

УДК 004.8

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_106

**АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА**

**ANALYSIS OF THE USE OF EXPERT SYSTEMS
FOR MONITORING AND FORECASTING PRODUCTION PROCESSES**

*И.Г. БЛАГОВЕЩЕНСКИЙ, М.Г. БАЛЫХИН, М.М. БЛАГОВЕЩЕНСКАЯ,
Е.А. НАЗОЙКИН, Н.Ю. ЛОГУНОВА*

*I.G. BLAGOVESCHENSKY, M.G. BALYKHIN, M.M. BLAGOVESCHENSKAYA,
E.A. NAZOYKIN, N. YU. LOGUNOVA*

(Московский государственный университет пищевых производств)

(Moscow State University of Food Productions)

E-mail: igblagov@mgupp.ru; mmb@mgupp.ru

В статье приведен анализ применения интеллектуальных экспертных систем для контроля хода технологических процессов различных производств. Показано, что экспертные системы – это яркое и быстро прогрессирующее направление в области искусственного интеллекта. Экспертная система аккумулирует в себе опыт и знания высококвалифицированных специалистов и позволяет автоматически анализировать накопленные данные. В статье проводится аналитический обзор основных задач, решаемых интеллектуальными экспертными системами, и показаны области их применения. Показаны критерии целесообразности применения таких систем. Представлена общая структура создания экспертных систем и основные этапы разработки. Приведена схема взаимодействия основных блоков этих систем. Рассмотрены основные задачи, решаемые экспертными системами в машиностроении.

The article analyzes the use of intelligent expert systems for monitoring the progress of technological processes in various industries. It is shown that expert systems are a bright and rapidly progressing direction in the field of artificial intelligence. The expert system accumulates the experience and knowledge of highly qualified specialists and allows you to automatically analyze the accumulated data. The article provides an analytical review of the main tasks solved by intelligent expert systems and shows the areas of their application. The criteria for the feasibility of using such

systems are shown. The General structure of creating expert systems and the main stages of development are presented. The scheme of interaction of the main blocks of these systems is given. The main tasks solved by expert systems in mechanical engineering are considered.

Ключевые слова: экспертные системы, контроль, прогнозирование качества, технологические процессы, знания предметной области.

Keywords: expert systems, quality control, forecasting, technological processes, knowledge of the subject area.

В условиях рыночной экономики интенсивное развитие производства изделий и услуг предъявляет в настоящее время особые требования к контролю и прогнозированию качества проводимых технологических процессов. И эта проблема не может быть решена в полной мере традиционными методами, как-то: улучшением технологии производства, стабилизацией параметров измерительных каналов за счет поддержания, например, температуры, уровня давления и т.д. В связи с этим весьма привлекательным выглядит использование интеллектуальных систем, то есть систем или устройств с программным обеспечением, имеющих возможность с помощью встроенного процессора настраивать свои параметры в зависимости от хода этапов технологических процессов (ТП) производства разнообразной продукции. Более того, именно в этом направлении видятся стратегические и тактические перспективы развития автоматизации контроля и прогнозирования параметров качества различных изделий с использованием интеллектуальных технологий нового поколения.

Одним из эффективных направлений развития интеллектуальных систем является создание и внедрение экспертных систем, востребованность которых на рынке автоматизации очень высока, что подтверждается рядом публикаций [1...3]. Экспертные системы (ЭС) – это яркое и быстро прогрессирующее направление в области искусственного интеллекта (ИИ). Причиной повышенного интереса, который ЭС вызывают к себе на протяжении всего своего существования, является возможность их применения к решению задач из самых различных областей человеческой деятельнос-

ти. Пожалуй, не найдется такой проблемной области, в которой не было бы создано ни одной ЭС или, по крайней мере, такие попытки не предпринимались бы [4].

Актуальность развития и создания экспертных систем в настоящее время несомненна. Действительно, хорошо разработанная ЭС может стать серьезной и значимой частью производства, рационализируя управление технологическими процессами этого производства, минимизируя расходы на организацию и проведение регистрации показателей качества сырья и полуфабрикатов на всех возможных стадиях производства с последующим анализом полученных результатов и прогнозированием качества готовых изделий.

Поэтому нами проведен обзор и анализ научно-технической информации о развитии этих систем, как важнейшего направления искусственного интеллекта, даны задачи, решаемые интеллектуальными ЭС, их характеристики и отличительные особенности [7], [8]. Представлена общая структура, основные этапы разработки интеллектуальных ЭС, области их применения, а также примеры их использования [9], [10].

Понятие экспертных систем

Название "экспертная система" (ЭС) происходит из термина "экспертная система, базирующаяся на знаниях". ЭС являются основной разновидностью интеллектуальных систем [11]. ЭС – это система, построенная на основе программного продукта, которая использует человеческие знания, встраиваемые в компьютер, для решения задач, требующих обычно человеческой экспертизы, выполняя функции эксперта, а также позволяет сокращать штат работников в определенных областях и по-

могает находить наиболее логичные оптимальные решения поставленных проблем (задач) [12].

Назначение ЭС – автоматизация деятельности человека [13]. ЭС, как и эксперт-человек, в процессе своей работы оперирует со знаниями. Знания о предметной области, необходимые для работы ЭС, определенным образом формализованы и представлены в памяти ЭВМ в виде базы знаний, которая может изменяться и дополняться в процессе развития системы.

В начале восьмидесятых годов в исследованиях по искусственному интеллекту сформировалось самостоятельное направление, получившее название "экспертные системы" (ЭС). В настоящее время ЭС применяются с целью решения всевозможных типов задач в самых различных проблемных областях, таких как экономика, нефтяная и газовая индустрия, энергетика, автотранспорт, фармацевтическое производство, космические инновации, химия, образование, пищевая и текстильная промышленности, телекоммуникации и связь и др. В Российской Федерации в изучение и исследование ЭС большой вклад внесли труды Д.А. Поспелова, Э.В. Попова, В.Ф. Хорошевского, В.Л. Стефанюка, Г.С. Осипова, В.К. Финна, В.Л. Вагина, В.И. Городецкого и множества других [14...16].

Цель исследований по ЭС состоит в разработке программ, которые при решении задач, трудных для эксперта-человека, получают результаты, не уступающие по качеству и эффективности решениям, получаемым экспертом. Принципиальным отличием ЭС от других программ является то, что она выступает не в роли "ассистента", выполняющего за человека часть работы, а в роли "компетентного партнера" – эксперта-консультанта в какой-либо конкретной предметной области. ЭС аккумулирует в себе опыт и знания высококвалифицированных специалистов, позволяет пользоваться этими знаниями "не специалистам" в данной предметной области. То есть ИЭС не призвана заменить собою эксперта в его непосредственной деятельности, а, напротив, расширяют возможную сферу применения знаний авторитетных специалистов.

Способности ЭС решать поставленные задачи не ослабевают со временем и не забываются при отсутствии практики, легко распространяются, так как являются компьютерной программой, прекрасно документированы, а значит и аргументированы. При многократном решении одной и той же задачи ЭС выдает одно и то же решение в отличие от человека, который подвержен эмоциональным факторам. Плюс ко всему эксплуатация ИЭС значительно дешевле, чем оплата труда человека-эксперта.

Главное достоинство ЭС – возможность накапливать знания, сохранять их длительное время, обновлять и, тем самым, обеспечивать относительную независимость конкретной организации от наличия в ней квалифицированных специалистов. Накопление знаний позволяет повышать квалификацию специалистов, работающих на предприятии, используя наилучшие, проверенные решения.

Аналитический обзор основных задач, решаемых ИЭС. Области их применения

Причиной повышенного интереса, который ИЭС вызывают к себе на протяжении всего своего существования, является возможность их применения к решению задач из самых различных областей человеческой деятельности. Пожалуй, не найдется такой проблемной области, в которой не было бы создано ни одной ЭС или, по крайней мере, такие попытки не предпринимались бы.

Области применения ИЭС, основанных на знаниях, могут быть сгруппированы в несколько основных классов: медицинская диагностика, контроль и управление технологическими процессами в различных отраслях промышленности, диагностика неисправностей оборудования, обучение.

а) Медицинская диагностика. Диагностические системы используются для установления связи между нарушениями деятельности организма и их возможными причинами. Наиболее известна диагностическая система MYCIN, которая предназначена для диагностики и наблюдения за состоянием больного при менингите и бактериальных инфекциях. В настоящее время эта система ставит диагноз на уровне врача-специалиста. Она имеет расширенную базу

знаний, благодаря чему может применяться и в других областях медицины [17].

б) Прогнозирование. Прогнозирующие системы предсказывают возможные результаты или события на основе данных о текущем состоянии объекта. Так, имеются ИЭС, которые могут проанализировать конъюнктуру рынка и с помощью статистических методов и алгоритмов разработать для вас план капиталовложений на перспективу [18]. Прогнозирующие ИЭС системы уже сегодня могут предсказывать погоду, урожайность и поток пассажиров. Даже на персональном компьютере, установив простую систему, основанную на знаниях, можно получить местный прогноз погоды. Существующие ИЭС, используемые на машиностроительных предприятиях и в экономике, позволяют повысить эффективность производства, качество выпускаемых изделий и услуг, уменьшив время принятия решений.

в) Планирование. Планирующие ИЭС предназначены для достижения конкретных целей при решении задач с большим числом переменных. Так, фирма Informat [19] предоставляет в распоряжении покупателей ИЭС, установленные в холле своего офиса, на которых проводятся бесплатные 15-минутные консультации с целью помочь покупателям выбрать товар, в наибольшей степени отвечающий их потребностям и бюджету. Компания Boeing применяет ИЭС для проектирования космических станций, а также для выявления причин отказов самолетных двигателей и ремонта вертолетов. Экспертная система XCON, созданная фирмой DEC, служит для оптимизации конфигурации компьютерных систем в соответствии с требованиями покупателя. Фирмой DEC разработана мощная ИЭС с целью оказания помощи покупателям при выборе вычислительных систем с нужной конфигурацией.

г) Интерпретация. Интерпретирующие ИЭС обладают способностью получать определенные заключения на основе результатов наблюдения. ИЭС PROSPECTOR, одна из наиболее известных систем интерпретирующего типа, объединяет знания девяти экспертов. Используя сочетания

девяти методов экспертизы, системе удалось обнаружить залежи руды стоимостью в миллион долларов, причем наличие этих залежей не предполагал ни один из девяти экспертов. Другая интерпретирующая система – HASP/SIAP определяет местоположение и типы судов в тихом океане по данным акустических систем слежения.

д) Контроль и управление. ЭС могут применяться в качестве интеллектуальных систем контроля и принимать решения, анализируя данные, поступающие от нескольких источников. Такие системы уже работают во многих отраслях промышленности. Полученные данные полезны при регулировании различных ТП, финансовой деятельности предприятия и оказывают помощь при выработке решений в критических ситуациях.

е) Диагностика неисправностей оборудования. В этой сфере ИЭС незаменимы как при ремонте различного оборудования любой отрасли промышленности, так и при устранении неисправностей и ошибок в аппаратном и программном обеспечении компьютеров.

ж) Обучение. ИЭС могут входить составной частью в компьютерные системы обучения. Система получает информацию о деятельности некоторого объекта (например, студента) и анализирует его поведение. База знаний изменяется в соответствии с поведением объекта.

Таким образом, ИЭС контролируют ТП, выдают советы, проводят анализ хода ТП, выполняют классификацию, дают консультации, ставят диагноз и т.д. Они ориентированы на решение задач, обычно требующих проведения экспертизы человеком-специалистом. При определении целесообразности применения таких систем нужно руководствоваться следующими критериями: данные и знания надежны и не меняются со временем; пространство возможных решений относительно невелико; системы, основанные на знаниях, более подходят для решения задач, где требуются формальные рассуждения; должен быть, по крайней мере, один эксперт, который способен ясно сформулировать свои знания и объяснить свои методы применения этих знаний для решения задач.

Задачи контроля и прогнозирования хода ТП трудноформализуемы. В связи с этим возникает целесообразность разработки ИЭС, осуществляющей поддержку процесса контроля в потоке показателей качества сырья и полуфабрикатов при производстве различных изделий и прогнозирования качества готовой продукции. Общая структура разработки ИЭС состоит из шести основных этапов: идентификация, концептуализация, формализация, выполнение, тестирование, опытная эксплуатация (рис. 1 – этапы разработки ЭС) [19].

Участие в ходе построения ЭС принимают следующие специалисты: эксперт в той предметной сфере, вопросы которой будет решать ЭС; инженер по знаниям – специалист по проектированию ЭС; программист, осуществляет общую модификацию и согласование инструментальных средств.



Рис. 1

Численность ЭС в настоящее время приближается к десяткам тысяч. В различных сферах жизни разработкой и внедрением занимаются сотни фирм в развитых зарубежных странах. В странах СНГ также имеется опыт разработки и построения ЭС [20].

На рис. 2 приведена схема взаимодействия основных блоков ЭС.

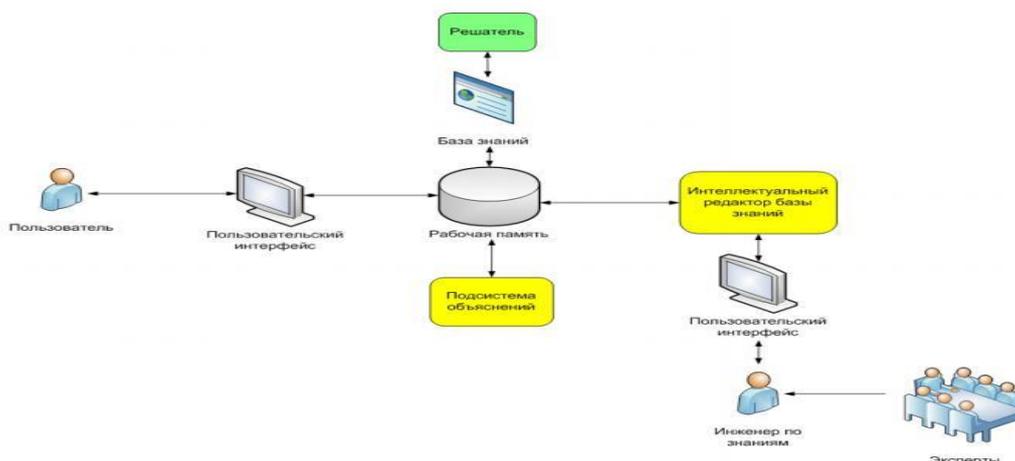


Рис. 2

В структуре рассматривается последовательность взаимодействия отдельных блоков ЭС друг с другом, а также их функции. Поэтому следует учесть некоторый круг задач, решаемых с помощью ЭС [21]: интерпретация – это заключение описаний ситуаций из наблюдаемых данных, получаемых от датчиков; прогнозирование – заключение возможных следствий из заданных ситуаций; диагностирование – выявление причин нарушений в эксплуатации технической системы или организма человека, основываясь на наблюдениях; мониторинг – сравнение итогов наблюдения с ожидае-

мыми результатами; проектирование – создание конфигурации объектов, которая удовлетворяет установленным лимитам; планирование – проектирование плана действий с целью достижения установленной цели; контроль – предупреждение о нештатных ситуациях и каких либо "опасностях"; отладка – формирование и выдача рекомендаций по ликвидации неправильного функционирования системы; ремонт – осуществление плана устранения определенного выявленного дефекта; обучение – диагностика и исправление поведения обучаемого.

Любая из данных задач содержит собственную специфику в решении, однако их всех связывает фундамент, на котором они осуществляют собственное решение. И данная основа есть база знаний, являющаяся одной из основных элементов ЭС.

Основными характеристиками ЭС являются:

- накопление и организация знаний – одна из самых важных характеристик ЭС, знания являются *явными* и *доступными*, что отличает эти системы от большинства традиционных компьютерных программ;

- гибкость системы, ЭС применяет для решения проблем *высококачественный опыт* квалифицированных экспертов. Именно высококачественный опыт в сочетании с умением его применять делает систему рентабельной;

- наличие прогностических способностей. ЭС может прогнозировать ситуацию и объяснить, каким образом новая ситуация привела к изменениям.

Отличительные особенности ЭС.

1. Экспертиза может проводиться только в одной конкретной области.

2. База знаний и механизм вывода являются различными компонентами.

3. Эти системы могут объяснять ход решения задачи понятным пользователю способом.

4. Выходные результаты являются качественными (а не количественными).

6. Системы, основанные на знаниях, строятся по модульному принципу, что позволяет постепенно наращивать их базы знаний.



Рис. 3

На рис. 3 показаны основные задачи, решаемые экспертными системами в машиностроении.

Применение ЭС позволяет повысить качество принимаемых решений, квалификацию специалистов, увеличить производительность, рассмотреть качество научно-технического процесса и качество изготавливаемой продукции, изделий и услуг.

В заключение следует отметить, что внедрение таких ЭС позволит быстро и точно в режиме онлайн проводить контроль

и прогнозирование качества сырья, полуфабрикатов и выпускаемых готовых изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Благовещенская М.М., Злобин Л.А. Информационные технологии систем управления технологическими процессами. – М.: Высшая школа, 2005.
2. Благовещенская М.М. Основы стабилизации процесса приготовления многокомпонентных масс. – М.: Франтера, 2009.
3. Балыхин М.Г., Борзов А.Б., Благовещенский И.Г. Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой

продукции с использованием интеллектуальных технологий. – М.: Изд-во Франтера, 2017.

4. Бальхин М.Г., Благовещенский И.Г., Назойкин Е.А., Благовещенский В.Г. Адаптивная система управления с идентификатором нестационарными технологическими процессами в отраслях пищевой промышленности // Мат. конф.: Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности. – М.: МГУПП, 2019. С. 32...39.

5. Бальхин М.Г., Борзов А.Б., Благовещенский И.Г. Архитектура и основная концепция создания интеллектуальной экспертной системы контроля качества пищевой продукции // Пищевая промышленность. – 2017, №11. С. 60...63.

6. Благовещенский В.Г., Крылова Л.А., Татаринцов А.В. Разработка интеллектуальных аппаратно-программных комплексов мониторинга процессов сепарирования дисперсных пищевых масс на основе интеллектуальных технологий // В кн.: Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России. Кадры и наука. – М.: МГУПП, 2017. С.199...201.

7. Благовещенский В.Г., Никитушкина М.Ю., Крылова Л.А. Разработка экспертной системы контроля качества в процессе приготовления халвы // В сб.: Общеуниверситетская студенческая конф. студентов и молодых ученых "День науки". В 6 частях. – М.: МГУПП, 2017. С. 294...301.

8. Благовещенский В.Г., Благовещенская М.М. Разработка экспертной системы контроля качества в процессе приготовления халвы // Мат XV Междунар. науч. конф. студентов и молодых ученых: Живые системы и биологическая безопасность населения. – М.: МГУПП, 2017. С. 132...137.

9. Благовещенский В.Г., Новицкий В.О., Крылова Л.А., Никитушкина М.Ю. Постановка задачи создания интеллектуальной системы управления производством халвы // Мат конф.: Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности. – М.: МГУПП, 2019. С. 21...31.

10. Благовещенский И.Г., Носенко С.М. Экспертная интеллектуальная система мониторинга процесса формирования помадных конфет с использованием системы технического зрения // Пищевая промышленность. – 2015, №6.

11. Благовещенский И.Г. Автоматизированная экспертная система контроля в потоке показателей качества помадных конфет с использованием нейросетевых технологий и систем компьютерного зрения: Дис.... канд. техн. наук. – М., 2015.

12. Шкапов П.М., Благовещенский И.Г. и др. Решение задач оптимального управления на основе гибридных методов глобальной оптимизации // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2015, №4.

13. Благовещенский И.Г. Экспертная интеллектуальная система мониторинга процесса формирования помадных конфет с использованием системы технического зрения // Пищевая промышленность. – 2015, №6.

14. Аитов В.Г., Благовещенский И.Г., Благовещенская М.М., Носенко А.С. О создании автоматизированной экспертной системы органолептической

оценки качества пищевых продуктов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2015, №4.

15. Носенко С.М., Носенко А.С., Благовещенский И.Г., Благовещенская М.М. Использование моделей, объектов и процессов ERP- систем для автоматизации управления крупным пищевым предприятием // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2015, №4.

16. Благовещенский И.Г. Прототип динамической интегрированной экспертной системы для мониторинга и диагностики плавучести подводных военных объектов // Сб. докл. между научной сессии, Секция "Интеллектуальные системы и технологии". – М.: НИЯУ МИФИ, 2014. С. 149...151.

17. Благовещенский И.Г., Благовещенская М.М. Интеллектуальная интегрированная экспертная система мониторинга процесса формирования помадных конфет с использованием системы технического зрения // Сб. тр. II Межд. НПК: Химия. Био- и нанотехнологии, экология и экономика в пищевой и косметической промышленности. – Харьков.: Изд-во ХПИ, 2014. С. 212...219.

18. Благовещенский И.Г. Автоматизация контроля в режиме онлайн качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции пищевой промышленности с использованием системы компьютерного зрения // Сб. науч. тр. Межд. НПК: Автоматизация и управление технологическими и бизнес-процессами в пищевой промышленности. – М.: Изд-во Франтера, 2015. С. 14...17.

19. Носенко А.С., Шкапов П.М., Благовещенский И.Г. Использование гибридных методов глобальной оптимизации в решении задач оптимального управления технологическими процессами пищевых производств // Сб. науч. тр. Межд. НПК: Автоматизация и управление технологическими и бизнес-процессами в пищевой промышленности. – М.: Изд-во Франтера, 2015. С. 11...14.

20. Адилов Р.М. Системы искусственного интеллекта. Модуль 3. Системы машинного зрения. – Пенза: ПГТА, 2008.

21. Арзамасцев А.А., Неудахин А.В. Автоматизированная технология построения экспертных информационных систем // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – Тамбов, 2008. Т.13. Вып. 1. С. 83...85.

22. Козлова Т.Д., Фролова М.А., Мефедова Ю.А. Формализация базы знаний экспертной системы поддержки процесса диагностирования автоматических станочных модулей // Интернет-журнал "НАУКОВЕДЕНИЕ". – 2016, Т. 9, №1.

REFERENCES

1. Blagoveshchenskaya M.M., Zlobin L.A. Informatsionnye tekhnologii sistem upravleniya tekhnologicheskimi protsessami. – М.: Vysshaya shkola, 2005.

2. Blagoveshchenskaya M.M. Osnovy stabilizatsii protsessa prigotovleniya mnogokomponentnykh mass. – М.: Frantera, 2009.

3. Balykhin M.G., Borzov A.B., Blagoveshchenskiy I.G. Metodologicheskie osnovy sozdaniya ekspertnykh

систем контроля и прогнозировани качества пшчевоу продукту с ипользованим интеллектуальных технологий. – М.: Изд-во Франтера, 2017.

4. Balykhin M.G., Blagoveshchenskiy I.G., Nazoykin E.A., Blagoveshchenskiy V.G. Adaptivnaya sistema upravleniya s identifikatorom nestatsionarnymi tekhnologicheskimi protsessami v otraslyakh pishchevoy promyshlennosti // Mat. konf.: Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyakh pishchevoy promyshlennosti. – М.: MGUPP, 2019. S. 32...39.

5. Balykhin M.G., Borzov A.B., Blagoveshchenskiy I.G. Arkhitektura i osnovnaya kontseptsiya sozdaniya intellektual'noy ekspertnoy sistemy kontrolya kachestva pishchevoy produktii // Pishhevaya promyshlennost'. – 2017, №11. S. 60...63.

6. Blagoveshchenskiy V.G., Krylova L.A., Tatarinov A.V. Razrabotka intellektual'nykh apparatno-programmnykh kompleksov monitoringa protsessov separirovaniya dispersnykh pishchevykh mass na osnove intellektual'nykh tekhnologiy // V kn.: Razvitiye pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti Rossii. Kadry i nauka. – М.: MGUPP, 2017. S.199...201.

7. Blagoveshchenskiy V.G., Nikitushkina M.Yu., Krylova L.A. Razrabotka ekspertnoy sistemy kontrolya kachestva v protsesse prigotovleniya khalvy // V sb.: Obshcheuniversitetskaya studencheskaya konf. studentov i molodykh uchennykh "Den' nauki". V 6 chastyakh. – М.: MGUPP, 2017. S. 294...301.

8. Blagoveshchenskiy V.G., Blagoveshchenskaya M.M. Razrabotka ekspertnoy sistemy kontrolya kachestva v protsesse prigotovleniya khalvy // Mat KhV Mezhdunar. nauch. konf. studentov i molodykh uchennykh: Zhivye sistemy i biologicheskaya bezopasnost' naseleniya. – М.: MGUPP, 2017. S. 132...137.

9. Blagoveshchenskiy V.G., Novitskiy V.O., Krylova L.A., Nikitushkina M.Yu. Postanovka zadachi sozdaniya intellektual'noy sistemy upravleniya proizvodstvom khalvy // Mat konf.: Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyakh pishchevoy promyshlennosti. – М.: MGUPP, 2019. S. 21...31.

10. Blagoveshchenskiy I.G., Nosenko S.M. Ekspertnaya intellektual'naya sistema monitoringa protsessov formovaniya pomadnykh konfet s ispol'zovaniem sistemy tekhnicheskogo zreniya // Pishhevaya promyshlennost'. – 2015, №6.

11. Blagoveshchenskiy I.G. Avtomatizirovannaya ekspertnaya sistema kontrolya v potoke pokazateley kachestva pomadnykh konfet s ispol'zovaniem neyrosetyevykh tekhnologiy i sistem komp'yuternogo zreniya: Dis.... kand. tekhn. nauk. – М., 2015.

12. Shkapov P.M., Blagoveshchenskiy I.G. i dr. Reshenie zadach optimal'nogo upravleniya na osnove gibridnykh metodov global'noy optimizatsii // Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya. – 2015, №4.

13. Blagoveshchenskiy I.G. Ekspertnaya intellektual'naya sistema monitoringa protsessov formovaniya pomadnykh konfet s ispol'zovaniem sistemy tekhnicheskogo zreniya // Pishhevaya promyshlennost'. – 2015, №6.

14. Aitov V.G., Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskaya M.M., Nosenko A.S. O sozdani avtomatizirovannoy ekspertnoy sistemy organolepticheskoy otsenki kachestva pishchevykh produktov // Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya. – 2015, №4.

15. Nosenko S.M., Nosenko A.S., Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskaya M.M. Ispol'zovanie modeley, ob'ektov i protsessov ERP- sistem dlya avtomatizatsii upravleniya krupnym pishchevym predpriyatiem // Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya. – 2015, №4.

16. Blagoveshchenskiy I.G. Prototip dinamicheskoy integrirovannoy ekspertnoy sistemy dlya monitoringa i diagnostiki plavuchesti podvodnykh voennykh ob'ektov // Sb. dokl. mezhd. nauchnoy sessii, Sektsiya "Intellektual'nye sistemy i tekhnologii". – М.: NIYaU MIFI, 2014. S. 149...151.

17. Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskaya M.M. Intellektual'naya integrirovannaya ekspertnaya sistema monitoringa protsessov formovaniya pomadnykh konfet s ispol'zovaniem sistemy tekhnicheskogo zreniya // Sb. tr. II Mezhd. NPK: Khimiya. Bio- i nanotekhnologii, ekologiya i ekonomika v pishchevoy i kosmeticheskoy promyshlennosti. – Khar'kov.: Izd-vo KhPI, 2014. S. 212...219.

18. Blagoveshchenskiy I.G. Avtomatizatsiya kontrolya v rezhime onlayn kachestva syr'ya, polufabrikatov i gotovoy produktii pishchevoy promyshlennosti s ispol'zovaniem sistemy komp'yuternogo zreniya // Sb. nauch. tr. Mezhd. NPK: Avtomatizatsiya i upravlenie tekhnologicheskimi i biznes-protsessami v pishchevoy promyshlennosti. – М.: Izd-vo Frantera, 2015. S. 14...17.

19. Nosenko A.S., Shkapov P.M., Blagoveshchenskiy I.G. Ispol'zovanie gibridnykh metodov global'noy optimizatsii v reshenii zadach optimal'nogo upravleniya tekhnologicheskimi protsessami pishchevykh proizvodstv // Sb. nauch. tr. Mezhd. NPK: Avtomatizatsiya i upravlenie tekhnologicheskimi i biznes-protsessami v pishchevoy promyshlennosti. – М.: Izd-vo Frantera, 2015. S. 11...14.

20. Adilov R.M. Sistemy iskusstvennogo intellekta. Modul' 3. Sistemy mashinnogo zreniya. – Penza: PGTA, 2008.

21. Arzamastsev A.A., Neudakhin A.V. Avtomatizirovannaya tekhnologiya postroeniya ekspertnykh informatsionnykh sistem // Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – Tambov, 2008. T.13. Vyp. 1. S. 83...85.

22. Kozlova T.D., Frolova M.A., Mefedova Yu.A. Formalizatsiya bazy znaniy ekspertnoy sistemy podderzhki protsessov diagnostirovaniya avtomaticheskikh stanochnykh moduley // Internet-zhurnal "NAUKOVEDENIE". – 2016, T. 9, №1.

Рекомендована кафедрой автоматизированных систем управления биотехнологическими процессами. Поступила 17.05.20.