

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ПРОБЛЕМЫ ПИВОВАРЕНИЯ

В статье представлен проблемно-тематический обзор работ по усовершенствованию технологии производства пива. Выделены критические показатели качества пива и их зависимость от применяемой технологии, определены наиболее информативные параметры. Дана оценка возможностей технологического мониторинга и автоматизации отдельных этапов приготовления пива. Предложенный подход базируется на медико-токсикологических критериях анализа технологического процесса. Информация представляет интерес как для производителей, так и для потребителей пива.

Суть проблемы: Традиционная технология приготовления пива с оценкой его качества по органолептическим показателям давно перестала удовлетворять как потребителей, так и производителей. Социальные последствия «пивного алкоголизма» привели к необходимости выработки требований оздоровления производства и ужесточения контроля качества продукта, что и является целью настоящего исследования.

Принципиальные подходы к изменению технологии пивоварения различны у отечественных НИЦ и зарубежных фирм-производителей. Преобладают экономические соображения объемов (пределов) модернизации производства, обусловленные наступательными требованиями законодателей.

Медико-токсикологической оценке производства посвящены единичные исследования /Анцешко М.И., 1986/, выявившие полное несоответствие критериев оценки качества пива как пищевого продукта (количество алкоголя, плотность, мутность, цветность и др.) последствиям его хронического употребления и этапам приготовления пива, на которых эти негативные последствия возникают. Между тем установлено, что вторая фаза наркотического действия пива зависит не от процентного содержания алкоголя в выпитом пиве, а от реакции организма человека на некоторые побочные продукты брожения (ацетальдегиды, кетоны и др.). Эти продукты, действующие как наркотики, окисляются в организме через фазу этилового спирта и находятся в пиве в концентрациях, превышающих содержание первичного алкоголя. Правы те законодатели, которые процентное содержание этилового спирта в пиве (4-13 %) считают необходимым удваивать или даже утраивать из-за содержания в нем не только этилового спирта, но также эфиров и высших спиртов. Однако эти соединения – вторичные продукты брожения и разложения углеводородных соединений – не входят в спектр санитарного контроля ни готовой продукции, ни в этапы технологического контроля. Более того, лучшее вкусовое качество пива увязывают с содержанием в нем большего количества высших спиртов – продук-

тов брожения, которые действуют на организм как гепатотропные яды.

Опубликовано, запатентовано или аннотировано огромное количество предложений по модернизации технологии как всего процесса производства пива или отдельных его этапов, так и практически каждого из компонентов, участвующих в его приготовлении. Нами анализируются основные модификации классической технологии пивоварения, включающей следующие основные этапы: 1. Выбор и подготовка сырья; 2. Осахаривание зернопродуктов (затираание, приготовление затора); 3. Фильтрация солодового суслу (осветление); 4. Охмеление суслу (кипячение суслу с хмелепродуктом); 5. Охлаждение (как способ физико-химической стабилизации пива); 6. Первичное сбраживание начального суслу; 7. Созревание пива (дображивание); 8. Кольцевой анализ параметров пива; 9. Розлив и бутылирование пива.

1. Основная часть всех модификаций приходится на первый этап пивоварения, а именно на **выбор и подготовку сырья**. **Пивоваренный солод: «солод, приготовленный из пивоваренного ячменя или пшеницы по определенной технологии, соответствующий требованиям нормативно-технической документации».*

Технология пивоварения, в которой более 20% от общих затрат приходится на солод, относится к числу наиболее материалоемких производств. Оправдано стремление снизить себестоимость пива применением повышенных количеств несоложенного ячменя вместо дорогостоящего солода, при этом существенно возрастает объем использования ферментных препаратов, себестоимость которых на порядок выше стоимости солода.

1.1. Прогнозирование качества солода в зависимости от пивоваренных свойств ячменя рассмотрено в работах /Ипатова П.А., 1982; Verbeure Eddy, 1998/, а также – использование пшеницы вместо ячменя /Кобелев К.В., Ермолаева Г.А., 2001/. Предлагается использование риса и гороха в качестве несоложенного сырья /Мальшев А.В., патент №2162882, 2001/. Вместо солода – неотшелушенный рис, как витаминную и минеральную добавку к сырью /Бхуртиал М.М., Ермолаева Г.А.,

* Здесь и далее термины и определения приведены по ГОСТ 29018-91– Пивоваренная промышленность. Термины и определения.

Гернет М.В., 2000/, трава и зерна «амаранта зольчатого» рассматриваются как несоложеное сырье /Гусева Г.В., 2000/. Установлена прямая зависимость содержания алкоголя в готовом пиве от содержания сахаров (мальтозы) в исходном зерне: преимущества имеет сырье, содержащее более 9% сахаров. Предложены технологии производства пивного суслу с использованием повышенных количеств несоложеного сырья для его сбраживания /Орещенко Н.В., 1983/. Однако лишь в 1990 утверждена отечественная методика определения и нормирования выхода готовой продукции, а также расхода зернопродуктов и сахара при производстве солода пивоваренного ячменного пива /Методика НПО напитков и мин. вод, М., 1990/.

1.2. Качество исходной (родниковой) воды у австрийских, баварских и чешских пивоваров всегда определяло качество пива. Современными технологиями налажена коррекция кислотного (рН) и солевого состава воды, используемой для приготовления затора, а также других этапов пивоварения. В последнее время удается интенсификация технологий солодоращения с применением активированной различными способами, в том числе электрохимически обработанной, воды /Филатова Т.З., 1989/.

1.3. Предлагается совмещенный способ солодоращения: проведение нескольких стадий солодоращения – замачивания, ращения и сушки, или замачивания и ращения, или ращения и сушки в одном аппарате – по /ГОСТ 29018-91/. Установлено, что предварительно замоченное зерно быстрее прорастает в электрическом поле /Юрьев Д.Н., 2000/. Ускоряет прорастание зерна его предварительная обработка биологически активными средствами и ферментами /Квасенков О.И. и др., 2000/, стимуляторами роста в виде арахидоновой, эйкозопентановой или жасмоновой кислотами с добавлением щелочных металлов и аммонита /Квасенков О.И. и др., 2000/. Обработка солода «иммуноцитифитом» /Казакова Е.А., 2000/ действует и как стимулятор роста, и как средство борьбы с болезнями прорастающего зерна. Это необходимо и особенно актуально сейчас, так как для пивоварения неприменимы обычные методы дезинфекции зерна, а без применения ядохимикатов возможны болезни пивоваров, связанные с болезнями зерна (чесоточный клещ, грибковые заболевания и др.). Кроме того, известно, что в 1 г свежесобранного доброкачественного зерна (ячменя) обнаруживаются сотни тысяч клеток микроорганизмов, из которых 1-2% составляют мицелиальные грибки. Развиваясь в бродильных помещениях на оборудовании и таре, они не только придают пиву затхлый подвальный привкус, но и изменяют его химический состав токсическими продуктами жизнедеятельности (афлатоксин, ократоксин А, стериг-

маистин, тентоксин, и др. – суммарной концентрацией до 130 мг/г) /Каптерева Ю.В., и др., 1990/.

1.4. Процесс сушки солода при подготовке к этапу затирания попытались сделать объектом автоматизированного управления. Разработана математическая модель и алгоритм обеспечения задачи, основанный на термодинамическом подходе /Фоменко О.Б., 1986/.

1.5. Трудности управления процессом прорастания ячменя (соложением) привели к разработке альтернативных технологий. Оказалось, что «соложение зерна» не является обязательным этапом пивоварения. Ферментацию крахмала зерна, производимую растущим зародышевым ростком, можно смоделировать. Разработана и применена мультиэнзимная композиция для производства пива с использованием повышенных количеств несоложеного ячменя /Пешая Т.В., 1984/. Московскими пивоварами была разработана технология получения концентрированных ферментных препаратов группы «глюко-б – амилазы» /Погоржельская Н.С., 1993/. Установлено, что солодовая предельная декстриназа ускоряет гликолиз б-1, 6 глюкозидных связей крахмала /Stenholm K., 1997/, а стимуляция ферментативных процессов разложения солода аминокислотными ферментами (Ермолаева Г.А., 1997), в том числе с использованием микробных ферментных препаратов (Камышова Н.В., 1997, Василенко О.М., 1985), резко углубляет процесс использования белковой составляющей зерна солода. Технология производства пива с применением ферментных препаратов типа «амилоризина П10Х и протосубтилина Г10Х» регламентирована типовыми инструкциями по технологии пивоварения (Технология производства пива с применением ферментных препаратов амилоризина П10Х и протосубтилина Г10Х, М., 1978).

1.6. Революционной поправкой в технологии пивоварения следует считать предложение отказа от использования солода с его проблемами (в том числе вероятностью потери витаминов группы В, РР, К и др.), а использовать как сырье специально изготовленные аминокислотно-углеводные композиции, обработанные специализированными ферментными препаратами вместо дрожжей. Это позволит сократить количество этапов пивоварения и улучшить качество конечного продукта, сделав процесс пивоварения управляемым.

Таким образом, уже на этапе выбора сырья основными технологическими мероприятиями являются управляемые технологии и замена процессов стихийной ферментации углеводов и белков в прорастающем зерне готовыми аминокислотно-углеводными композициями /Позднякова В.М., 1984/ и ферментными системами /Лившиц Д.Б., 1982/ для обеспечения управляемого процесса сбраживания.

2.1. «Осахаривание зернопродуктов» (приготовление *затора: «смеси дробленых зернопродуктов с водой») в настоящее время сочетается с измельчением солода специальными мельницами до определенных размеров частиц, что способствует лучшему взаимодействию сырья с ферментными препаратами проросшего зародыша или специально внесенными ферментными препаратами, например фирмы Rhodia /Казорян А.Г., 2001/. Учитывая влияние размеров частиц зернопродуктов на скорость протекания ферментативных процессов, кажется странным отсутствие технологических предложений по использованию современных ультразвуковых дезинтеграторов на этапе «затирания» солода. Обнадеживающие результаты получены в эксперименте на кафедре пищевой биотехнологии ГОУ ОГУ с применением кавитационных методов дробления (Касперович В.Л., 2002).

2.2. Показаны преимущества стимуляции естественных ферментативных процессов амилолитическими и протеолитическими ферментами /Ермолаева Г.А., 1997/; для повышения сахаристости сырья к нему добавляют изюм и мед /Борисенко Т.Н. и др., 1999/.

2.3. Введение в исходное сырье красителей /Cerevisia, 2001/, квасного сусла для окраски пива /Боллоев Т.К. и др., патент №93020727/13, 1997/, галлотанина /Cerevisia, 2001/ или ароматизирующих соединений /Brew. and Distill Int, 2001/ являются непринципиальными косметическими мероприятиями и не приводят к оздоровительному действию напитка. Аналогичным образом можно признать технологически полезными рекомендации по использованию пектинов при производстве пива /Лапин А.А. и др., 1998/.

3.1. **Процесс фильтрации (осветления солода)** изучен достаточно подробно /Горбатюк А.В., Горбатюк В.И., 2000/. Сформулированы требования к фильтрам /Cerevisia, 2001/.

3.2. Фильтрация методом «перекрестных потоков» предложена как альтернатива традиционной фильтрации через «кизельгур» /Brauwelt, 2001/.

3.3. Осветление пива методом микрофильтрации с использованием керамических фильтрующих элементов или цеолитов /Gap Q. и др., 1997/ конкурирует с фильтрацией мембранными фильтрами /Фролихин И.О., 2001/.

3.4. Установлено, что применение «целловиридина Г20Х» приводит к интенсификации сбраживания за счет ускорения фильтрации заторов /Сергеева И.Ю. и др., 2000/.

3.5. Принято, что критерием качества в процессе осветления фильтрацией являются реологические свойства пива /Кретов И.Т., 2001/, а проверку качества фильтрации рациональнее проводить при помощи измерителя частиц /Аннемюллер Е. и др., 2001/.

3.6. Удаление из солода токсичных побочных продуктов брожения все еще остается проблемой. Частичное оздоровление напитка может быть достигнуто удалением α -ацетолактата путем каталитического декарбоксилирования на окиснокремниевых, окисноалюмоиениевых или аллюмосиликатных композициях при температурах 7-15° С /Тестова Н.В. и др., патент №21118987, 1998/.

3.7. Утилизация отходов, «пивной дробины» и осадков после фильтрации превратилась в проблему утилизации сырьевой базы, содержащей бетаглюканы, живые и мертвые дрожжи и массу полезных составляющих, способных формировать кормовые смеси. Запатентован способ холодной пастеризации пива, полученного сбраживанием осадков, полученных после фильтрации /Горбатюк А.В. и др., патент №2178461, 2002/.

4. ***Охмеление сусла** – «внесение хмелепродуктов – прессованного, гранулированного, брикетированного хмеля или экстрактов хмеля в сусло при кипячении».

4.1. Предложены модификации традиционно одноварочного раздельного получения сусла (получение сусла с затиранием зернопродуктов, сбраживанием, дображиванием и созреванием) в виде двойного вываривания /Боллоев Т.К., 1997/, что делает технологию экономически выгодной. При производстве ряда бельгийских сортов пива с хмелем кипятят только треть сусла, для приготовления которого половину ячменного солода заменяют пшеницей; экстрактивность начального сусла составляет 10,5-11%. Начальное сусло большинства баварских сортов пива имеет экстрактивность 10-12%.

4.2. При оценке способов охмеления пивного сусла наиболее рациональным признано его кипячение с хмелепродуктами /Насимов В.А., 1982/, /Мелентьев А.Е., 1985/.

4.3. Хмель влияет на вкус и аромат пива, содержит горькие и дубящие вещества типа танина, установлено содержание 200-300 компонентов эфирного масла, влияющих на вкус и аромат пива. Важнейшими из них являются α -кислоты (изогулолоны). Однако часть из них связываются с белково-полифенольным комплексом, образующимся в сусле при кипячении, и осаждаются вместе с ним при охлаждении. Этот факт позволил рекомендовать к промышленному применению технологию ферментативной обработки хмелевых шишек целлюлолитическими ферментами типа «целловиридина Г3Х» (в дозе до 1% к массе хмеля) для получения изомеризированного хмелевого экстракта. При этом вносить экстракт хмеля можно или уже в охлажденное сусло, или даже на стадии дображивания пива, что еще более обеспечивает сохранение приятной хмелевой горечи и чисто хмелевой аромат готового пива /Насимов В.Л., 1982/. Фрак-

ции хмеля влияют на органолептические характеристики пива, причем виды привкусов пива, связанные с определенной степенью горечи хмеля, зависят не только от способов введения хмеля /Brew and Beverage Ind. Int., 1997/, но и от его сортности /Василинец И.М. и др., 2000/.

4.4. Добавление за 30 минут до окончания варки суслу пектинов хмеля, полученных путем горячего экстрагирования растения хмеля в кислой среде в дозе 0,5-30 г на 1 гл пива придает ему повышенную пеностабильность /Рыбка Н. и др., 2000/. Пектины относятся к ПАВ и обладают ярко выраженными эмульгирующими и пенообразующими свойствами. Последнее входит в перечень признаков, определяющих качество готовой продукции, предложена даже новая система исследования качества пива по стабильности пены /Ляпин А.А. и др., 1998; Perrin Frank, Jung Ure, 2000/.

4.5. Поиски заменителя хмеля на другие вкусоароматизирующие добавки довольно многочисленны, но в целом неудачны. Хмель заменяют хмелепродуктами в виде черемуховых компонентов: ягоды, соки, сиропы /Burkhardt L. и др., 1998/.

4.6. Для получения более крепких сортов пива в сусло вводят сахара /Беличенко А.М. и др., патент 2086622, 1997/ в количестве 2-4% от массы зернопродуктов /Рыбка Н. и др., 2000/.

4.7. Полноценное солодовое сусло кроме оптимального количества сахара должно содержать набор из 19 обязательных аминокислот (метионин, серин, глутаминовая кислота, цистин и др.) и всех групп витаминов и микроэлементов, необходимых для формирования живого белка биомассы размножающихся дрожжей. При этом 70% ассимилируемого дрожжами органического азота входит в состав аминокислот, а остальная часть – это пептиды, амиды и аммоний – также являются продуктами белкового содержания солода, перешедшими из него в сусло. При этом процессы сбраживания и роста дрожжей замедляются тем сильнее, чем меньше необходимых аминокислот остается в первичном сусле /Жвирблянская А.Ю. и др., 1979/. Однако вреден и избыток аминокислот (то есть больше того их количества, чем могут усвоить дрожжи), приводящий к образованию побочных продуктов в пиве. В любом случае доказано, что от азотистого обмена дрожжей, биосинтеза и расщепления аминокислот зависит образование веществ, ответственных за аромат пива /Ермолаева Г.А. и др., 2001/.

4.8. Контроль азотистых веществ в полноценном солодовом сусле показал, что 25-45% из них приходится на долю аминокислот; 40% – пептиды; 20% – высокомолекулярные белки; 10% – азот пуриновых оснований /Жвирблянская А.Ю. и др., 1979/. Характерно, что в конце процесса брожения общее количество азотистых веществ умень-

шается всего на 30%. В связи с этим можно считать, что технологический контроль по динамике содержания азотистых соединений – бесперспективен. Использование фотометров «Цейсс-Пульфрих» для определения прозрачности фильтрованного пива /Sommer Z., 1961/ или промышленного измерителя мутности Turbidon-a /Soriapat, 1975/ дает косвенную оценку показателей качества. Более информативен плотномер для солодового суслу /Катаяма Ю. и др., 1978/. Аппаратное оформление промышленных методов определения «плотности» для определения компонентов в экстракте представлено в электронном каталоге /Wagenbreth H., 1996/. Из всего набора контрольно-измерительной аппаратуры на традиционном пивоваренном заводе /Sullivan K., 1978/ нам представляется наиболее перспективным потенциометрический анализ (на базе компьютера с ионселективными электродами) /Li Heng, 1978/. Однако выбор и расстановка датчиков нуждаются в обосновании, соответствующем вновь поставленным целям и более современным достижениям электронной промышленности.

4.9. При получении различных сортов пива показана возможность управления белковым составом, то есть содержанием азотистых растворимых веществ (т.н. **число Кольбаха – показатель степени белкового растворения солода, определяемый отношением растворимого белка к общему, выраженный в процентах*) как на этапе приготовления солода, так и при брожении с использованием различных пропорций ячменного и пшеничного солода /Ермолаева Г.А. и др., 2001/. Для быстрого брожения общее содержание α -аминокислот в сусле должно быть 150-200, но не ниже 100 мг/дм³.

4.10. В силу биологических особенностей дрожжи не синтезируют ферментов протеолитического действия и поэтому не могут утилизировать внеклеточный белок (неорганический азот или азот нитрат-ионов), вследствие чего обогащение суслу азотистыми минеральными добавками можно также считать бесперспективным. По этой же причине барботаж биомассы газообразным азотом (когда барботажное перемешивание технологически необходимо) не приведет к искажению азотистого обмена растущих популяций дрожжей.

5. **Охлаждение** является обязательным при любых технологиях и рассматривается как способ физико-химической стабилизации пива (охлаждение пивного суслу снижением его температуры до 5-7°C) /Donhauser S., 1997/.

5.1. Применяют многочисленные модификации охлаждения и осветления пивного суслу: на холодильной тарелке, в отстойном аппарате, в гидроциклонном аппарате, в сепараторе, на фильтрах, трубчатых и пластинчатых теплообменниках /Ермолаева Г.А., 1998/.

5.2. Осветление холодного пивного суслу «флотацией» позволило наладить производство концентрированного пивного суслу, пригодного для хранения и длительной транспортировки к дилерским организациям /Ермолаева Г.А., 1998/. (***Осветление пивного суслу: отделение от горячего суслу крупных взвесей**).

6. Как и процесс осоложения зернопродуктов, **сбраживание первичного суслу** относится к биотехнологическим процессам, поддающимся труднее всего автоматизации и управлению. ***Первичное сбраживание начального суслу** – «брожение пивного суслу: анаэробный распад углеводов пивного суслу с образованием этилового спирта, двуокиси углерода и побочных продуктов, протекающий в результате жизнедеятельности пивных дрожжей».

Модернизации технологического процесса ведутся в направлениях выбора рас пивных дрожжей; оптимизации и регуляции условий метаболизма дрожжей, включая соответствующие аппаратные изменения размеров и конструкций бродильных колонн; применение ферментеров с иммобилизованными ферментными препаратами; автоматизации и управления процессом брожения на основе тест-признаков состояния дрожжевой массы.

6.1. Известны три вида брожения: молочно-кислое, спонтанное и сбраживание чистой культурой дрожжей /Ермолаева Г.А., 2001; Кобелев К.В., Ермолаева Г.А., 2001/. Молочно-кислое брожение происходит в результате размножения микроорганизмов, таких как молочно-кислые бактерии, которые для процессов этилового дрожжевого брожения считаются вредителями. Спонтанное (неуправляемое) брожение вызывается смесью диких дрожжей, молочно-кислых бактерий и дрожжей штаммов *Bretanomyces*; оно может продолжаться в закрытых бочках 2-3 года при степени сбраживания до 90%.

6.2. На сегодняшний день преобладают технологии управляемого дрожжевого брожения. *Один из распространенных способов сбраживания пивного суслу – «ускоренный периодический способ» – состоит в том, что в цилиндрико-коническом бродильном аппарате с быстрым управлением седиментацией и выводом из него осевших дрожжей совмещены главное брожение с дображиванием, ускоренное дозревание (выдержка) и осветление пива, а также систематически осуществляется перемешивание сбраживаемого суслу сначала потоком стерильного воздуха, а затем диоксида углерода (карбонизация пива) при увеличении количества посевных дрожжей до 2 л на 1 гл суслу. Брожение 12% суслу продолжают 8-10 суток, затем следует период созревания пива (3 суток) с биохимическим превращением ряда веществ,*

присущих букету молодого пива. Охлажденное и карбонизированное пиво выдерживают под давлением 0,14-0,17 МПа, освещают и подают на розлив (по Натану). Количество модификаций трудно поддается учету. Наиболее важны технологии управления процессом.

Качество дрожжей, в том числе их генетические свойства, существенно влияют на качество пива. Сто лет назад Эмилем Христианом Хансеном была начата работа по селекции чистых культур пивоваренных дрожжей. Проблема окончательно не решена и поныне. Рекомендуется производить подбор термотолерантных штаммов дрожжей /Мудрак Т.Е., 1987/. Показано, что повышение эффективности пивоварения возможно на основе селекции активных рас дрожжей /Матешвили Ц.Л., 1989/, /Фараджева Е.Д. и др., Воронеж, 2001/. Каждая из пивоваренных держав выдвинула свои «национальные штаммы» пивных дрожжей. Оптимизируются не только методы подготовки и хранения дрожжей. Направленные генетические изменения штаммов пивоваренных дрожжей методами генной инженерии с созданием рекомбинантной ДНК, включая клонирование в дрожжевую клетку бактериального гена, ответственного за формирование α -ацетоллактатдекарбоксилазы, позволили решить диацетиловую проблему при сбраживании пивоваренными дрожжами. Это позволило в 4-5 раз уменьшить образование диацетила в молодом пиве, что чрезвычайно перспективно в аспекте оздоровительных качеств пива. Генетическая трансформация низовых дрожжей мультикопийными плазмидами, несущими *ILV5*-ген (носитель α -ацетогидроксикислотной изомерредуктазы), позволила достигнуть 70% снижения образования дикетонов при брожении /Дебур И.А., 2000/.

Таким образом, будущее пивоварения связано с применением штаммов пивоваренных дрожжей, созданных методами генной инженерии и обладающих заданными свойствами, в том числе набором соответствующих ферментов. При этом из традиционного технологического процесса может быть исключен целый ряд этапов.

6.3. В реальных производствах интенсификацию процессов приготовления пива предлагают производить путем специальной подготовки и активизации заквасных дрожжей техническими способами /Горелова О.В., 1983; Пермякова Л.В., 1987/, электрофизическими методами /Прохоренкова Г.К., 1984/, путем интенсификации массообменных процессов в ферментерах с механическим перемешиванием /Борисов В.А., 1989/.

6.4. Наиболее перспективным нам представляется совершенствование технологии и повышение качества пива на основе регуляции метаболизма дрожжей. Сделана попытка наладить полностью автоматизированное управление бродильным

производством в зависимости от образуемого объема углекислоты /Rischenbietar S., 1977/. Для регулирования роста дрожжей в процессе ферментации пива применены различные автоматические устройства типа проточных цитофотометров для измерения частиц, находящихся в состоянии суспензии /Moll M. Et all., 1978/. Однако контроль сложного биотехнологического процесса по отдельным косвенным показателям бесперспективен. Попытки построения имитационных математических моделей производства пива /Карпов В.И. и др., 1992/ или моделирование процессов только бродильной колонны /Дебур И.А., 2000/ натолкнулись на непреодолимые трудности, связанные с отсутствием полных количественных характеристик состояния всех подсистем процесса (управляемого объекта) и связей между ними (функциональных взаимозависимостей) в любой текущий момент времени. Поэтому за основу моделирования (с целью выработки модели управления процессом) принята иерархическая многомерная модель, в которой процесс ферментации дрожжей рассматривается как система, состоящая из большого числа подсистем различного уровня с учетом детерминированной и случайной компоненты. Причем характерной особенностью системы является ее способность к постоянной перестройке в зависимости от меняющейся внешней и внутренней среды. На основе блочного принципа единой системы разработаны математические модели гидродинамики, теплообмена и динамики процесса накопления биомассы дрожжей. Однако в целом из-за неполноты априорной информации характерные параметры процесса пивоварения рассматриваются как случайные величины, вероятность наступления которых трудно поддается определению. Оказалось сложным смоделировать даже процесс роста дрожжевой массы. Как и любая микробная популяция, она включает, как известно, несколько разноскоростных фаз: приспособления (лаг-фазу), экспоненциального роста, фазу роста с отрицательным ускорением и стационарную фазу, связанную с уменьшением численности микробных тел (из-за их аутолиза), когда в культуральной среде исчерпаны питательные вещества и в ней накапливаются метаболиты. Таким образом, кривой роста популяции можно управлять, обеспечивая постоянство внешних условий (и постоянство отведения метаболитов – продуктов жизнедеятельности). При этом следует помнить, что процесс синтеза биомассы генетически запрограммирован процессами регуляции жизнедеятельности клетки, то есть нельзя изменять требуемые клеткой условия.

6.4.1. Высокая скорость брожения, необходимая в современных производственных условиях, наблюдается только при поддержании быстрого размножения дрожжевой массы. Причем процес-

сы роста и размножения, ассимиляции и диссимиляции, тканевого дыхания и брожения протекают одновременно, определяя характер биохимических превращений веществ пивного сусла: сбраживаемые сахара используются клеткой для снабжения ее энергией, углеродные скелеты молекул углеводов используются для процессов биосинтеза, а азотистые структуры – для биосинтеза белка /Черепенникова Е.Б., 2001/. Сахара исчезают уже через 2-3 дня брожения. Через двое суток после начала брожения используется весь метионин, а через четверо суток на 90% – все другие аминокислоты. Причем скорость потребления сахаров растущими клетками может служить критерием их жизнеспособности. А это означает, что мониторинг содержания сахаров в сусле должен включаться в технологический регламент.

6.4.2. Известно, что образование спирта дрожжами происходит в результате анаэробного брожения, однако для поддержания тканевого дыхания растущим клеткам требуется кислород. При избыточной концентрации кислорода стимулируется рост дрожжей, но значительно снижается синтез внутриклеточных эфиров, обеспечивающих аромат пива. Бесконтрольная аэрация, неизбежная во время перекачки сусла к бродильному аппарату или при заполнении больших танков перед варкой, приводит к появлению болезней пива. Предложены аналитические системы для определения растворенного в воде кислорода при его малых концентрациях от 0 до $0,5 \cdot 10^{-4}$ %. Полярнографические методы должны быть предпочтительнее при реализации мониторинговых систем.

6.4.3. Управление температурой брожения неожиданно переросло в проблему регулирования вкуса и аромата пива из-за различных температурных оптимумов метаболизма дрожжей и образования ими летучих (пахучих) веществ. Высокие температуры оказывают благоприятный стимулирующий эффект на метаболизм и рост дрожжей, но при этом происходит более интенсивное образование ацетогидроксикислот и винильных дикетонов. Образование высших спиртов и фенилацетата увеличивается в интервале температур от 10 до 20 °С, в то время как образование изоамилацетата и этилацетата имеет температурный оптимум около 15 °С. В регламентах производства ряда баварских сортов пива главное брожение проводят при высоких температурах, а затем – дображивание – при низких температурах в течение непродолжительного периода. Эксперименты по контролю спирта на пилотных установках с иммобилизованными дрожжами также показали, что температура является критически переменной величиной: процесс при низких температурах и высоком времени удержания был лучшим компромиссом между низким содержанием спирта и пороговым

значением содержания токсичных карбонильных веществ /Дебур И.А., 2000/.

Таким образом, температурный фактор становится определяющим регламентным показателем. В этой связи строгое поддержание утвержденной регламентом температуры броидильного аппарата должно круглосуточно контролироваться автоматической системой термодатчиков. Необходимое для обеспечения достоверности количественное и пространственное их размещение требует дополнительного исследования.

6.4.4. На ход брожения и качество пива влияют также размер и геометрия броидильного аппарата. Производственники отдают предпочтение крупногабаритным емкостям цилиндрической формы с небольшим диаметром, в которых легче организовать перемешивающие потоки, в том числе с использованием образующихся пузырьков диоксида углерода, препятствующих оседанию дрожжей. Благоприятным считается эффект повышенного гидростатического давления (**шпунтование: «поддержание определенного постоянного избыточного давления в аппаратах дображивания пива при помощи регуляторов давления»*). Например, при производстве прозрачного пшеничного пива после главного брожения осуществляют промежуточное сбраживание в течение нескольких дней при избыточном давлении и довольно высокой температуре, а затем пиво перекачивают на дображивание, которое проводят при традиционно низкой температуре /Ермолаева Г.А. и др., 2001/. Однако установлено, что повышение давления в броидильном аппарате снижает содержание амилового спирта, но повышает концентрацию ацетальдегида /Коровина Ю.А. и др., 2000/.

Таким образом, сомнительна возможность управления процессом брожения, изменяя давление в броидильной колонне.

Использование ферментеров с иммобилизованными дрожжами обещает увеличить и оптимизировать съем продукции с единицы объема броидильной колонны (которая становится реактором постоянного действия), уменьшить текущие затраты и автоматизировать все процессы, но требует реконструкции всего производства при еще недостаточно отработанной технологии иммобилизации живых клеток на поверхности (или внутри) носителя. Преимущества колонизации дрожжами пористых неорганических матричных носителей или стимуляция их привязанности к модифицированной поверхности носителя из альгината кальция, пористого стекла или пористого силикон-карбида, керамики, цеолитов или частиц ДЕАЕ-целлюлозы все еще дискутируются. Ограничение массопереноса все-таки приводит к уменьшению специфичной скорости брожения, увеличению образования высших спиртов и эфиров. Хорошие результаты полу-

чены при использовании иммобилизованных систем на этапе дображивания /Дебур И.А., 2000/ и при получении безалкогольного пива.

6.4.5. Малейшее отклонение от регламента существенно изменяет органолептические свойства пива, изменяя состав и концентрацию высших спиртов. Известно, что в сбраживаемых продуктах обнаруживается более 50 наименований высших спиртов, из которых 97% составляют изоамиловый, изобутиловый и пропиловый спирты. Согласно Эрлиху, единственный путь образования высших спиртов состоит в дезаминировании аминокислот (по схеме $RCHNH_2COOH + H_2O = RCH_2OH + CO_2 + NH_3$). Нейбауер и Франгольц обосновали более сложный путь путем дегидрирования аминокислоты в иминокислоту, после реакции с водой и отщепления аммиака переходящей в соответствующую α -карбоновую кислоту, путем декарбоксилирования преобразующуюся в альдегид, который восстанавливается в соответствующий спирт. Но дрожжи могут синтезировать высшие спирты не только из аминокислот, но и из безазотистых соединений – кетокислот – продуктов разложения углеводов. Установлено, что накопление высших спиртов при брожении сочетается с образованием сивушных масел (в мг/100 г пива) в прямой взаимосвязи с повышением исходной концентрации сусла: в Жигулевском – 9,8; в Московском – 12; в Ленинградском – 15 раз.

6.5. Интенсификация спиртового брожения возможна путем эффективного использования амилолитических ферментов /Мудрак Т.Е., 1987; Ахунова В.А., 1987/ или при повышении ферментативной активности суспензии солода путем внесения ферментных препаратов /Исаенко В.К., 1985/. Специально для пивоварения разработаны технологии получения и использования ферментных препаратов /Лившиц Д.Б., 1982/, в том числе усовершенствованы способы получения пивного сусла с использованием иммобилизованных ферментных препаратов /Кобелев К.В., 1982; Тихонов В.Б., 1986/ с применением биокатализаторов /Биткуайки К., 2000/. Применение ферментов в иммобилизованном виде позволяет повысить экономическую эффективность биокатализа. Иммобилизация ферментов на средах при проточном процессе позволяет стабилизировать на длительное время (не менее 500 часов) их уникальные каталитические свойства без потери активности.

Большинство ферментных систем, участвующих в брожении, выделены в кристаллическом виде и перестали быть экзотикой. Их комплексное промышленное применение может произвести переворот в традиционном пивоварении, особенно в сочетании с современными модификациями, заменяющими приготовление солода (использование углеводно-аминокислотных композиций). Внедре-

ние сдерживается отставанием контрольно-аналитической базы за технологическими процессами. Критерии сбраживания пива и сроки допустимого пребывания молодого пива в бродительном аппарате все еще дискутируются /Brauwiss, 2001; Королев С.И., патент №2177500, 2001/; полноценные стандарты качества не определены нормативно; контроль ферментативной активности отстает от возможностей современной базы ионселективных, ферментных электродов и биосенсоров. Потенциометрические ионселективные экспертные системы, применяемые в пищевой промышленности при контроле брожения пищевых масс /Злобин Л.А., 1998/, основаны на измерении ионной активности (электродных потенциалов) pMg^{++} , pCa^{++} , а также кислотности среды (рН). Справедливо считается, что именно эти ионы являются основой комплексных соединений, обеспечивающих функционирование многих клеточных ферментов. Однако прямых определений мощности ферментативных процессов не производится. Выделение ферментов из функционирующей биомассы с определением их активности (а по ней и удельной жизнеспособности всей загрузки реактора) вполне доступно для промышленных баклабораторий, но из-за продолжительности анализа и запаздывания результатов, они теряют оперативный смысл и на сегодняшний день не могут служить основой управления качеством технологического процесса.

7. Режимы ***созревания пива** («*протекающей при дображивании процесс удаления или преобразования специфических ароматических веществ молодого пива, выделения белково-дубильных соединений, осадения дрожжей и других взвесей*») продолжают оставаться предметом поиска и патентования.

7.1. Описана система дображивания (созревания) с использованием дрожжей, иммобилизованных на матрице из ДЕАЕ-целлюлозы /Дебур И.А., 2000, Rajunen et al., 1991/. В этой системе молодое пиво нагревается до 90 °С в продолжение 7 минут для превращения α -ацетогидроксилкислот в винильные дикетоны, а затем охлаждается до 4 °С. Охлажденное пиво проходит через реактор с иммобилизованными дрожжами для редукции дикетонов. При этом через два часа контакта их уровень снижается ниже вкусового порога. Настоячиво рекомендуется ферментативное декарбоксилирование α -ацетолактата и других побочных продуктов брожения /Тестова Н.В., Ионе К.Г., 1998/.

7.2. Запатентован наиболее радикальный способ удаления из пивного суслу нежелательных летучих соединений, диметилсульфида и эфирных масел. Он осуществляется включением в технологическую цепочку колонны с использованием барботажа пивного суслу инертным газом или паром /Seldeslachs Dirk и др., 1997/.

7.3. Так как стабилизация охлаждением изменяет вкусовые качества пива /Donhauser S., 1997/, то рекомендовано использовать стабилизаторы типа СГ или поливинилполипирролидона. Стабилизация пива введением антиоксидантов (дубовая кора, цвет зверобоя и др.) не только замедляет процессы помутнения пива, но корректирует вкус, запах и повышает его целебные свойства /Donhauser S., 1997/, т. к. известно, что введение даже небольших количеств антиоксидантов в организм человека способствует его детоксикации.

7.4. Считается, что около 40% азота, абсорбированного дрожжами из суслу в первых фазах брожения, выделяется из клеток в среду в течение дображивания. Борьба с остаточными белковыми веществами пива и полифенолами (в том числе антоцианогенами, переходящими из солода) также предложено с применением ферментов. Процессом старения пива можно управлять, применяя липоксигеназу и /или комплекс цитолитических ферментов (грибной Амилорезин А10х, содержащий амилазу, протеазу, и бактериальный препарат Протосубтилин Г 20х, обладающий протеолитической активностью) в сочетании адсорбентом белков (продукт АК-П, созданный на основе природного кремнезема), способствующих необратимости изменения коллоидов пива; создана теория биологической стабилизации пива, исключая изменение коллоидов пива, преимущественно белковых веществ полифенолов /Саришвили Н.Г. и др., 1998; Ибрагим Ахмад Сан, 1993/. Для получения пива с повышенной биологической стойкостью рекомендуется сбраживание вести до показаний массовой доли видимого экстракта 3,1-3,6 %, а дображивание вести не менее 21 суток /Королев С.И., 2001; Schmidt Gerhart, 1998/.

7.5. «Концепция теплового удара» для придания пиву, предназначенному на экспорт или длительное хранение, микробиологической стабильности предполагает необходимость пастеризации пива в пластинчатых теплообменниках /Dymond G., 1997/ (***пастеризованное пиво**: «*пиво с повышенной биологической стойкостью, получаемой путем тепловой обработки*»).

7.6. На качество пива влияет даже конструкция емкости для созревания пива /Breitenbucher Klaus, 1997/. Характерно, что пивовары для улучшения органолептических свойств пива используют приемы, применяемые в коньячном производстве. Так, показано, что хранение пива в бочках из бука улучшают его вкус и цвет /Brew. and Distill Int., 2001/.

8. **Кольцевой анализ параметров пива** (***действительная степень сбраживания пива**: «*показатель, определяемый отношением действительного экстракта пива к экстрактивности начального суслу, выраженный*

в процентах»; *экстрактивность начального пивного сусла – «массовая доля сухих веществ в начальном пивном сусле; метод определения стойкости пива, разлитого в бутылки, путем визуального наблюдения за появлением помутнения или осадка в бутылке») осуществляется по ГОСТ Р 51154-98.

Кольцевой анализ включает дистилляцию, рефрактометрию, определение плотности, кислотности, определение содержания спирта, определение степени сбраживания пива и его стойкости /ГОСТ 12786-80; ГОСТ 12787-81; ГОСТ 12788-87; ГОСТ 12789-87/, санитарно-микробиологический контроль /Инструкция санитарно-биологического контроля пивоваренного и б/а производства, М., 1988/. Микробиологический контроль в пивоваренной промышленности /Германия, фирма Sartorius GmbH, 1990/ стал обязательным этапом в технологии пивоварения и исходного сырья. Причем микробиологическому контролю подлежит даже вода, используемая для приготовления пива и мытья посуды /ГОСТ 18963-73, ГОСТ 2874-82/. Разработка методов микробиологического контроля в пивоваренной промышленности идет в направлении обеспечения предприятий новыми селективными стандартизованными питательными средами /Хоу, Ботуврайт и Кирсон, В. Шаде, Накагава, Vignevini, 1986, Харрис и Ватсон, Бреннер, Ричардсон, Л.М. Урусова и др./ . Однако даже лучшие из стандартизованных фирменных (в том числе комбинированных питательных сред) используются для проведения микробиологического контроля чашечным методом Коха, который только более качественно обеспечивают длительный и многоступенчатый процесс. Так, только период инкубации составляет от 3 до 7 суток. С целью ускорения процесса контроля предложено совместить процесс мембранного фильтрования эталонного объема сусла (пива) через картонные диски с нанесенной питательной средой и экспресс-методы окраски фильтра специфическими для различных групп микроорганизмов красителями, в том числе флюоресцентными /Лумкинс и др./ . Сроки анализа при этом сокращаются до двух суток (анализы остаются ретроспективными), что не позволяет использовать их как оперативную информацию при технологическом контроле. Косвенным решением проблемы остается организация мониторинга кислотности среды: регистрируя изменения pH жидкой среды за определенное время электрохимическими способами, можно судить о скорости развития молочно- и уксуснокислых бактерий в пиве. Предложен молекулярно-биологический метод определения вредных бактерий молочной кислоты с применением флюоресцентно-маркирующих гензондов /Brauwelt, 2001/.

Методически хорошо обоснован микробиологический контроль, основанный на идентификации

критических контрольных точек по принципу ХАССП-системы /Гинова-Стоянова Тамара, 2001; ГОСТ Р 51705.1-2001/. Например, приняв за основу «системы оценки рисков и выявления критических точек для управления» микробиологический контроль производства пива, установлено, что запредельная критическая контрольная точка риска возникновения инфицирования пива приходится на стадию охлаждения сусла ниже 50°C. Это предопределяет регулярную проверку сусла после охлаждения на содержание общего количества микроорганизмов и кислотообразующих бактерий, а при необходимости применения обеспложивающих фильтров или термообработку для стерилизации сусла. Установлено, что при облучении пива магнитно-инфракрасно-лазерными аппаратами в течение 60°C значительно снизилась микробиологическая обсемененность продукта: количество дрожжевых клеток в единице объема пива снизилось в 3 раза, а бактериальных - в 15 раз.

О наличии контаминационных микроорганизмов в пиве можно судить по ферментативной активности пива: определение эстеразной активности свидетельствует о наличии живых клеток, а ее подавление в эталонной пробе – о токсичности раствора. Успешно применяется во Франции и США для определения токсичности воды и водных растворов иммобилизованные кристаллические ферменторы (в частности холинэстераза на мембранных носителях) в сочетании с ионселективными электродами. Однако информации о применении ферментных электродов в пивоварении мы не встретили. Для быстрого обнаружения различных микроорганизмов в пивоварении (с экспозицией 24-78 часов) используется немецкая система «Нойхаус А-В-С-Д» (патент ГДР № 206683), представляющая собой вакуумированный стеклянный баллон с жидкой питательной средой и капсулу с набором твердых питательных сред. На наш взгляд, наиболее перспективны иммунологические и серологические реакции распознавания микроорганизмов, вызывающих «порчу пива», но не требующих инкубации. Так, Нишикава с соавторами предложили быстрый иммунофлюоресцентный метод с использованием сывороток. Березовский А.А. разработал способ идентификации бактерий-вредителей пива за 1,5-2 часа с использованием реакции агглютинации или с помощью люминисцирующих антител. В области быстрых методов для косвенного определения наличия микроорганизмов – вредителей пива путем определения продуктов их обмена применяют методы газовой и газожидкостной хроматографии. Они позволяют в течение 6 минут определять 7 органических кислот в сочетаниях, характерных для жизнедеятельности молочно- и уксуснокислых бактерий /Каптерева Ю.В. и др., 1990/.

Для эпизодического контроля за качественным составом пива успешно применяется хроматографический метод /Круглов Э.А. и др., 2001/. С его помощью удалось составить классификацию токсических веществ /Типовая инструкция в ВНИЛ пиво б/а производства, М., 1979/. Не сходит с экранов телевидения рекламная система оценки качества пива по стабильности пены. Продолжают разрабатываться новые системы исследования пены /Perrin Frank и др., 2000/. Напомним, что *«**пенообразование пива**: это способность пива образовывать пену при наливе в сосуд».

9.1. На этапе **розылива и бутылирования** повышены метрологические требования к пивной таре; созданы новые приборы не только для определения уровня заполнения, но твердости и температурной стойкости пивных бутылок /Ernahrungswirtschaft Lebensmitteltechnik, 1979/.

9.2. Даже на этапе готовой продукции продолжают процессы дозревания и старения пива. Продолжительность хранения пива обуславливается изменением его коллоидов, в основном белковых веществ и полифенолов, способных образовывать нестойкие комплексы с веществами неполного распада полисахаридов- декстринами, β -глюканами, пентозанами и йонами тяжелых металлов. 180 - дневный срок хранения пива может быть достигнут при применении методов биологической стабилизации с применением ферментов группы протеаз (Саришвили Н.Г. и др., 1996).

Вновь пересматривается роль кислорода в производстве пива /Brauwelt, 1987, М.ф. пер. 88/10063 ВЦП КП-12060/. Технологическое применение кислорода остается проблематичным. С одной стороны, физически связанный кислород необходим для брожения и чем больше обогащается им сусло, тем интенсивнее размножение дрожжей и тем выше степень сбраживания. В процессе кипячения сусла с хмелем происходит интенсивное химическое связывание кислорода, идущее на процессы окисления белков, сахаров и растворенные вещества хмеля. Однако избыток кислорода приводит к нежелательному потемнению сусла, резкому увеличению окислительного потенциала горячего сусла, что приводит к коагуляции и осаждению белков. Причем, любое перемешивание приводит к усилению поглощения суслом кислорода.

Требования к таре продолжают ужесточаться: она должна быть непроницаема для кислорода и углекислого газа; состоять из материалов, рекомендованных для пищевых продуктов, не влияющих на состав пива /Brew. and Beverage Ind. Int, 1999, Brew. and Distill Int., 2001/. Исключение составляют нововведения - хранение пива в бочках из бука, что улучшает и цвет, и вкус напитка.

9.3. Методам удаления спирта из пива /Кунцев В., 2001/ противопоставляются методы усиления оздоровительного влияния состава напитка на организм. Рассматриваются не только технологические мероприятия по удалению из пива токсичных продуктов на всех этапах пивоварения (смотри выше), но и введение в напиток приятных и полезных добавок. Запатентована технология добавления аскорбиновой кислоты /Малышев А.В., патент №2162882, 2001/, витаминов типа фолиевой кислоты /Brew. and Distill Int., 2001/, антиоксидантов (типа настоев из цветов зверобоя, коры дуба и др.) /Данилов Л., 1997/, экстрактов из плодов кориандра, ягод можжевельника и других ароматизирующих ингредиентов. Все эти нововведения, заимствованные у производителей вин и коньяков, делают просто неконкурентоспособными традиционные технологии приготовления пива, какими бы агрессивными рекламными компаниями восхваления «пены и цвета пива» они не защищались.

Заключение

***Пиво**: слабоалкогольный, насыщенный двуокисью углерода, тонизирующий, пенный напиток, получаемый путем сбраживания охмеленного сусла пивными дрожжами.

1.Критическими параметрами качества пива как пищевого продукта являются побочные продукты брожения. Необходимо расширение перечня нормированных показателей качества (безопасности) пива и внесение их в соответствующие НД.

2.Содержание токсичных продуктов в пиве определяется применяемой технологией пивоварения. Основой модернизации технологических процессов пивоварения должен быть медико - токсикологический анализ взаимосвязи всех этапов.

3.Основными объектами контроля (для выработки критериев управления процессом) следует рассматривать стопроцентный входной контроль исходного сырья; генетические свойства и метаболизм дрожжей; мониторинг изменения содержания сахаров и ферментативной активности солода, сусла и молодого пива; при этом температуры среды следует рассматривать как основную регламентную характеристику.

4. Будущее отечественного пивоварения состоит во внедрении управляемых технологий пивоварения с использованием иммобилизованных ферментных систем в ферментерах проточного типа, контролируемых автоматизированными системами, включающими применение ферментных электродов.

Список использованных 119 источников литературы представлен в депонированной статье: Библиография к проблемно-тематическому обзору «Новый взгляд на проблемы пивоварения».