

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА ПИВА С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Представлена принципиально новая схема управления биотехнологическим процессом пивоварения на базе усовершенствования принципа сетевого «нейронного управления», включающего введение в структуру нейрона контура обратной связи. Предлагаемый принцип управления позволяет последовательно приближать качество полупродукта, поэтапно обеспечивая его приближение к параметрам качества конечного продукта, заданным моделью.

Ключевые слова: формальный нейрон, интеллектуальные нейронные сети управления технологическим процессом, стандарт качества и безопасности пива, технический регламент производства пива с заданными вкусоароматическими свойствами и пониженными токсикологическими характеристиками.

Автоматизация управления пивоваренными предприятиями испытывает бум спроса и предложений. Однако, как справедливо отметили А.А. Породько и А.В. Ишуков [1], она коснулась в основном финансово-экономической и маркетинговой деятельности предприятий, обойдя стороной решение проблем технологического мониторинга. Автоматизация же самого технологического процесса находится на стадии разрозненных разработок, относящихся к отдельным этапам. При этом в стороне остаются вопросы автоматизации биотехнологических процессов с происходящими в них ферментативными и биохимическими преобразованиями пивоваренного сырья в полупродукт и конечный продукт. К тому же неясна цель технологических преобразований процесса: назад к немецкой классике – баварский «Указ о чистоте» пивоварения 1516 года, – либо вперед к несуществующему стандарту качества и безопасности пива; либо к национальным потребительским предпочтениям вкуса и аромата, или к оптимизированному ингредиентному составу пива, одобренному нутрициологами как состав пищевого продукта.

Практически автоматизация пивоваренного производства в настоящее время сведена к двум крайним решениям: тотальная децентрализация с автоматизированными рабочими местами на каждом технологическом этапе или централизованное управление состоянием оборудования.

Поставлена задача поиска оптимального решения автоматизации процесса пивоварения, ориентированного на производство безопасного конечного продукта. При этом понимается, что путь борьбы с пивным алкоголизмом, захватив-

шим не только Россию, лежит в рамках выработки к пиву критериев пищевого напитка и разработки технологии пивоварения, позволяющей снизить токсичность пива.

При изучении мирового опыта и достигнутого передовыми пивопроизводящими странами научно-технического уровня была обнаружена общность проблем, затрудняющих не только автоматизацию пивоварения, но сдерживающих прогрессивное развитие самой технологии пивоварения.

Используя методы структурного анализа и функционального моделирования (IDEF0), создана функционально-логическая модель процесса пивоварения. На рисунке 1 представлена контекстная диаграмма основного бизнес-процесса жизненного цикла пивоварения – «Производить пиво». Модель разработана с позиции инженера по качеству. Причиной создания модели (целью) послужила необходимость структурирования основных этапов процесса (функций) производства пива, влияющих на формирование качества и безопасность пива. Для адекватного описания сложного биотехнологического процесса с помощью программного средства VPwin построено дерево модели «Производить пиво», включающее в себя шесть уровней декомпозиции [2].

Анализируя взаимосвязи входов, выходов и других структурных элементов модели, сделан вывод, что ключевым и первоочередным элементом решения накопившихся проблем пивоварения является проблема главного управляющего воздействия – отсутствие стандарта качества и безопасности пива как пищевого продукта.

Дискуссии о «нормальном», «идеальном», в любом случае «стандартизованном пиве» ни в одной стране мира не дошли до уровня государственного (национального) стандарта его химического состава. Российские нормативные документы отстали от мирового уровня почти на полвека и остановились на потребительских предпочтениях внешнего вида, на нормах цвета, пены или отсутствия признаков явного брака и внешнего экологического загрязнения. Следуя логике созданной модели как основы автоматизации процесса пивоварения и используя достижения смежных наук, создана математическая модель компонентов пива как пищевого продукта. Соотношения вкусоароматических свойств и токсикологических характеристик реального пива приведены в таблице 1.

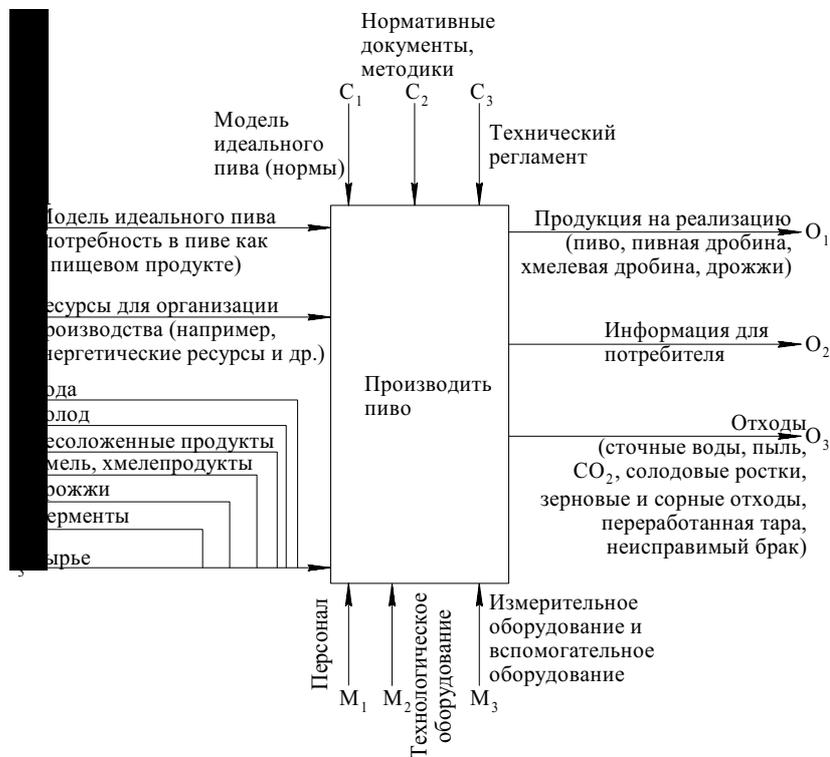
Особый интерес представляет коэффициент «К», показывающий, какой из многочисленных компонентов состава пива следует удалить из состава пива для снижения его токсикологических свойств, а какие вещества следует добавить для усиления желаемой группы привкусов.

$$K = \frac{T}{A},$$

где Т – величина токсичных доз вещества в литре пива (процентный вклад в общую токсичность); А – величина доз вкуса и аромата вещества в литре пива (процентный вклад в общий вкусоароматический букет).

Оказалось, что если отношение величины токсичных доз химического соединения к величине его вкусоароматического вклада в общий букет пива близко или выше единицы, то любое увеличение его концентрации в литре пива приведет к существенному увеличению токсичности. Эту группу веществ можно назвать «потенциальными токсикантами». К ним отнесены этилацетат (К=6,01), диоксид серы (К=5,11), 2-фенилэтанол (К=3,3), изоамиловый спирт (К=1,24).

Ниже приведен ингредиентный состав стандартизованного пива, который рекомендуется автором для международной гармонизации, учитывая существующие реалии производства пива [3]. При этом обоснованы показатели качества и безопасности одного литра пива, которые рекомендованы для стандартизации как состав «нормального пива»: концентрация этанола (разумный оптимум, равный 3%_m); общая



I₁-I₃ (Input) – Вход; C₁-C₃ (Control) – Управление; O₁-O₃ (Output) – Выход; M₁-M₃ (Mechanism) – Механизмы

Рисунок 1. Обобщенная функционально-логическая модель «Производить пиво»

сумма токсичных доз веществ одного литра пива: не более 30% от токсичности 100 г чистого этанола; общая минерализация не менее 1,5 г/л; (сухой остаток до 5,0 г/л); кислотность – не более 4,5 к.е.; содержание углекислоты – не менее 0,33%_м; концентрация вкусоароматических веществ: горечи хмеля (изо-альфа-кислоты, ксантогумол) – не менее 5,0 мг/л; глицерин – не более 1,0 г/л; носители фруктовых ароматов (этилацетат – не более 10,0 мг/л; изопентилацетат – не более 3,0 мг/л); носители серных привкусов (диоксид серы – не более 3,0 мг/л); носители винно-алкогольно-сивушных привкусов (изоамиловый спирт – не более 100,0 мг/л; метанол – не более 10,0 мг/л); вкусовые добавки и витаминopodobные вещества (по МР 2.3.1.1915-04 в дозах, соответствующих «адекватному уровню суточного потребления»), в том числе: витамин В₁ – не менее 150 мг/л; витамин С – не менее 100,0 мг/л; биотин – не менее 1,0 мг/л; фолиевая кислота – не менее 1,0 мг/л; срок хранения: не менее 30 дней

для пастеризованного пива. При этом, следуя рекомендациям международных организаций, обязывающих производителей информировать потребителя о величине токсичности данной дозы, и не соглашаясь с рекомендациями ВОЗ о норме потребления пива для Европы «не более 330 мл/сутки», предлагается указывать величину токсичности литра пива данного бренда в виде суммарной дозы, относительно токсичности 100,0 мг абсолютного этанола.

Этот критерий токсичности рекомендуем для общеевропейского применения. Его оригинальность состоит в том, что впервые в мировой практике оценивается токсичность пищевого продукта не в нулевых уровнях недействующих доз, так называемых предельно допустимых концентрациях, а в реальных единицах токсичности 1/LD₅₀, рассчитанных в миллиграммах на каждый килограмм массы тела экспериментального животного. По мнению токсикологов (Правдин Н.С., Саночки И.В. и др.),

Таблица 1. Сопоставление показателей токсичности и органолептики компонентов состава пива

Химическое соединение	Средняя концентрация в пиве, мг/л	Массовая доля в 1 л. пива, %	Число токсичных доз	Доля общей токсичности, %	Порог ощущения (вкусоароматический), мг/л	Число доз вкуса и аромата	Доля в общем числе вкусоароматических доз, %
Глицерин	1400,0	4,1756	0,0444	0,5160	100	14	22,92
Винилацетат	0,2	0,0006	0,0001	0,0015	0,3	0,67	1,10
Ацетальдегид	9,0	0,0268	0,0352	0,4082	25,0	0,36	0,59
Масляная к-та	1,5	0,0045	0,0063	0,0726	3,0	0,5	0,82
Бутиловый спирт	0,1	0,0003	0,0000	0,0004	2,0	0,05	0,08
Метилацетат	0,1	0,0003	0,0000	0,0004	0,1	1	1,64
Диацетил	0,25	0,0007	0,0001	0,0009	0,15	1,67	2,73
Изобутиловый спирт	20,0	0,0597	0,0058	0,0678	200,0	0,1	0,16
Диметилсульфид	0,05	0,0001	0,0000	0,0002	0,025	2	3,27
этилмеркаптан	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	0,001	0,5	0,82
Диоксид серы	10,0	0,0298	0,2857	3,3173	25	0,4	0,65
Пропиловый спирт	12,0	0,0358	0,0033	0,0383	50,0	0,24	0,39
Этанол*	32000,0	95,4433	6,9762	80,9970	4,5		
Каприновая к-та	0,8	0,0024	0,0002	0,0019	10,0	0,08	0,13
Лауриновая к-та	0,5	0,0015	0,0001	0,0012	6,0	0,08	0,13
Метанол	12,0	0,0358	0,0355	0,4122	25,0	0,48	0,79
Изоамиловый спирт	105	0,312	0,2625	3,0477	70	1,5	2,46
Каприловая к-та	8,0	0,0239	0,0128	0,1486	6,0	1,33	2,18
Изобутилацетат	0,27	0,0008	0,0010	0,0122	0,6	0,45	0,74
2-фенилэтанол	20,0	0,0597	0,0741	0,8600	125	0,16	0,26
Этилацетат	30,0	0,0895	0,8571	9,9518	30,0	1,0	1,64
Изопентилацетат	3,1	0,0092	0,0124	0,1440	1,6	1,94	3,18
Фенилацетат	0,62	0,0018	н/д	н/д	2,3	0,27	0,44
Ацетоин	3,0	0,0089	н/д	н/д	3,0	1	1,64
Изоамилацетат	3,0	0,0089	н/д	н/д	4,0	0,75	1,23
Горечи пива	21	0,0624	н/д	н/д	1	21	34,38
Ксантогумол	5	0,0149	н/д	н/д	0,9	5,56	9,10
Изо-альфа-кислоты	4	0,0119	н/д	н/д	1,0	4	6,55
	=33632,87		=8,61	=100		=61,09	

1/LD₅₀ – это единственный в токсикометрии статистически значимый показатель токсичности. Для целей практического внутризаводского мониторинга мы пришли к выводу о нецелесообразности контроля веществ, токсичность которых составляет менее 0,01 суммарной токсичности 1 л пива (менее 0,1%) и менее 0,05% суммарной массы от всех компонентов состава 1 л пива. Разработка основ этого стандарта качества и безопасности пива как пищевого продукта неизбежно повлекла за собой не только необходимость пересмотра аналитического сопровождения стандарта. Высветилась главная проблема: реальное отсутствие в мировой практике гибкого технологического процесса, способного обеспечить производство пива с заданными вкусоароматическими свойствами и по-

ниженными токсикологическими характеристиками. Логика научного поиска, отраженная на рисунке 2, привела к необходимости использовать рекомендации НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Point: русскоязычный эквивалент – «АРКККТ» – анализ рисков и концепция критической контрольной точки) для выявления критических точек технологии производства пива с целью их устранения. При этом сделан основной упор не столько на решении технологических проблем, сколько на возможности создания автоматизированного мониторинга качества промежуточного продукта в ходе его биотехнологических превращений из сырья в полупродукт и готовое пиво.

Оказалось возможным поэтапно проследить по ходу технологического процесса, ис-

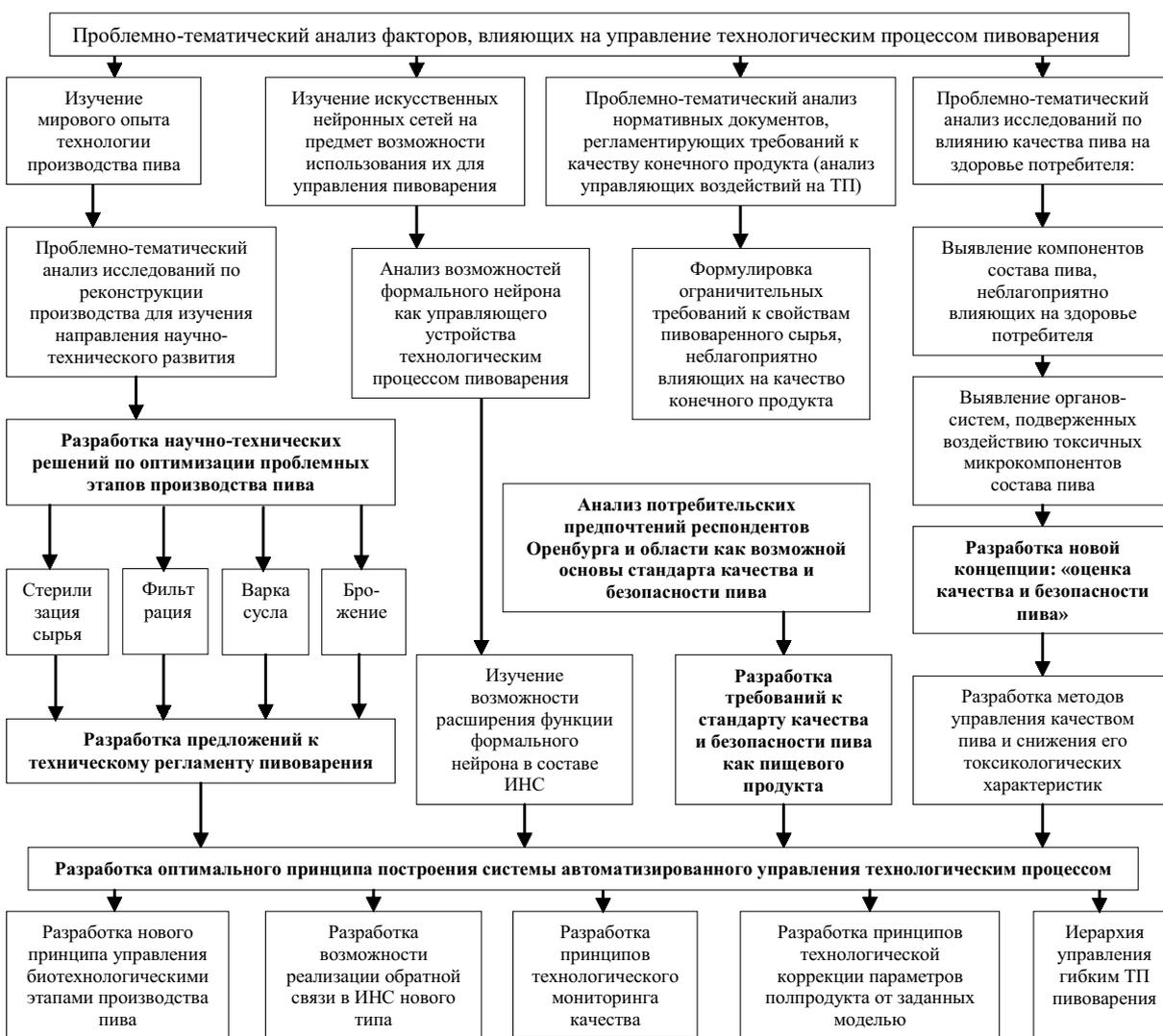


Рисунок 2. Алгоритм проведения теоретических и экспериментальных исследований

пользуя как маркеры 25 минералов и микроэлементов в динамике изменения их концентраций от пивоваренного сырья, сусла, молодого пива и до конечного продукта [4]. Динамика изменения концентраций маркеров представлена на рисунках 3-5.

Исследование показало, что до конечного продукта из состава сырья доходит менее 10% жизненно необходимых потребителю минералов. При этом выявилась недопустимость оценки качества пива как пищевого продукта по концентрациям минералов или микроэлементов. Методической ошибкой органов санитарно-эпидемиологического надзора является требование контроля в составе пива «ионов тяжелых металлов суммарно» без подразделения на биологически необходимые человеку соли с органическими кислотами в отличие от токсичных солей этих же металлов с неорганическими кислотами. Это привело к недопустимым противоречиям в требованиях СанПиН 2.3.2.1078-01, контролирующих внешние загрязнения в сырье и готовом продукте, и МР 2.3.1.1915-04, определяющих ежесуточную биологическую потребность человека в ионах этих же металлов и минералов. Считаем, что настало время применять к пиву стандарты не санитарного загрязнения или сельхозпроизводителей, а пищевой промышленности с четким указанием ингредиентного состава и биологически активных полезных веществ. Наши предложения по стандарту приведены в [5, 6].

Создание гибкого технологического процесса пивоварения невозможно без автоматизации каждого его этапа. При этом оказалось невозможным применение существующих методов автоматизации управления процессами в связи с тем, что существующий технологический мониторинг не предусматривает мониторинга качества полупродукта. Априорно считается, что контролируя процесс по состоянию оборудования, можно получить удовлетворительное качество конечного продукта. Моделируя процесс, мы убедились, что, даже обладая совершенным формали-

зованным стандартом выхода системы (стандартом качества конечного продукта), невозможно использовать для автоматизации процесса пивоварения существующие интеллектуальные нейронные сети из-за отсутствия у них своевременной обратной связи. Выявление нестандартного конечного продукта как «внутризаводского брака» на конечном этапе практически невозможно технологически исправить.

Поставленные задачи исследования не позволили использовать хорошо разработанный

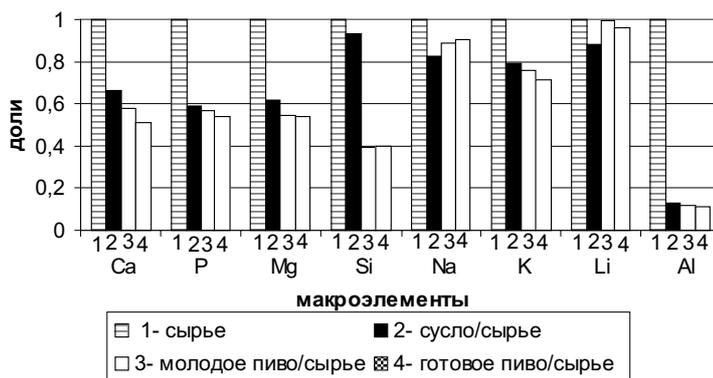


Рисунок 3. Соотношения макроэлементов в сырье, полупродуктах и готовом пиве

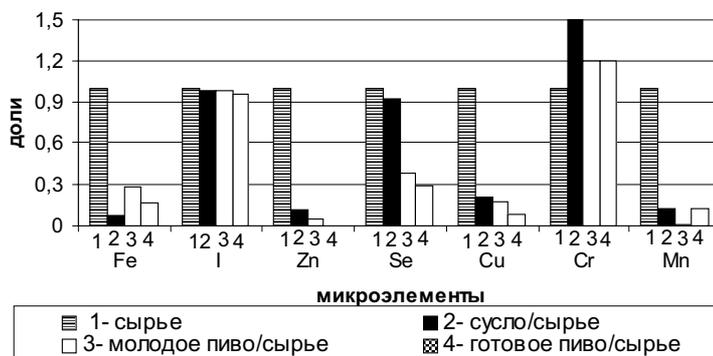


Рисунок 4. Соотношения микроэлементов в сырье, полупродуктах и готовом пиве

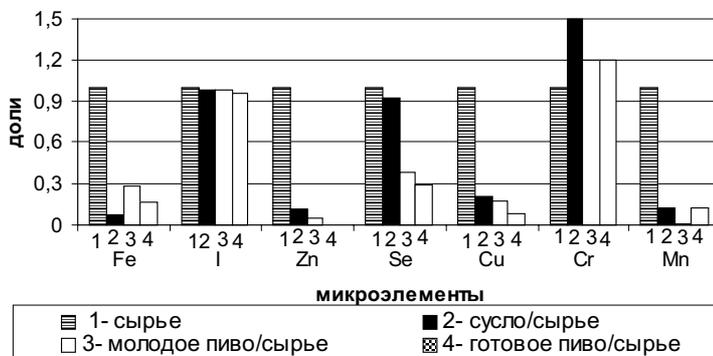


Рисунок 5. Соотношения потенциальных токсикантов в сырье, полупродуктах и готовом пиве

математический аппарат применения нейросетевого подхода по той причине, что обобщенный показатель качества не позволяет производить управление и стабилизацию каждого из отдельных параметров модели объекта управления конкретными исполнительскими механизмами, специализированными на коррекции строго определенного параметра. Иными словами, для поддержания качества суслу нет необходимости суммировать или интегрировать показания датчиков температуры, плотности суслу, кислотности среды, насыщения раствора кислородом и углекислотой, рассчитывая при этом весовые коэффициенты каждого из потоков информации. Это тем более нелепо, что результирующий выход никак не может обеспечить выполнение задачи: приведение качества всего объема суслу в границы заданных единичных параметров. Управление биотехнологическими этапами пивоварения не может быть сведено ни к одному из известных типов ИНС. Поэтому возникла необходимость разработки оригинальной сети, базирующейся на формальном нейроне, обладающем обратной связью [7].

Мы реконструировали структуру формального нейрона, приблизив его функции к реальному нейрону, объединяющему возможности афферентной (сенсорной мониторинговой) и моторной (исполнительной) иннервации конкретного объекта (мышцы, органа, железы).

Поставленная техническая задача управления качеством полупродукта решалась нами следующим образом (рисунок 6). Данные фактических показаний контрольно-измерительных приборов каждого значимого показателя качества объекта управления (ОУ), например пивного суслу, в режиме онлайн-мониторинга поступают как информационные входные сигналы (φ_t ; φ_c ; φ_c) в блок сравнения процессора и сопоставляются с заданными моделью значениями параметров: $\varepsilon(\tau) = y(\tau) - y_{зад}(\tau)$. При установлении различий заданных и фактических значений процессор подает управляющее воздействие $U(\tau)$ на соответствующий исполнительный механизм, которое будет продолжаться до тех пор, пока не установится заданное равенство.

В биологическом объекте этот процесс называется гомеостазисом, а в технических устройствах – механизмом обратной связи. Для реализации принципа обратной связи по достижению заданного качества разработаны критерии ка-

чества полупродукта, которые следует соблюдать на основных технологических этапах пивоварения, а также стандарт качества и безопасности готового продукта как основного выхода функции «Производить пиво».

Принципиальным отличием предлагаемой системы управления является тот факт, что объектом регулирования является не только технологическое оборудование с мониторингом технического состояния и возмущающих воздействий $d(t)$ в виде «человеческого фактора», но в основном мониторинг качества полупродукта в процессе его биотехнологического превращения из сырья в конечный продукт.

Возмущающими воздействиями в пивоварении являются многочисленные факторы трудно предсказуемого биотехнологического ферментативного процесса, постоянно приводящие к изменению физических, химических и биохимических переменных качества ОУ. И этот факт отличает САР в пивоварении от типовых САР ХТП, в которых возмущающими воздействиями являются известные и предсказуемые причины типа сбоя работы оборудования, нарушения технологических режимов, изменения факторов окружающей среды, реже – истощение катализаторов и «человеческий фактор». В пивоварении ОУ и его модели являются прогнозными, полученными аналитическим или экспериментальным путем с большими вероятностями погрешностей. Вовремя остановить процесс изменения исходного состояния ОУ (сырья или полупродукта) для приведения его в соответствие с заданными параметрами модели можно только по параметрам мониторинга качества управляемых (регулируемых) параметров в объекте управления и присвоевременном применении управляющих воздействий как противовеса возмущающим воздействиям. В алгоритм закладывается прогнозирование возмущающих воздействий, приложенных к системе в реализуемом временном интервале, а также ожидаемые отличия между заданным и действительным значениями управляемой величины ОУ. В предлагаемой структуре формального нейрона этот механизм носит универсальный характер для управления любым технологическим процессом. Удалось разработать оригинальную двухуровневую структуру ИНС ТП на основе новой разработанной нами концепции формаль-

ного нейрона, обладающего обратной связью на нижнем уровне автоматизированного управления (рисунок 7).

Представленная модель ИНС может быть использована для управления любым производственным процессом (ТП) при условии существования стандарта качества конечного продукта (O_1 – выхода ТП), стандарта качества входного сырья (I_1) и управляющего воздействия (C_1) в виде технического производственного регламента. При этом управление ТП следует производить на основе мониторинга качества объекта управления (ОУ – поэтапное превращение сырья в полупродукт и конечный продукт), используя регулирование по отклонению от заданных моделями сравнения диапазонов значений каждого из значимых параметров ОУ (min-max), путем применения корректирующих технологических воздействий, устраняющих возникшее возмущение (dt) по принципу обратной связи с отрицательным направлением воздействия. Разработанная схема управления процессом на основе соблюдения параметров качества объекта включает наличие второго иерархического уровня управления (регулирования), носящего функции контроля, архивирования и визуализации процесса с возможностью блокировки технологического процесса, если выявляется сбой в системе автономного саморегулирования в пределах каждого отдельного технологического этапа.

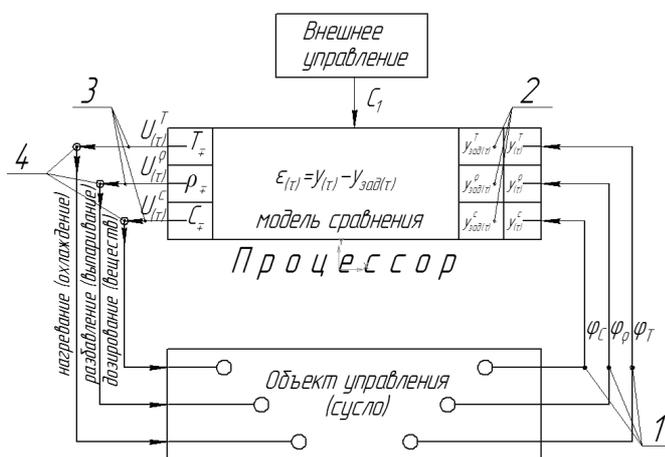
По существующим принципам организации автоматизированного управления технологическим процессом включение человека в систему управления нежелательно, так как приводит к формированию сложной вероятностной биокibernетической системы, взаимосвязанной с простыми детерминированными машинами.

Это крайне ненадежно из-за так называемого «человеческого фактора». В разработанной нами системе участие технолога-оператора предусмотрено только при наличии сбоев параметров работы технологического оборудования, при возникновении сигнала о необходимости проведения корректирующих мероприятий по устранению «исправимого брака» (для подтверждения правомочности решений «первичного нейрона») или при возникновении необходимости коррекции стан-

дартов качества промежуточного продукта (при использовании нестандартного сырья).

Разработанная модель автоматизированного мониторинга и управления технологическим процессом не требует капитальных затрат и может быть реализована в рамках модернизации существующего производства и его дооснащения автоматизированными блоками.

При этом управление каждым технологическим этапом производится микропроцессором автоматизированно без участия оператора по принципу устранения возмущающего отклонения от заданных параметров модели качества. Проработка схем автоматизированного управления отдельными этапами показала возможность технологической оптимизации процессов. Получены три патента на способы получения пива с повышенными целебными свойствами и способы приготовления суслу [8, 9]. Семь из разработанных технических решений оформлены как заявки на предполагаемые изобретения или полезные модели. Оказалось, что уже на этапе солодоращения и хранения солода, применяя методы осушки зерна и подавления микробионтов хранения озono-воздушной смесью, можно предотвратить накопление в пиве нитрозаминов и афлатоксинов; применяя микронизацию зерна, можно существенно повысить его осаживаемость; использование ориги-



- 1 – информационные входные сигналы ($c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$);
 2 – блок сравнения: заданные моделью параметры ($Y_{зад}$ по температуре, $Y_{зад}$ по плотности, $Y_{зад}$ по концентрации сахара, этанола или минералов);
 3 – управляющие воздействия u^T, u^P, u^C, u^S ; 4 – исполнительные устройства

Рисунок 6. Структура формального нейрона как аналог рефлекторной дуги биологического объекта для ИНС ТП с обратной связью

нального четырехконтурного фильтрационно-автомата позволяет управлять процессом фильтрации затора и выщелачивания дробины; оригинальная схема автоматизации низкотемпературного сусловарочного котла позволяет существенно снизить энергозатраты и снять вопросы о канцерогенных свойствах пива; автоматизация управления процессом размножения семенных дрожжей и оригинальная технология проведения основного брожения позволяют получать пиво с заданными свойствами.

Анализ направлений научно-технического развития технологий пивоварения, учтенный в наших технических решениях по автоматизации, позволил нам разработать требования технического регламента на производство пива, обеспечивающие качество и безопасность конеч-

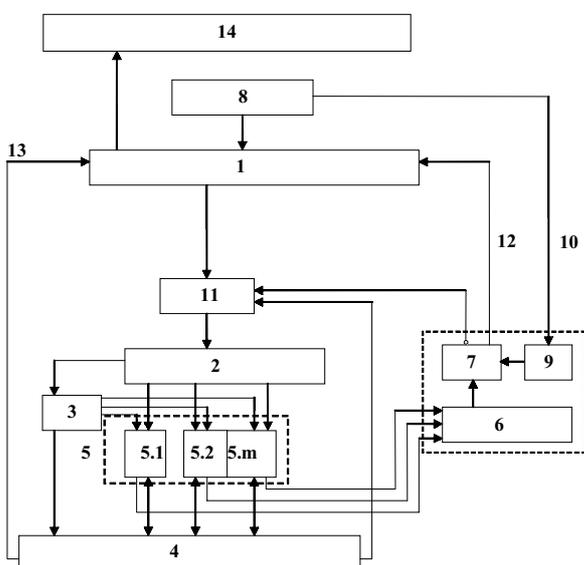
ного продукта, который мы рекомендуем для гармонизации стран ВТО [10].

Существующие классификации искусственных нейронных сетей (ИНС) различают не столько по структуре аппаратных составляющих, сколько по их адекватности различным направлениям науки. Например, А.И. Галушкин выделяет пять основных направлений развития ИНС: математика (математическая статистика), математическая логика (теория автоматов), теория управления, вычислительная математика (информатика) и вычислительная техника (аппаратная реализация) [11].

При характеристике «в общем виде» разработанная нами ИНС относится к «теории управления» и представляет собой искусственную нейронную сеть, в которой каждый формальный нейрон нижнего уровня управляет отдельным этапом технологического процесса (конкретной установкой) по принципу «управление по отклонению» от заданных параметров модели качества полупродукта. При этом верхний уровень управления процессом – центральный нейрон ИНС – получает информацию только о внештатных отклонениях технологического процесса на любом из этапов, требующую централизованного вмешательства дежурного персонала. Все остальные регуляторы (управляющие, корректирующие или регулирующие мероприятия) объекта регулирования (качество полупродукта) осуществляются автоматически региональным ФН на принципах мониторинга и обратной связи. Этот новый принцип управления в ИНС классифицируется как управление по «системе стабилизации», предназначенной для поддержания заданного значения системной переменной (выхода системы) на определенном уровне независимо от действующих на систему возмущений.

В соответствии с классификацией систем автоматизированного управления с переменными параметрами [12] разработанная нами система относится к категории интеллектуальных нейронных сетей. В основу системы положена теория функциональных систем, использующих простейшую системную приспособительную реакцию живого организма взамен моделирования структур мозга или систем искусственного разума.

Участие оператора в управлении ИНС ТП предусмотрено в случаях получения тревожного



1 – управляющий процессор; 2 – блок управления основным технологическим оборудованием; 3 – блок управления вспомогательным оборудованием; 4 – блок мониторинга технического состояния оборудования; 5. (5.1, 5.25.m) – основное технологическое оборудование данного этапа процесса пивоварения; 6 – блок мониторинга качества; 7 – блок сравнения фактических параметров ОУ с заданными моделью 9; 8 – дежурный технолог-оператор; 9 – стандарт качества и безопасности полупродукта; 10 – специальный канал связи (коррекция стандарта); 11 – блок коррекции; 12 – сигнал выхода отклонения качества промежуточного продукта за критические параметры (тревожный сигнал рассогласования); 13 – сигнал внештатной ситуации состояния технологического оборудования (сигнал аварийной технической ситуации для блокировки процесса); 14 – мнемосхема текущего состояния процесса (блоки визуализации и архивирования).

Рисунок 7. Двухуровневая ИНС управления процессом пивоварения по предлагаемым принципам

сигнала о состоянии основного или корректирующего оборудования одного из технологических этапов или при внесении изменений в модель качества блока сравнения ФН при необходимости изменения рецепта конечного продукта. Отклонения фактических параметров качества полупродукта (каждого конкретного параметра по заданной программе) от заданных моделью сравнения устраняются управляющим микропроцессором с применением корректирующих устройств по принципу отрицательной обратной связи, аналогичной гомеостазису в реальном биологическом объекте; при этом при выходе параметров качества полупродукта за диапазон допустимых моделью сравнения значений микропроцессор инициирует тревожный сигнал на второй уровень управления для привлечения внимания дежурного оператора.

Выводы

1. Разработана принципиально новая структура интеллектуальной нейронной сети на базе формального нейрона с отрицательной обратной связью, имитирующего рефлекторную дугу и гомеостазис реального биологического объекта. В основу системы положена теория функциональных систем, использующих простейшую системную приспособительную реакцию живого организма взамен моделирования структур мозга или систем искусственного разума.

2. Существующие нейронные сети можно существенно упростить, как структурно или эксплуатационно, так и снять проблемы обучения при использовании структурного

элемента «формального нейрона» не как бинарного элемента сортировки входных сигналов, а как нейрона с отрицательной обратной связью, имитирующего рефлекторную дугу и гомеостазис реального биологического объекта.

3. Автоматизация управления технологическим процессом производства пива возможна на базе двухуровневой ИНС ТП с обратной связью на уровне формального нейрона нижнего уровня.

4. Существующие технологические линии могут быть пригодны для производства пива с заданными вкусоароматическими свойствами и пониженными токсикологическими характеристиками при переводе на гибкие режимы управления процессом пивоварения путем добавления блоков автоматизированного управления на принципах предлагаемой концепции формального нейрона с обратной связью.

5. Автоматизация технологического процесса пивоварения возможна только на базе поэтапных стандартов качества полупродукта, последовательно приближающихся к стандарту качества и безопасности конечного продукта.

6. Развитие концепции «устраняемого внутриварового брака» как устраняемого корректирующими мероприятиями отклонения фактических параметров полупродукта от заданных моделью сравнения на предварительных этапах производства пива позволит предотвратить необратимые отклонения параметров качества конечного продукта от стандарта качества и безопасности пива.

26.04.2010 г.

Список литературы:

1. Породько, А.А. Особенности национального внедрения ERP, или Взгляд снизу вверх [Электронный ресурс] / А.А. Породько, А.В. Ишуков. Режим доступа: <http://www.erpnews.ru/doc2817.html>. – Дата обращения 12.04.2010.
2. Третьяк, Л.Н. Возможности функционального моделирования процессов жизненного цикла пивоварения / Л.Н. Третьяк, М.С. Зобков // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии / Сборник материалов четвертой Всероссийской научно-практической конференции. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – С. 402-405.
3. Третьяк, Л.Н. Россия и ВТО. Пути гармонизации пивоваренных стандартов / Л.Н. Третьяк, Е.М. Герасимов // Индустрия напитков. – 2010. – №1. – С. 42-47.
4. Третьяк, Л.Н. Миграция химических элементов в технологическом процессе производства пива / Л.Н. Третьяк, А.В. Скальный, Е.М. Герасимов // Изв. высш. учебных заведений. Пищевая технология. – Краснодар, 2009. – №5-6 (311-312). – С. 24-26.
5. Третьяк, Л.Н. Унифицированный стандарт качества и безопасности пива / Л.Н. Третьяк, Е.М. Герасимов // Индустрия напитков. – 2009. – №3. – С. 32-34.
6. Третьяк, Л.Н. Проблемы стандартизации в пивоварении и пути их решения // Пищевая промышленность: состояние, проблемы, перспективы: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009 – С. 104-109.
7. Третьяк, Л.Н. Перспективы изменения принципов автоматизированного управления процессом производства «идеального пива» / Л.Н. Третьяк, Е. М. Герасимов // Пищевая промышленность: состояние, проблемы, перспективы: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – С. 267-271.
8. Пат. 2383587 Российская Федерация, МПК7 C12C 11/00. Способ производства пива / Л. Н. Третьяк, Е. М. Герасимов; заявитель и патентообладатель Оренбург. гос. ун-т. – 2008119253/13; заявл. 15.05.2008; 10.03.2010, Бюлл. №7. – 3 с.

9. Положительное решение РОСПАТЕНТа о выдаче патента на изобретение по заявке №2008147387/13(062043) «Способ получения пивного сула» от 11.12.2010.
10. Третьяк Л.Н. Требования к безопасности пивоваренной продукции. Предложения по изменению проекта ФЭ «Технический регламент на пивоваренную продукцию» / Л.Н. Третьяк, Е.М. Герасимов // Стандарты и качество. – 2010. – №1. – С. 32-34.
11. Галушкин, А.И. Современные направления развития нейрокompьютерных технологий в России // Открытые системы. – 1997. – №4. – С. 25-28.
12. Нестационарные системы автоматического управления: анализ, синтез и оптимизация / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 632 с.

Сведения об авторе: Третьяк Людмила Николаевна, доцент кафедры метрологии, стандартизации и сертификации Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент.
460018 г. Оренбург, пр. Победы 13, тел. 8 (3532) 37-25-10, e-mail: tretyak@mail.osu.ru

Tretyak L.N.

THE AUTOMATION OF CONTROL OF THE PROCESS OF THE PRODUCTION OF BEER WITH THE ASSIGNED PROPERTIES

The author represented the fundamentally new diagram of control of the biotechnological process of brewing on the base of the improvement of the principle of net "neuron control", of the including introduction in the structure neuron of feedback loop. The proposed principle of control makes it possible to consecutively draw near the quality of half-finished product, step by step ensuring its approximation to the parameters of the quality of end product, assigned by model.

The key words: formal neuron; the intellectual neuron networks of control of technological process; the standard of quality and safety of beer; the technical regulations of the production of beer with the assigned taste and aroma properties and the lowered toxicological characteristics;

References:

1. Porodjko, A.A. National intrusion ERP characteristics or bottom-up look [Electronic resource] / A.A. Porodjko, A.V. Ishukov. Access mode: <http://www.erpnews.ru/doc2817.html>. – Date 12.04.2010.
2. Tretjak, L.N. Functional modeling facilities of brewing life-cycle processes / L.N. Tretjak, M.S. Zobkov // Computer integration of manufacture and IPI-technologies. /Collected articles of the forth All-Russian theoretical and practical conference. – Orenburg : IPC SEE OSU, 2009. – P.402-405.
3. Tretjak, L.N. Russia and WTO. Ways of brewing standards harmonization / L.N. Tretjak, E.M. Gerasimov // Beverage industry. – 2010. – №1. – P. 42-47.
4. Tretjak, L.N. Chemical elements migration in the beer production technological process / L.N. Tretjak, A.V. Skaljnjij, E.M. Gerasimov // Proceedings of higher educational establishment. Food technology. – Krasnodar, 2009. -№5-6 (311-312). – P. 24-26.
5. Tretjak, L.N. Quality and safety of beer uniform standard / L.N. Tretjak, E.M. Gerasimov // Beverage industry. – 2009. – №3. – P. 32-34.
6. Tretjak, L.N. Standardization problems in brewing and ways of its decision // Food industry: condition, problems, opportunities: materials of International theoretical and practical conference. -Orenburg: IPC SEE OSU, 2009 – P. 104-109.
7. Tretjak, L.N. Perspective change of principles of automated «ideal beer» production process management / L.N. Tretjak, E.M. Gerasimov // Food industry: condition, problems, opportunities: materials of International theoretical and practical conference. -Orenburg: IPC SEE OSU, 2009. – P. 267-271.
8. Pat. 2383587 Russian Federation, MPK7 S12S 11/00. Beer production method / L.N. Tretjak, E.M. Gerasimov; applicant and patent holder Orenburg state university– 2008119253/13; declared 15.05.2008; 10.03.2010, Newsletter №7. – 3 p.
9. ROSPATENT favorable decision about patent grant on the invention on demand №2008147387/13(062043) «Method of beer wort receipt» from 11.12.2010.
10. Tretjak, L.N. Requirements to safety brewing product. Change project offer FZ «Brewing product technical time limit» / L.N. Tretjak, E.M. Gerasimov // Standards and quality. – 2010. – №1. – P. 32-34.
11. Galushkin, A.I. Modern directions of neural technologies development in Russia // Opened systems. – 1997. -№4. – P. 25-28.
12. Rheonomic systems of automated management: analysis, synthesis and optimization / edited by K.A. Pupkov, N.D. Eguinov. – М.: Press MGTU under N. Je. Bauman, 2007. – 632 p.