива, не более	0,5
Предел осаждения	см ³ насыщенного раствора сульфата аммония/100 см ³ пива, не менее	23,0
Антоцианогены	мг/дм ³ , не более	85,0
Антоцианогены (для пива при использовании ПВПП)	мг/дм ³ , не более	50,0
Танноиды	мг/дм ³ , не более	45
Танноиды (для пива при использовании ПВПП)	мг/дм ³ , не более	20

Исследование и разработка технологии пива с высокой сенсорной стабильностью

При изучении механизмов биосинтеза соединений, изменяющих сенсорный профиль пива при его хранении, было показано, что причиной этих изменений главным образом является образование алифатических и гетероциклических альдегидов и продуктов окисления жирных кислот. Кроме того, имеет значение окислительное расщепление и фотохимическая деградация изо- α -горьких кислот хмеля. Оказывать влияние на скорость протекания указанных реакций можно на всех этапах технологического процесса, начиная с выбора солода и заканчивая использованием тары для розлива пива, произведенной из материала, препятствующего фотохимическому окислению компонентов пива.

Влияние качества сырья на сенсорную стабильность пива. Исследовали стойкость пива к окислению с помощью интегрального метода «Lag-time». Установлено, что изменение показателя сортовой чистоты ячменя, используемого для производства солода, со 100 до 60 % пропорционально снижает время окисления пива с 82 до 60 мин. Это свидетельствует о более высокой концентрации продуктов окисления в напитке, отрицательно сказывающихся на его органолептических свойствах.

Влияние режима затирания на синтез соединений–индикаторов старения пива. В настоящее время выделены три группы соединений, которые являются индикаторами состаренного продукта:

1. 2-фурфурол, 5-метилфурфурол, гамма-ноналактон, являющиеся продуктами реакции Майяра и расщепления аминокислот по Штрекеру при повышении температуры;

2. 2-метилбутаналь, бензальдегид, 2-фенилэтаналь и транс-2-ноненаль, которые образуются в результате окислительно-восстановительных процессов,

протекающих в пиве при его хранении, как в присутствии кислорода, так и без него;

3. 2-ацетилфуран, 2-пропионилфуран, диэтилсукцинат, этилникотинат – образуются в процессе взаимных превращений во время хранения пива.

Перечисленные соединения выявляются в свежем пиве и накапливаются при его хранении. С целью разработки режима затиранья, позволяющего максимально продлить срок хранения пива без изменения его органолептических свойств, были исследованы шесть режимов, технологические параметры (температура и рН), реализация которых способствовала снижению, в первую очередь, активности липазы и липоксигеназы, окислительно-восстановительных и радикальных процессов в пиве, в частности, реакции Фентона.

Первый режим (контрольный вариант) представлял собой классический способ затиранья, который начинается при температуре 52°C, рН затора составлял 5,7. Во втором режиме с помощью молочной кислоты ($C_3H_6O_3$) рН воды на затиранье и промывных вод снижали до значения 5,0-5,1 без изменения температурных пауз, а величину рН затора поддерживали на уровне 5,4. В третьем варианте опыта в затор добавляли галлотанин торговой марки Brewtan (Брютан). Дозировка составляла 5 г/гл воды, используемой на затиранье и промывание дробины. В четвертом режиме рН промывных вод понижали с помощью ортофосфорной кислоты (H_3PO_4) до 5,0-5,1, при поддержании величины рН затора в пределах 5,4. При реализации пятого варианта опыта в сусло добавляли антиоксидант метабисульфит калия ($K_2S_2O_5$) из расчета 5 г/гл воды, взятой на затиранье. В шестом режиме помимо снижения величины рН затиранье начинали при температуре 65°C, рН затора регулировали молочной кислотой, которая вносилась в воду на затиранье и в промывную воду до достижения рН 5,0-5,1. Для уменьшения тепловой нагрузки на сусло длительность паузы в вирпуле сокращали по сравнению с другими вариантами приготовления сусла с 20 до 10 мин. За исключением шестого режима, в котором было изменено время пребывания охмеленного сусла в вирпуле, все последующие операции, начиная с фильтрации затора, проходили в идентичных условиях. Сбраживание сусла проводили дрожжами штамма 34/70 третьей генерации.

Анализ суммарной концентрации соединений, ответственных за появление окисленных тонов в пиве, показал, что при использовании 3 и 6 режима происходит снижение концентрации индикаторов окисления пива по сравнению с классическим способом затиранья: в свежем пиве на 14-20 %, а в состаренном пиве на 20-22 % (табл.6). Исследование одного из окисленных продуктов, существенно изменяющего органолептические свойства пива – транс-2-ноненаля – показало, что только в последнем варианте его содержание в состаренном образце было ниже порога чувствительности (менее 0,1 мкг/дм³) (рис. 5).

Таблица 6 – Суммарная концентрация индикаторов старения пива при разных режимах затиранья

Номер режима и условия затириания				Индикаторы старения пива, мкг/дм ³					
				Окисления		Термической нагрузки		Сумма индикаторов	
№	T, °C	pH	добавка	свежее	состаренное	свежее	состаренное	свежее	состаренное
1	52	5,7	-	15	20,5	64	145	98	179
2	52	5,1	C ₃ H ₆ O ₃	15	18	55	141	86	175
3	52	5,7	галлотаннин	13	16	67	148	92	182
4	52	5,1	H ₃ PO ₄	15	21	65	184	95	223
5	52	5,1	K ₂ S ₂ O ₅	13	18	68	155	86	192
6	65	5,1	C ₃ H ₆ O ₃	12	15	38	104	64	136

Целесообразность использования последнего режима также подтверждается тем, что суммарная концентрация всех соединений, ответственных за изменение органолептических свойств пива после хранения, в этом случае наименьшая – 136 мкг/дм³, что в среднем на 28 % ниже, чем в остальных вариантах.

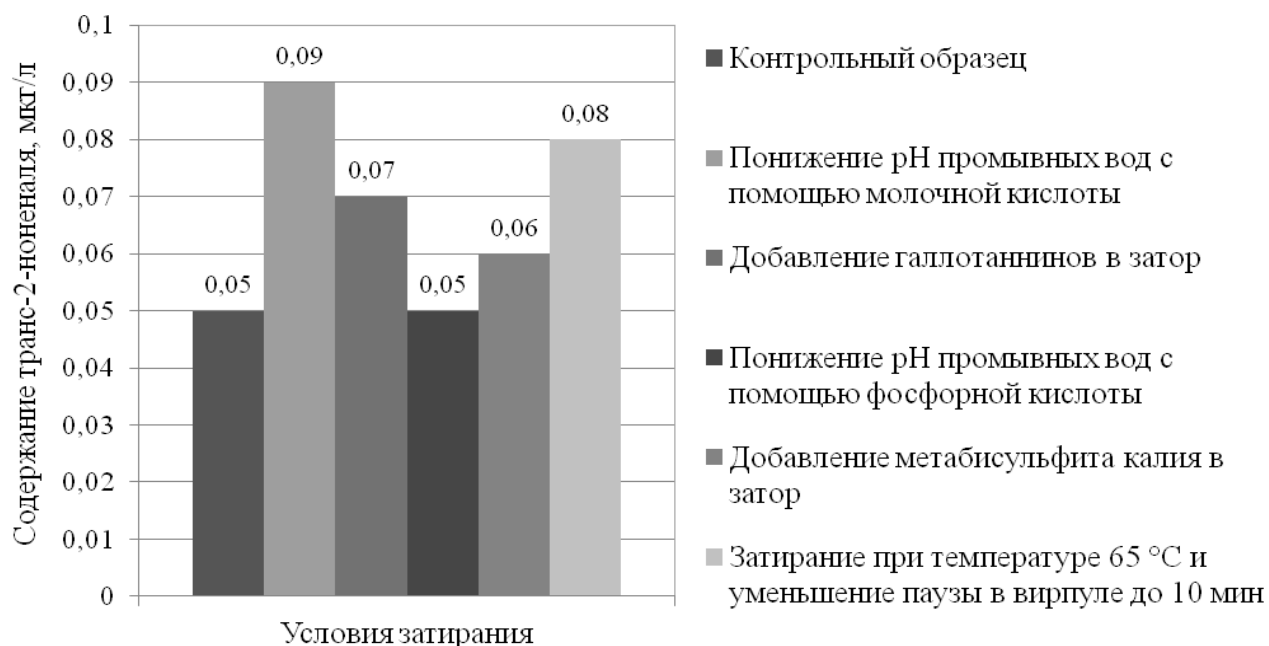


Рисунок 5 – Зависимость содержания транс-2-ноненаля от условий затириания (свежее пиво)

Регулирование биосинтеза диоксида серы и сероводорода. Повышению стабильности пива способствуют антиоксиданты, которые препятствуют процессам окисления в напитках. Естественными антиоксидантами в пиве являются восстановленные соединения серы, например диоксид серы, который предохраняет карбонильные соединения от окисления. Установлено, что больше всего SO₂ в пиве содержится в том случае, когда при затириании отсутствует протеолитическая пауза и процесс начинается при 65 °C. Концентрация диоксида серы в этом варианте была в 2 раза выше, чем в контроле (7,4 против

3,8 мг/дм³). При использовании данного режима затирания образцы пива имели минимальное отношение антоцианогенов к сумме фенольных соединений (0,24 против 0,29 в контроле) и максимальный восстановительный потенциал.

При исследовании метаболизма сероводорода у шести штаммов дрожжей, выявлено, что его максимальная концентрация в период активного размножения клеток и скорость редукции определяется генетическими особенностями дрожжей. Установлено, что новый селекционированный штамм Y-3194 синтезирует в 3-4 раза меньше сероводорода по сравнению с наиболее популярным в пивоварении штаммом 34/70, а его редукция завершается через 5 сут, в то время как для штамма 34/70 для достижения такой же концентрации H₂S требуется 8 дней (рис.6).

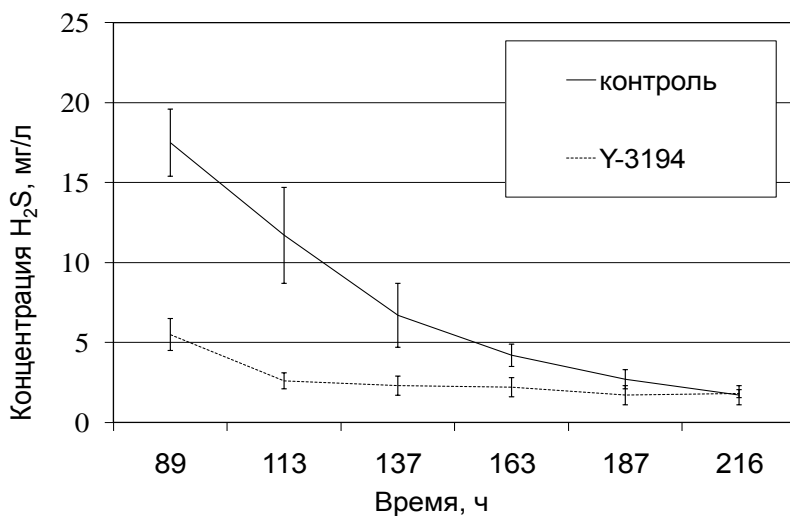


Рисунок 6 –Редукция сероводорода штаммами 34/70 (контроль) и Y-3194

Влияние материала упаковки и условий хранения на изменение органолептических свойств пива. Одним из важных свойств упаковки является защита продукта от УФ-излучения, т.к. под воздействием УФ-лучей в пиве из изо- α -горьких кислот хмеля образуется 3-метил-2-бутен-1-тиол (МБТ), который имеет низкий порог ощущения (0,01мкг/дм³).

Для определения пропускной способности УФ-излучения различных видов упаковки, используемой для пива, применяли спектрофотометрический метод. Наибольшее увеличение концентрации МБТ через 6 мес. хранения отмечено у образца пива, разлитого в бутылку из прозрачного стекла – 1,5 против 0,05 мкг/дм³ для пива в темно-коричневой бутылке.

Также выявлено, что только при хранении пива в стеклянной темно-коричневой бутылке в течение 6 мес. не происходит изменение редокс-потенциала и мутности пива. При выдержке пива в коричневой ПЭТ бутылке через 3 мес. хранения мутность возросла в 1,6 раза, а сумма окисленных соединений на 8,5 %. В первую очередь увеличивается концентрация 2-фенилэтанола, который придает пиву фенольный запах (табл.7).

Таблица 7 – Влияние длительности хранения пива в ПЭТ-бутылке на содержание окисленных соединений

Соединения	Длительность хранения пива, мес.		
	1	3	5
2-Метилбутаналь, мг/дм ³	6,8	6,4	7,6
2- Фенилэтаналь, мг/дм ³	6,3	9,4	9,2
3- Метилбутаналь, мг/дм ³	31,5	34,5	37,0
Сумма окисленных соединений, мг/дм ³	44,6	50,3	53,8

Увеличение содержания окисленных соединений в пиве, которое хранилось в ПЭТ бутылке, связано с повышением концентрации кислорода в продукте, которая возросла с 0,05 до 2,8 мг/л, в то время как при хранении пива в темно-коричневой бутылке эта величина не превышала 0,2 мг/л.

Методологический подход к разработке пива с заданными показателями качества

Для разработки методологии создания новых сортов пива использовали метод структурирования функции качества (Quality Function Deployment), реализация которого требует одновременного участия маркетологов, инженеров и технологов. Этот метод предполагает использование оригинальных табличных форм представления данных, которые получили название «Дома качества» и включает следующие этапы: выделение приоритетных потребительских требований, перевод требований потребителя в конкретные характеристики напитка, выявление корреляции между требованиями потребителя и количественными значениями функции качества, установление корреляции между самими характеристиками продукта и некоторые другие. Для установления корреляционных зависимостей использовали методы математической статистики. Расчет средневзвешенного значения коэффициента для каждой характеристики продукта рассчитывается по формуле:

$$\Gamma_{kcj} = \sum R_{nti} \cdot r_{rij}, \quad (3)$$

где Γ_{kcj} – средневзвешенное значение коэффициента корреляции j-й характеристики;

R_{nti} – рейтинг (вес) i-ого потребительского требования;

r_{rij} – величина коэффициента корреляции между i-м требованием и j-й характеристикой;

n – количество потребительских требований.

Разработка модели «Дом качества» светлого пива длительного срока годности (не менее 6 мес.)

В результате маркетинговых исследований рынка пива было установлено отсутствие сорта пива, удовлетворяющего требованиям молодежной аудитории, ожидания которой прежде всего включало следующие свойства продукта: свежесть – удельный вес 19,1 %, уникальный аромат – 10,5 %, мягкий вкус – 12,8 %, инновационная упаковка – 12,8 %. Также потребители ожидали получить светлое прозрачное пиво с блеском длительного срока хранения, розлитое в прозрачную стеклянную тару. Данные требования потребителя были переведены в технологические характеристики. Они включали значительно больше характеристик продукта: стойкость (X_1), цветность (X_2), мутность (X_3), горечь (X_4), степень сбраживания (X_5), концентрацию серосодержащих летучих соединений (X_6), диацетила (X_{12}) и летучих эфиров (X_7), стойкость к окислению (X_8), содержание сухих веществ (X_{10}), концентрацию этанола (X_{11}), цвет стеклотары (X_9), светостабильность (X_{14}). Такие свойства как массовая доля сухих веществ и алкоголя, низкая горечь и уникальный аромат, прозрачность и блеск напитка определяют его высокую «питкость» (X_{13}).

Далее рассчитывается техническая значимость (табл.8) каждого показателя (подвал), при этом чем сложнее технически реализовать выбранную характеристику, тем выше показатели.

Как видно из табл.8, при построении модели «Дома качества» и формулировании признаков продукта основным требованием была повышенная по сравнению с другими существующими на рынке сортами «питкость» продукта. В первую очередь, такие требования потребителя предполагают производство светлого пива с массовой долей сухих веществ не более 12 % и средним содержанием алкоголя. С другой стороны, для производства продукта с нейтральными органолептическими характеристиками необходимо подобрать соответствующий штамм дрожжей, поскольку именно дрожжи, в основном, определяют ароматику напитка. Что касается термина «мягкий» вкус, то он может быть получен путем снижения показателя горечи пива, достигаемого уменьшением расхода хмелепродуктов.

Таблица 8 – Технологическая значимость показателей качества пива

Показатель качества	Техническая значимость	Удельный вес, %
X_1	300,0	4,6
X_2	261,7	4,2
X_3	491,5	7,8

X ₄	529,8	8,4
X ₅	393,6	6,3
X ₆	508,5	8,1
X ₇	508,5	8,1
X ₈	495,7	7,9
X ₉	325,5	5,2
X ₁₀	162,8	2,8
X ₁₁	444,7	6,1
X ₁₂	431,9	5,9
X ₁₃	419,1	5,7
X ₁₄	619,1	9,9
X ₁₅	369,4	6,2

Для выявления наличия корреляции между показателями качества (табл. 9) используется метод парных сравнений. При заполнении дома качества эти данные помещаются на крыше дома (по диагонали).

Выбор штамма дрожжей. Ввиду того, что вкус и аромат пива, в первую очередь, зависят от штаммовых особенностей дрожжей, было необходимо подобрать штамм, отвечающий поставленной задаче получения пива с уникальными органолептическими свойствами. В результате проведенной работы по селекции дрожжей был получен новый штамм *Saccharomyces cerevisiae* ВКПМ Y-3194 [патент на изобретение № 2340666 «Штамм дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* для применения в пивоваренной промышленности»], обладающий рядом отличительных свойств от известных в настоящее время культур: эффективным брожением (рис. 8) в результате конечная степень сбраживания (RDF) достигалась в значительно быстрее, также как и редукция диацетила (рис. 9).

Таблица 9 – Связь парных характеристик

X _n / X _n	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅
X ₁	*	+	--	-	+	--	+	++	-	+	-	-	+	+	-
X ₂		*	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
X ₃			*	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-
X ₄				*	-	-	-	++	++	-	+	-	-	++	-

X ₅					*	+	-	+	-	+	-	+	+	-	-
X ₆						*	+	++	-	+	+	-	--	-	-
X ₇							*	++	-	+	+	-	+	-	-
X ₈								*	-	+	+	-	-	+	-
X ₉									*	-	-	-	-	++	-
X ₁₀										*	-	-	-	-	-
X ₁₁											*	-	-	-	-
X ₁₂												*	-	-	-
X ₁₃													*	++	-
X ₁₄														*	-
X ₁₅															*

Новый штамм продуцировал пониженное количество сероводорода в конце брожения (см.рис. 6) и характеризовался уникальными органолептическими показателями за счет большего содержания эфиров и высших спиртов (рис. 10).

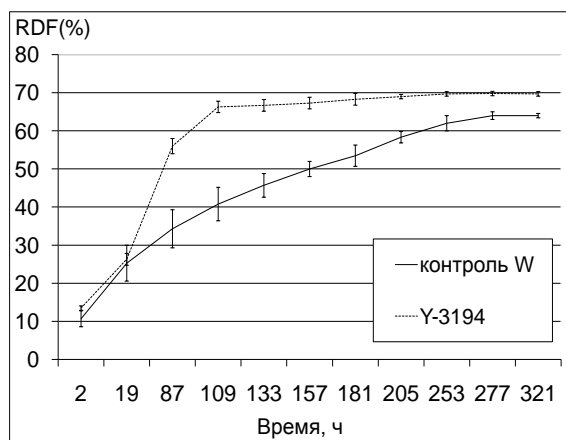


Рис. 8–Степень сбраживания суслу дрожжами штаммов 34/70 (контроль) и Y-3194

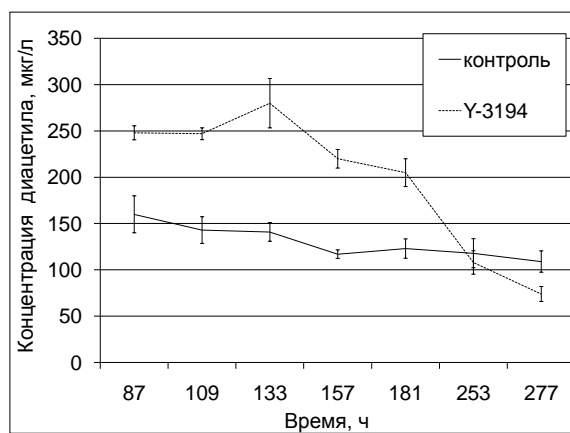


Рис.9–Редукция диацетила дрожжами штаммов 34/70 (контроль) и Y-3194

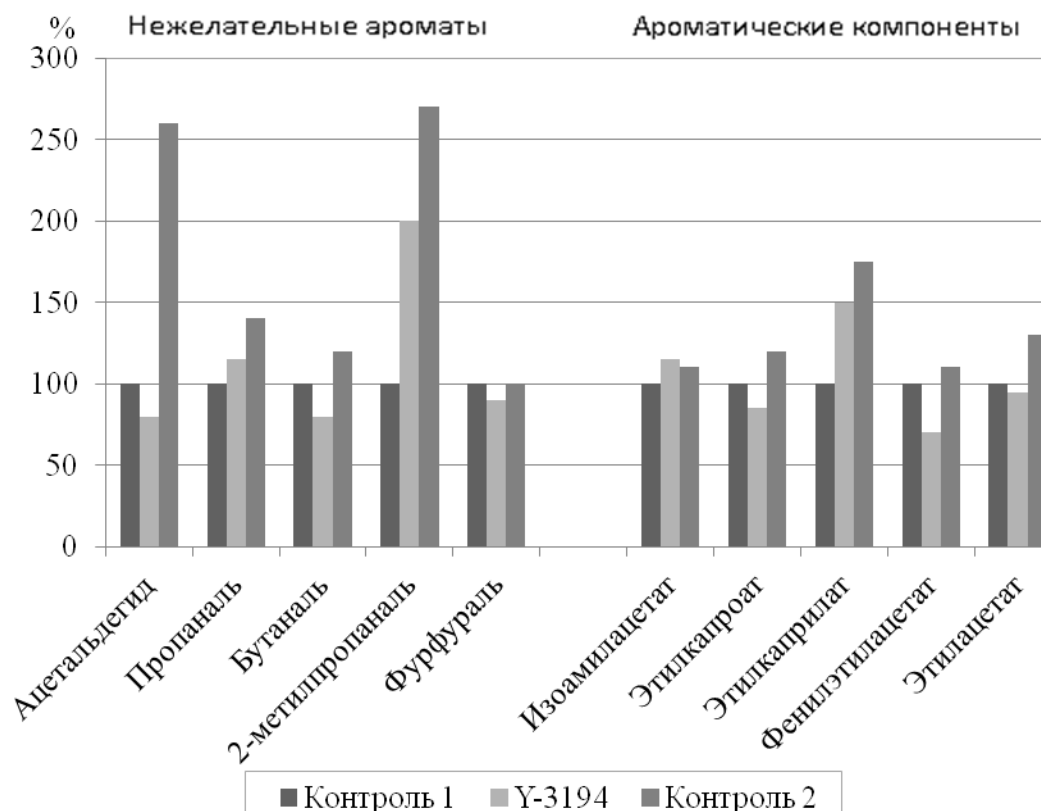


Рис. 10 – Ароматический профиль трех образцов пива, полученных при использовании трех штаммов дрожжей

«Питкость». Поскольку ожиданиям целевой аудитории соответствовало легко пьющееся, утоляющее жажду пиво, технологическим решением этой задачи было снижение горечи пива до 8 ед ЕВU. Для использования инновационной упаковки для пива – прозрачного стекла – изменили его рецептуру, в которой с целью предотвращения радикальных процессов, связанных с превращением изо- α -кислоты и 3-метил-2-бутен-1-тиол, использовали тетра-изо-хопа-экстракт, который не подвергается окислению на свету.

Коллоидная стабильность пива достигалась путем обработки пива силикагелем и ПВПП, доза которых за счет использования нового штамма снизилась на 20%. Кроме того, использование нового штамма повысило сенсорную стабильность пива.

Разработана технология пива «Балтика Кулер», которое выпускается по ТУ 9184-093-01824944.

Разработка модели «Дом качества» светлого пива «Живое»

При разработке технологии сорта пива «Живое» были учтены пожелания потребителей, главными из которых являлись короткий срок годности и доступная цена (табл. 10). С целью получения продукта, отвечающего ожиданиям потребителя, было выделено 12 основных физико-химических характеристик пива: стойкость (X_1), цветность (X_2), мутность (X_3), горечь – задача хмеля (X_4), содержание сухих веществ (X_5), концентрация этанола (X_6), степень сбраживания (X_7), концентрация серосодержащих летучих соединений (X_8), концентрация летучих эфиров (X_9), стойкость к окислению (X_{10}), питкость (X_{11}), концентрация диацетила (X_{12}).

Установлена теснота связи между удовлетворением требований потребителя и характеристикой продукта (табл. 11).

Таблица 10 – Перечень потребительских требований и их ранжирование согласно методу парных сравнений

Номер п/п	Потребительские требования	Ранг (или удельный вес характеристики), %
1	Короткий срок годности	19
2	Светлое пиво	8
3	Непастеризованной	16
4	Наличие аромата	11
5	Полный вкус	11
6	Простая упаковка	11
7	Доступная цена	24
Сумма		100

Таблица 11 – Теснота связи парных характеристик продукта

X_n / X_n	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
X_1	*		+	+		+	+	+	+	+		+
X_2		*			+					+		
X_3			*		-	+	-			+	-	
X_4				*			+			-	+	
X_5					*	+	+	+	+		-	-
X_6						*	+			-	+	
X_7							*			+	+	+
X_8								*	+	+	-	
X_9									*	+	+	
X_{10}										*	-	
X_{11}											*	-
X_{12}												*

Было установлено, что в связи с низким сроком хранения продукта (не более 3-х мес.) можно исключить ряд операций, связанных с повышением коллоидной стабильности пива, таких как стабилизация белковой и фенольной стойкости, предусматривающая использование вспомогательных материалов. Для повышения питкости необходимо снизить расход хмелепродуктов. Ввиду того, что пиво должно быть непастеризованным следует обратить внимание на окисляемость продукта, повышая его антиоксидантные свойства. Учитывая все выше перечисленное, была разработана технология пива «Живое», которое выпускается по ТУ 9184-043-01824944.

ВЫВОДЫ

В результате исследования физико-химических процессов при хранении пива установлены новые закономерности образования коллоидных помутнений и роль соединений, ответственных за изменение вкуса пива при его хранении и разработаны биотехнологические основы регулирования качества светлого пива.

1. Впервые определен электрофоретический потенциал (ЭФ) соединений, ответственных за коллоидные помутнения. Показано, что причиной помутнения пива, помимо белков (ЭП= +0,9801) и полифенолов (ЭФ= -0,2784) являются декстрины с числом глюкозидных остатков от 10 до 18. Эти соединения имеют высокое значение анодного потенциала (-1,0008) и могут быть удалены только путем гидролиза ферментами с амилаглюкозидазной активностью.

2. Доказано, что для стабилизации коллоидной системы пива имеет значение Z-потенциал мембраны дрожжевой клетки. Повышению значения потенциала способствует аэрирование питательной среды. В процессе брожения вследствие снижения метаболической активности дрожжей и адсорбции на их поверхности коллоидных частиц, в основном белков, происходит падение Z-потенциала и при его величине ниже 35 мВ начинается процесс флокуляции и седиментации дрожжей. Установлено, что средний размер адсорбированных на поверхности дрожжей частиц составляет в основном 0,31-0,39 мкм.

3. Установлено, что мутность пива связана с физиологическим состоянием клеток. Снижение доли жизнеспособных клеток с 96 до 87 % увеличивает мутность пива с 1,5 до 3,3 ед. ЕВС за счет уменьшения адсорбции мутеобразующих соединений. Штаммовые особенности дрожжей, в частности их устойчивость к стрессам, также влияют на коллоидную систему пива. Клетки, устойчивые к гидростатическому давлению, как показано на примере селекционированного штамма Y-3194, адсорбируют на своей поверхности в 2 раза больше коллоидных частиц, чем другие высокотехнологичные штаммы.

4. Экспериментально установлено, что десорбция чувствительных белков в процессе фильтрования пива возрастает при диаметре фильтрационного канала менее 1,6 мкм. Диаметр канала определяется соотношением между фракциями кизельгура и силикагеля. С помощью формулы Смолуховского рассчитаны диаметры фильтрационных каналов для различных коэффициентов сопряжения силикагеля и кизельгура (от 10 до 40) при дифференциальном давлении 1 бар и определено соотношение между фракциями тонкого и грубого кизельгура, которое должно находиться в интервале от 0,6 до 1,0 г/г.

5. Даны технологические решения по стабилизации коллоидной системы пива с помощью силикагеля и поливинилполипирролидона. Расход силикагеля для удаления чувствительных белков при осветлении пива на сепараторе составляет 30 г/гл, без осветления -50 г/гл. Повышение дозы силикагеля свыше 50 г/гл снижает пеностойкость пива. При данном расходе силикагеля стойкость пива не превышает 3 мес. Удаление антоцианогенов и танноидов

поливинилполипирролидоном способствует снижению индекса полимеризации с 0,6 до 0,3-0,4 и повышению стойкости продукта до 6 мес. и более.

6. Установлены параметры процесса затиранья солода, обеспечивающие повышение вкусовой стабильности пива. Доказано, что исключение цитолитической и протеолитической пауз и начале затиранья с 65 °С, а также ведение процесса при величине рН 5,1 снижает концентрацию алифатических (предельных и непредельных) и гетероциклических альдегидов как в свежем пиве, так и пиве после 6 мес. хранения. В результате суммарная концентрация всех соединений, ответственных за изменение органолептических свойств пива, уменьшается на 40 % по сравнению с известными режимами затиранья. Только в этом случае концентрация транс-2-ноненаля в состаренном пиве была ниже порога ощущения, а концентрация диоксида серы была максимальной – 7,5 мг/дм³.

7. Получены эмпирические модели зависимости концентрации диацетила в пиве от температуры брожения и величины засева дрожжей, которые можно использовать для определения длительности процесса созревания пива.

8. Получены данные по влиянию штамма дрожжей, их физиологического состояния на синтез и редукцию сероводорода. Среди наиболее популярных штаммов дрожжей, применяемых в настоящее время при производстве пива, максимальной скоростью редукции обладает штамм Y-3194.

9. Получены новые данные о влиянии материала упаковки на показатели качества пива. Установлено, что хранение пива в бутылке из прозрачного стекла приводит к изменению качественных показателей (концентрации 3-метил-2-бутен-1-тиола, мутности и редокс-потенциала) уже через 1 мес. хранения. При хранении пива в ПЭТ бутылке и в бутылке из зеленого стекла срок хранения пива составляет три месяца, и только при использовании бутылки из коричневого стекла – более 6 мес.

10. Установлено, что хранение пива в ПЭТ бутылке более 2 мес. приводит к увеличению концентрации кислорода в продукте в 14 раз, при этом мутность напитка в среднем повышается на 11 %, а сумма окисленных соединений на 4,1 % в месяц.

11. Структурированы показатели качества светлого пива. С помощью модели «дом качества», адаптированной к пивоварению, ранжированы основные показатели качества светлого пива и установлены направления создания технологии пива разного срока годности. Приведены модели «дома качества» для пива длительного хранения (не менее 6 мес.) и непастеризованного пива, срок годности которого составляет 3 мес. Разработана техническая документация.

12. Экономический эффект от внедрения светлого пива длительного срока хранения с оригинальным вкусом (Кулер) в 2007 г. составил 7,5 млрд. руб., «живого пива» - 620 млн. руб. (2010 г).

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Монография

1. Меледина, Т.В. Качество пива: стабильность вкуса и аромата, коллоидная стойкость, дегустация / Т.В. Меледина, А.Т. Дедегкаев, Д.В. Афонин. – СПб.: ИД «Профессия», 2011. – 220 с.

Статьи в реферируемых журналах

2. Дедегкаев, А.Т. Влияние материалов упаковки на качество пива / А.Т. Дедегкаев, В.У. Цаллагов, И.Г. Вишняков, Т.В. Меледина // Пиво и напитки. – 2009. – №1. – С. 50-51.

3. Дедегкаев, А.Т. Применение сополимера «Амосорб» для повышения свойств ПЭТ-бутылки / А.Т. Дедегкаев, В.У. Цаллагов, Т.В. Меледина, Е.В. Нестеренко // Пиво и напитки. – 2009. – №2. – С.52-53.

4. Меледина, Т.В. Сульфосоединения в пиве / Т.В. Меледина, О.Б. Иванченко, А.Т. Дедегкаев // Пиво и напитки. – 2010. – №5. – С. 5-8.

5. Меледина, Т.В. Сульфосоединения в пиве. Диметилсульфид / Т.В. Меледина, О.Б. Иванченко, А.Т. Дедегкаев // Пиво и напитки. – 2010. – №6. – С. 20-22.

6. Дедегкаев, А.Т. Факторы, определяющие содержание некоторых гетероциклических соединений в пиве. [Электронный ресурс] / А.Т. Дедегкаев, Б.Э. Баташов, В.В.Соболев // Электронный научный журнал «Процессы и аппараты пищевых производств» / ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий». – Электронный журнал – СПб: СПбГУНиПТ, 2010. – №2. – сент. 2010. (<http://www.open-mechanics.com/journals>).

7. Давыденко, С.Г. Новый штамм дрожжей для пивоварения: свойства и преимущества / С.Г. Давыденко, Б.Ф. Яровой, В.П. Степанова В.П., Б.Э. Баташов, А.Т. Дедегкаев // Генетика. – 2010. – Т. 46. – № 11. – С. 1473-1484.

8. Дедегкаев, А.Т. Пути повышения коллоидной стойкости пива с высоким содержанием декстринов [Электронный ресурс] / А.Т. Дедегкаев // Электронный научный журнал «Процессы и аппараты пищевых производств» / ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий». – Электронный журнал – СПб: СПбГУНиПТ, 2011. – №1. – март 2011. (<http://www.open-mechanics.com/journals>).

9. Давыденко, С.Г. Создание штамма дрожжей для нового пивного бренда «Балтика «Кулер» / С.Г. Давыденко, Д.В.Афонин, Б.Э. Баташов, А.Т. Дедегкаев // Пиво и напитки. – 2011. – №3. – С. 43-47.

10. Дедегкаев, А.Т. Влияние длительности хранения солода на физико-химические и сенсорные характеристики пива [Электронный ресурс] / А.Т. Дедегкаев, Б.Э. Баташов, П.А. Гладилин // Электронный научный журнал «Процессы и аппараты пищевых производств» / ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий». –

Электронный журнал – СПб: СПбГУНиПТ, 2011. – №2. – сент. 2011. (<http://www.open-mechanics.com/journals>).

11. Баташов, Б.Э. <mailto:A.T.%20ded@spb.baltika.ru> Влияние режима затирания солода на содержание транс-2-ноненаля в пиве [Электронный ресурс] / Б.Э. Баташов, А.Т. Дедегкаев <mailto:A.T.%20ded@spb.baltika.ru>, Д.В. Афонин // Электронный научный журнал «Процессы и аппараты пищевых производств» / ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий». – Электронный журнал – СПб: СПбГУНиПТ, 2011. – №2. – сент. 2011. (<http://www.open-mechanics.com/journals>).

12. Давыденко, С.Г. Применение методов окраски дрожжей для оценки их физиологического состояния / С.Г. Давыденко, Л.М. Васильева, Б.Э. Баташов, А.Т. Дедегкаев // Пиво и напитки. – 2011. – №5. – С. 8-11.

13. Афонин, Д.В. Влияние процессов, протекающих при сбраживании сусла, на инициальную мутность пива / Д.В. Афонин, А.Т. Дедегкаев, С.Г. Давыденко, Т.В. Меледина // Пиво и напитки. – 2012. – №1. – С.26-29.

14. Дедегкаев, А.Т. Использование метода "Quality Function Deployment" при разработке новых сортов пива / А.Т. Дедегкаев // Пиво и напитки. – 2012. – №3. – С. 16-18.

15. Тишин, В.Б. Влияние некоторых факторов на кинетику образования диацетила в процессе брожения пивного сусла. / В.Б. Тишин, Т.В. Меледина, А.Т. Дедегкаев // Пиво и напитки. – 2012. – №4. – С. 14-16.

16. Дедегкаев, А.Т. Методологический подход к разработке нового сорта пива с использованием модели «Дома качества». Планирование и проектирование продукта / А.Т. Дедегкаев // Пиво и напитки. – 2012. – №4. – С. 4–7.

17. Давыденко, С.Г. Методологический подход к разработке нового сорта пива с использованием модели «Дома качества». Проектирование процесса / С.Г. Давыденко, А.Т. Дедегкаев, Т.В. Меледина // Пиво и напитки. – 2012. – №5. – С. 6-9.

Статьи в других изданиях

18. Меледина, Т.В. Технологический подход к регулированию сенсорного профиля пива, ч. IV. Сульфосоединения в пиве / Т.В. Меледина, А.Т. Дедегкаев, И.П. Лебедева // Индустрия напитков. – 2005. – 1(37). – С.10-15.
19. Дедегкаев, А.Т. Кукуруза – технологическое сырье в пивоварении / А.Т. Дедегкаев // Индустрия напитков. – 2005. – №1. – С.50-54.
20. Дедегкаев, А.Т. Коллоидные помутнения в пиве. Причины их возникновения / А.Т. Дедегкаев // Индустрия напитков. – 2005. – №2. – С.20-26.
21. Дедегкаев, А.Т. Глицерин – антистрессовый метаболит дрожжей *S. cerevisiae* / А.Т. Дедегкаев, Д.В. Афонин, Т.В. Меледина, С.А. Черепанов // Вестник международной академии холода. – СПб-Москва. – 2005. – вып.2. – С.47-48.
22. Дедегкаев, А.Т. Исследование влияние предфилтрационных процессов на мутность пива / А.Т. Дедегкаев, Д.В. Афонин, Т.В. Меледина // Индустрия напитков. – 2006. – №2. – С.36-39.
23. Дедегкаев, А.Т. Комплексный подход к повышению коллоидной стойкости пива / А.Т. Дедегкаев, Д.В. Афонин, Т.В. Меледина // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2007. – № 1(296). – С. 54-56.
24. Меледина, Т.В. Исследование динамики диметилсульфида в процессе получения пива / Т.В. Меледина, Е.В. Лебедева, А.Т. Дедегкаев, Д.В. Афонин // Вестник МАХ. – 2007. – №1. – С. 9-13.
25. Дедегкаев, А.Т. Гетероциклические соединения в пиве. / А.Т. Дедегкаев, Б.Э. Баташов, Д.В. Афонин, В.В. Соболев // Индустрия напитков. – 2010. – №5. – С. 10-12.
26. Дедегкаев, А.Т. Транс-2-ноненаль– индикатор окисления пива / А.Т. Дедегкаев, Б.Э. Баташов, Д.В. Афонин // Индустрия напитков. – 2010. – №7. – С. 16-18
27. Дедегкаев, А.Т. Пути повышения коллоидной стойкости пива / А.Т. Дедегкаев // Индустрия напитков. – 2011. – №1. – С. 8-11.
28. Дедегкаев, А.Т. Индикаторы вкусовой стабильности пива. Часть 1. Алифатические и ароматические альдегиды / А.Т. Дедегкаев, Д.В. Афонин, Т.В. Меледина, В.В. Соболев // Brauwelt – Мир пива и напитков.– 2011. – №2. – С. 81-86.
29. Дедегкаев, А.Т. Индикаторы вкусовой стабильности пива. Часть 2. Транс-2-ноненаль / А.Т. Дедегкаев, Б.Э. Баташов, Д.В. Афонин // Brauwelt – Мир пива и напитков. – 2011. – №4. – С. 155-158.
30. Дедегкаев, А.Т. Индикаторы вкусовой стабильности пива. Часть 3. / А.Т. Дедегкаев, Б.Э. Баташов, Д.В. Афонин, В.В. Соболев // Brauwelt – Мир пива и напитков. – 2012. – №1. – С. 26-28.

31. Дедегкаев, А.Т. Стратегия разработки нового сорта пива. Часть 1. Сегментация рынка / А.Т. Дедегкаев // Индустрия напитков. – 2012. – №2. – С. 36-39.

Конференции

32. Дедегкаев, А.Т. Влияние материала бутылки на редокс-потенциал и мутность пива во время хранения // Тезисы докл. международной научно-технической конференции «Техника и технология пищевых производств», Могилев, 18-20.05.2005. – Могилев, 2005. – С. 54.

33. Дедегкаев, А.Т. Влияние процессов, протекающих при брожении пива на инициальную мутность пива / А.Т. Дедегкаев, Д.В. Афонин, Т.В. Меледина // Пищевая и морская биотехнология. Проблемы и перспективы: Материалы научно-практической конференции: Калининград, 4-5 июля 2006. – МАКС Пресс, 2006. – С. 77.

34. Дедегкаев, А.Т. Исследование влияния режимов получения солодового суслу на содержание диоксида серы и полифенолов в пиве / А.Т. Дедегкаев, И.Г. Вишняков, Т.В. Меледина, Е.В. Нестеренко // Инновационные технологии в пищевой промышленности: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 18-20 сентября 2009 г. – Самара: Самарский гос. тех. ун-т. – 2009. – С. 61.

35. Дедегкаев, А.Т. Стабилизация пива с помощью поливинилполипирролидона / А.Т. Дедегкаев // Матер. IV Международной научно-технической конференции "Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке", Санкт-Петербург, 25-27 ноября 2009 г. – СПб: СПбГУНиПТ. – С. 350-351.

36. Дедегкаев, А.Т. Влияние режимов затиранья солода на содержание транс-2-ноненаля в пиве / А.Т. Дедегкаев, Д.В. Афонин, Т.В. Меледина, В.В. Соболев // Матер. IV Международной научно-технической конференции "Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке", Санкт-Петербург, 25-27 ноября 2009 г. – СПб: СПбГУНиПТ. – 2009. – С. 360-362.

37. Давыденко, С.Г. Динамика редукации диацетила в процессе пивоварения с использованием повышенного гидростатического давления / С.Г. Давыденко, Л.В. Васильева, Д.В. Афонин, Б.Э. Баташов, А.Т. Дедегкаев // Материалы 4-ой Международной научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы развития пищевой промышленности и общественного питания», г. Челябинск, 22-23 октября 2010 года. – Челябинск. – Изд. ЮУрГУ. – 2010. – с. 86-89.

38. Дедегкаев, А.Т. Влияние режима затиранья на биосинтез диоксида серы при брожении пива / Пищевые добавки и современные технологии переработки сельскохозяйственного сырья: Материалы докладов Всероссийской конференции, 1-2 июня 2011 г. – Санкт-Петербург: Изд-во ВНИИПАКК, 2011. – С. 140-141

39. Давыденко, С.Г. Новый штамм дрожжей, устойчивый к повышенной температуре, с улучшенными свойствами для пивоваренной промышленности / С.Г. Давыденко, Б.Э. Баташов, А.Т. Дедегкаев // Материалы 5-ой Международной научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы развития пищевой промышленности и общественного питания», г. Челябинск, 20-21 октября 2011 года. – Челябинск. – Изд. ЮУрГУ. – 2011. – с. 79-83.

40. Дедегкаев, А.Т. Биосинтез серосодержащих веществ в процессе брожения пива / А.Т. Дедегкаев // Материалы V Международной научно-технической конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке», Санкт-Петербург, 22-24 ноября 2011 г. – СПб: СПбГУНиПТ. – 2011. – С. 397-398.

41. Davydenko, S.G. Creation of a new beer brand: methodological approach / S.G. Davydenko, A.T. Dedegkaev, D.V. Afonin, T.V. Meledina // Current Pharmaceutical Biotechnology, Abstract of the 1st Biotechnology World Congress, February 14-15 2012, Dubai, U.A.E., P. 95.

42. Дедегкаев, А.Т. Проблемы плотного пивоварения / А.Т. Дедегкаев // Вода в пищевой промышленности: качество, безопасность, экология: Материалы 3-го Международного Форума 24-27 апреля 2012 г. – СПб ИУиПТ. – С. 82-83.

43. Биотехнологические решения в пивоварении / С.Г. Давыденко, А.Т. Дедегкаев, Б.Э. Баташов // Биотехнология. Взгляд в будущее. Сборник трудов Международной Интернет-конференции, Казань, 17-19 апреля 2012 г. – Казань: Изд-во «Казанский Университет». – 2012. – С. 62-65.

Патенты

44. Патент № 2185428 Российская Федерация, МПК⁷ С12С7/00, С12С12/00. Способ производства светлого пива «Балтика классическое №3» / Боллоев Т.К., Тлехурай А.Л., Дедегкаев А.Т.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Пивоваренная компания "Балтика". – № 2000132274/13, заявл. 22.12.2000; опубл. 20.07.02.

45. Патент № 2185429 Российская Федерация, МПК⁷ С12С7/00, С12С7/047. Способ производства крепкого пива «Балтика крепкое №9» / Боллоев Т.К., Тлехурай А.Л., Дедегкаев А.Т.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Пивоваренная компания "Балтика". – № 2000132277/13, заявл. 22.12.2000; опубл. 20.07.02.

46. Патент № 2188855 Российская Федерация, МПК⁷ С12С7/00, С12С7/047. Способ производства светлого пива «Балтика экспортное №7» / Боллоев Т.К., Тлехурай А.Л., Дедегкаев А.Т.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Пивоваренная компания "Балтика". – № 2000132275/13, заявл. 22.12.2000; опубл. 10.09.02.

47. Патент № 2195480 Российская Федерация, МПК⁷ С12С7/00, С12С7/047, С12С11/00. Способ производства светлого пива «Балтика парнас №5»

/ Боллоев Т.К., Тлехурай А.Л., Дедегкаев А.Т.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Пивоваренная компания "Балтика". – № 2000132279/13, заявл. 22.12.2000; опубл. 27.12.02.

48. Патент № 2340666 Российская Федерация, МПК С12N1/18. Штамм дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* для применения в пивоваренной промышленности / Давыденко С.Г., Афонин Д.В., Дедегкаев А.Т. и др.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Пивоваренная компания "Балтика". – № 2000132279/13, заявл. 12.04.2007; опубл. 10.12.08.