

УДК 004.891+004.942+65.011.56+681.518  
DOI: [10.26102/2310-6018/2026.57.6.004](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2026.57.6.004)

## Автономная миварная система принятия решений для пищевого производства пельменей

И.С. Кузьмина<sup>1</sup>, Е.И. Макеева<sup>1</sup>, Е.Р. Матагиров<sup>1</sup>, О.О. Варламов<sup>1,2,3</sup>✉, В.Г. Выскуб<sup>3</sup>

<sup>1</sup>МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup>Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов имени  
М.А. Карцева, Москва, Российская Федерация

**Резюме.** В статье проанализирована предметная область автоматизированного производства пельменей. Выявлена необходимость интеллектуализации существующей автоматизированной системы управления технологическим процессом для повышения устойчивости, эффективности и снижения потерь качества. В качестве решения предложена разработка автономной миварной системы принятия решений (АМСПР). Целью работы является создание автономной миварной системы для мониторинга технологических параметров, поддержки принятия решений и автоматического формирования управляющих воздействий. Актуальность работы обусловлена потребностью в сложном анализе данных и принятии решений в реальном времени при отклонениях от нормы, что выходит за рамки возможностей традиционной автоматизации. Основой системы служит миварная база знаний, составленная путем формализации этапов и параметров технологического процесса производства пельменей. Результатом работы является функциональный прототип АМСПР, реализованный в программной среде КЭСМИ. Проведено тестирование системы, подтвердившее ее работоспособность. Материалы статьи представляют практическую ценность для специалистов в области автоматизации пищевых производств, а также для исследователей, занимающихся интеграцией интеллектуальных систем в промышленные процессы. Научная новизна заключается в обосновании и реализации подхода к построению АМСПР для многоэтапного пищевого производства на основе миварных сетей и 48 продукционных правил.

**Ключевые слова:** мивар, автоматизация пищевых производств, пельмени, автономная система принятия решений, миварная экспертная система, база знаний, Wi!Mi, КЭСМИ, Разуматор.

**Для цитирования:** Кузьмина И.С., Макеева Е.И., Матагиров Е.Р., Варламов О.О., Выскуб В.Г. Автономная миварная система принятия решений для пищевого производства пельменей. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2026;14(6). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=2336> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.57.6.004

## Autonomous mivar decision-making system for food production of dumplings

I.S. Kuzmina<sup>1</sup>, E.I. Makeeva<sup>1</sup>, E.R. Matagirov<sup>1</sup>, O.O. Varlamov<sup>1,2,3</sup>✉, V.G. Vyskub<sup>3</sup>

<sup>1</sup>MIREA – Russian Technological University, Moscow, the Russian Federation

<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, the Russian Federation

<sup>3</sup>Kartsev Research Institute of Computing Complexes, Moscow, the Russian Federation

**Abstract.** The subject area of automated dumpling production is analyzed. The need to intellectualize the existing automated process control system has been identified in order to increase sustainability, efficiency and reduce quality losses. The development of an autonomous mivar decision-making system (AMSPS) is proposed as a solution. The aim of the work is to create an autonomous mivar system for

monitoring technological parameters, decision support and automatic generation of control actions. The relevance of the work is due to the need for complex data analysis and real-time decision-making in case of deviations from the norm, which goes beyond the capabilities of traditional automation. The system is based on the mivar knowledge base, compiled by formalizing the stages and parameters of the technological process of dumpling production. The result of the work is a functional prototype of the AMSPS, implemented in the CESMI software environment. The system was tested, which confirmed its operability. The article's materials are of practical value for specialists in food production automation, as well as to researchers integrating intelligent systems into industrial processes. The scientific novelty lies in the substantiation and implementation of an approach to constructing an AMSPS for multi-stage food production based on mivar networks and 48 production rules.

**Keywords:** mivar, food production automation, dumplings, autonomous decision-making system, mivar expert system, knowledge base, Wi!Mi, KESMI, Razumator.

**For citation:** Kuzmina I.S., Makeeva E.I., Matagirov E.R., Varlamov O.O., Vyskub V.G. Autonomous mivar decision-making system for food production of dumplings. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2026;14(6). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=2336> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.57.6.004

## Введение

В последние годы происходит развитие концепции «Умное производство», что стимулирует внедрение методов искусственного интеллекта в промышленные системы управления. В рамках пищевых производств это особенно актуально, так как они характеризуются большим количеством этапов и необходимостью строгого контроля качества сырья и соблюдения санитарных норм. Производство пельменей, которое относится к пищевому производству, включает в себя сложную цепочку операций: подготовку сырья, приготовление фарша и теста, формовку, заморозку и упаковку. Существующие автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) часто не могут адаптироваться к внештатным ситуациям и не способны к анализу параметров и предиктивному принятию решений, что приводит к увеличению количества бракованной продукции, потерям сырья и простоям оборудования.

Миварные технологии, являющиеся направлением логического искусственного интеллекта, предлагают эффективный аппарат для формализации знаний и построения экспертных систем (МЭС) [1]. Они успешно применяются в робототехнике [2, 3], планировании ресурсов [4, 5], оценке уязвимостей [6], выборе алгоритмов [7, 8], решении управленческих задач [9, 10] и других областях. Расширение миварного подхода за счет введения классов, параметров и ограничений [11] открыло новые возможности, включая создание вопросно-ответных систем [12], медицинских диагностических моделей [13] и систем по подбору готовых решений [14, 15]. Развитие алгоритмов логического вывода [16] и создание МЭС для бизнес-процессов [17], классификации дефектов речи [18] подтверждают гибкость и потенциал технологии.

Целью данной работы является разработка автономной миварной системы принятия решений (АМСПР) для интеллектуализации управления производством пельменей. Задачи системы: непрерывный мониторинг контролируемых параметров на всех этапах производства, автоматический анализ их соответствия нормативным значениям, поддержка оператора в принятии решений, формирование управляющих воздействий и предупреждение о критических отклонениях.

Научная новизна заключается в адаптации и развитии методологии миварных экспертных систем для многоэтапного пищевого производства [19]. Была создана математическая модель линии производства пельменей в виде двудольного ориентированного графа миварной сети, включающая 48 производственных правил «ЕСЛИ – ТО», структурированных по семи технологическим этапам. Разработана и

протестирована в среде КЭСМИ автономная миварная система принятия решений, обеспечивающая мониторинг 16 контролируемых параметров, выявление отклонений и формирование рекомендаций по управляющим воздействиям, что позволяет повысить устойчивость и качество процесса.

### Материалы и методы

Для создания АМСРП производства пельменей необходимо было выполнить следующие задачи:

- 1) провести системный анализ предметной области: изучить технологический процесс, оборудование, входные и выходные параметры;
- 2) выделить и формализовать контролируемые параметры каждого этапа производства, определить их номинальные, допустимые и критические значения;
- 3) описать логику управления процессом в виде набора производственных правил формата «ЕСЛИ – ТО»;
- 4) на основе правил разработать миварную базу знаний (МБЗ), структурированную в виде классов, параметров и отношений;
- 5) реализовать МЭС в специализированном математическом и алгоритмическом обеспечении (КЭСМИ Wi!Mi Разуматор);
- 6) провести тестирование созданной модели на корректность логического вывода для различных сценариев входных данных.

Производство пельменей представляет собой непрерывный многоэтапный технологический процесс, требующий строгого контроля на всех стадиях. В ходе анализа была изучена типовая линия, включающая оборудование для подготовки сырья, жиловки и варки, приготовления фарша и теста, формовки изделий, их последующей подсушки, шоковой заморозки и финального контроля качества. Каждый технологический передел характеризуется специфическими физико-химическими параметрами, отклонение которых напрямую влияет на безопасность и потребительские свойства готового продукта.

Была проведена детальная инвентаризация контролируемых параметров на каждом участке. К ним относятся температурные режимы хранения сырья и варки, точные весовые дозировки компонентов фарша и теста, время выполнения операций, влажность при подсушке оболочки, а также параметры работы оборудования – частота вращения механизмов, давление в трубопроводах и скорость движения конвейера. Для каждого параметра установлены номинальные значения, допустимые отклонения и критические пороги, при которых процесс должен быть немедленно остановлен.

Технологическая линия оснащена комплексом датчиков (температуры, давления, веса, влажности) и исполнительных механизмов (клапанов, задвижек, частотных преобразователей), образующих основу существующей АСУ ТП. Зачастую ее функционал ограничивается корректировкой отдельных параметров и сообщением об их выходе за допустимые пределы, что является реактивным подходом к управлению, а не проактивным, когда различные проблемы учитываются еще до их возникновения.

В ходе системного анализа была выявлена главная проблема: отсутствие инструмента для интеллектуального анализа данных со всей производственной линии в реальном времени. По этой причине нет возможности оперативно выявлять скрытые причинно-следственные связи, например, между повышенной влажностью на этапе формовки и последующим образованием трещин на тесте после заморозки. Таким образом, возникает необходимость в надстройке, которая способна не только фиксировать отклонения параметров от заданных, но и оценивать их влияние, прогнозировать дальнейшее развитие ситуации и поддерживать принятие решений.

На основе этих данных объект управления был формализован как детерминированная система с множеством параметров, которая задаёт чёткие критерии качества на каждом этапе производства. Данная формализация является основой для последующего написания логики управления в виде правил и построения миварной модели, которая способна объединить все данные в целостную картину состояния производственной линии.

Логика управления технологическим процессом была формализована в виде 48 производственных правил, сгруппированных по этапам производства (К1–К7). Правила описывают реакции системы на состояния входных параметров.

Правила для процесса производства пельменей:

#### *К1 Подготовка*

- Если температура в бункере жиловщика соответствует норме (3–5 °С) и подача сырья в норме (200–2500 кг/ч), то продолжить работу.
- Если подача сырья < 200 кг/ч или > 2500 кг/ч, то выдать предупреждение и проверить задвижку бункера и конвейер.
- Если температура в бункере жиловщика < 3 °С или > 5 °С, то остановить подачу и активировать сигнал тревоги.
- Если уровень сырья в бункере < 20 %, то выдать предупреждение о необходимости дозагрузки.
- Если уровень сырья в бункере < 5 %, то остановить подачу и активировать аварийный сигнал.

#### *К2 Жиловка*

- Если температура в жиловщике соответствует норме (3–5 °С) и частота вращения в норме (40–50 об/мин), то продолжить работу.
- Если частота вращения жиловщика < 40 или > 50 об/мин, то остановить подачу сырья, активировать сигнал тревоги и вызвать техника.
- Если температура варки < 85 °С, то увеличить подачу газа и проверить газовый клапан.
- Если температура варки > 95 °С, то уменьшить подачу газа и активировать сигнал тревоги.
- Если расход газа соответствует норме (1,1–1,5 м<sup>3</sup>/ч) и температура варки 85–95 °С, то продолжить процесс.
- Если расход газа < 1,1 м<sup>3</sup>/ч, то выдать предупреждение и проверить газовый клапан.
- Если расход газа > 1,5 м<sup>3</sup>/ч, то перекрыть газовый клапан и активировать сигнал тревоги.
- Если время варки ≤ 150 мин, то продолжить процесс.
- Если время варки > 150 мин, то прекратить варку и перезагрузить чан варки.

#### *К3 Фарш*

- Если вес фарша соответствует норме (96–98 кг) и вес соли в норме (1,9–2,1 кг) и вес специй в норме (0,95–1,05 кг), то разрешить подачу.
- Если вес соли в фарше > 2,1 кг, то забраковать партию, заблокировать подачу и уведомить технолога.
- Если вес соли в фарше < 1,9 кг, то выдать рекомендацию добавить соль.
- Если время смешивания фарша соответствует норме (10–15 мин), то продолжить процесс.
- Если время смешивания фарша < 10 мин, то увеличить время смешивания.
- Если время смешивания фарша > 15 мин, то уменьшить время смешивания.
- Если давление в фаршепроводе соответствует норме (1,5–2,5 бар), то разрешить транспортировку.

– Если давление в фаршепроводе  $> 2,5$  бар, то выдать предупреждение и проверить фаршевый насос.

– Если давление в фаршепроводе  $> 3,0$  бар, то остановить фаршевый насос и активировать сигнал тревоги.

#### *К4\_Тесто*

– Если вес муки соответствует норме (66–68 кг) и вес воды в норме (28,5–29,5 кг) и вес меланжа в норме (2,95–3,05 кг), то разрешить замес.

– Если вес муки  $< 66$  кг или  $> 68$  кг, то заблокировать подачу и отрегулировать дозатор муки.

– Если вес соли в тесте соответствует норме (0,95–1,05 кг), то продолжить процесс.

– Если вес соли в тесте  $< 0,95$  кг, то выдать рекомендацию добавить соль в тесто.

– Если вес соли в тесте  $> 1,05$  кг, то забраковать партию, заблокировать подачу и уведомить технолога.

– Если количество оборотов тестомеса соответствует норме (30–50 об/мин), то продолжить замес.

– Если количество оборотов тестомеса  $> 50$  об/мин, то уменьшить обороты.

#### *К5\_Формовка*

– Если вес фарша в формовщике соответствует норме (0,95–1,05 кг) и вес теста в норме (0,95–1,05 кг), то разрешить штамповку.

– Если температура в штамповке соответствует норме (3–5 °С), то разрешить штамповку.

– Если температура в штамповке  $< 3$  °С, то выдать предупреждение и повысить температуру в цехе.

– Если температура в штамповке  $> 5$  °С, то остановить штамповку.

– Если влажность в аппарате просушки соответствует норме (12–14 %), то продолжить процесс.

– Если влажность в аппарате просушки  $< 12$  %, то уменьшить время просушки.

– Если влажность в аппарате просушки  $> 14$  %, то увеличить время просушки.

#### *К6\_Заморозка*

– Если температура в морозильной камере соответствует норме ( $\leq -30$  °С), то разрешить заморозку.

– Если температура в морозильной камере  $> -30$  °С, то увеличить мощность заморозки и проверить компрессор.

– Если скорость конвейера соответствует норме (2–4 м/с), то продолжить процесс.

– Если скорость конвейера  $< 2$  м/с, то увеличить скорость конвейера.

– Если скорость конвейера  $> 4$  м/с, то уменьшить скорость конвейера.

– Если температура пельменей на выходе  $\leq 5$  °С, то продолжить процесс.

– Если температура пельменей на выходе  $> 5$  °С, то увеличить время в морозильнике и проверить температуру в камере.

#### *К7\_Контроль*

– Если система зрения не обнаружила дефектов, то разрешить упаковку.

– Если система зрения обнаружила трещины и влажность в аппарате просушки  $< 12$  %, то забраковать продукцию, активировать робота-селектора и отрегулировать влажность в аппарате просушки.

– Если система зрения обнаружила дефекты формы, то забраковать продукцию, активировать робота-селектора и проверить аппарат штамповки.

Данные правила обеспечивают детерминированную реакцию системы на отклонения, позволяя предотвратить выпуск брака и оптимизировать параметры процесса.

Следующим этапом было создание миварной базы знаний. МБЗ служит механизмом взаимодействия между интеллектуальной системой и непосредственно самими знаниями. В рамках данной работы было составлено множество производственных правил формата ЕСЛИ условие – ТО событие, на основе которых должна функционировать система. Разработанные правила приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Миварная база знаний (фрагмент)

Table 1 – Mivar database (fragment)

Правило	Класс	Если	То
1	K1_Подготовка	температура в бункере 3–5 °С и подача сырья 200–2500 кг/ч	продолжить работу K1=1
2	K1_Подготовка	подача сырья < 200 кг/ч или > 2500 кг/ч	выдать предупреждение, проверить задвижку и конвейер K1=0
3	K1_Подготовка	температура в бункере < 3 °С или > 5 °С	остановить подачу, сигнал тревоги = true K1=0
4	K1_Подготовка	уровень сырья в бункере < 20 %	выдать предупреждение о дозагрузке K1=0
5	K1_Подготовка	уровень сырья в бункере < 5 %	остановить подачу, сигнал тревоги = true K1=0
6	K2_Жиловка	температура в жиловщике 3–5 °С и частота вращения 40–50 об/мин	продолжить работу K2=1
7	K2_Жиловка	частота вращения жиловщика < 40 об/мин или > 50 об/мин	остановить подачу, вызвать техника, сигнал тревоги = true K2=0
8	K2_Жиловка	температура варки 85–95 °С и расход газа 1,1–1,5 м³/ч	продолжить варку K2=1
9	K2_Жиловка	температура варки < 85 °С	увеличить подачу газа, проверить газовый клапан K2=0
10	K2_Жиловка	температура варки > 95 °С	уменьшить подачу газа, сигнал тревоги = true K2=0
11	K2_Жиловка	расход газа < 1,1 м³/ч	выдать предупреждение, проверить газовый клапан K2=0
12	K2_Жиловка	расход газа > 1,5 м³/ч	перекрыть газовый клапан, сигнал тревоги = true K2=0
13	K2_Жиловка	время варки ≤ 150 мин	продолжить процесс K2=1
14	K2_Жиловка	время варки > 150 мин	прекратить варку, перезагрузить чан K2=0

После разработки миварной базы знаний можно приступить к созданию автономной миварной системы принятия решений в КЭСМИ. На Рисунке 1 представлены используемые классы и параметры.

Наименование	Тип
Proizvodstvo_pelmeney	
K1_Подготовка	
Переход_на_следующий_этап_2	123
Подача_сырья	123
Статус_K1	123
Статус_подача	123
Статус_температура	123
Статус_уровень_сырья	123
Температура_в_бункере	123
Уровень_сырья_в_бункере	123
K2_Жиловка	
Время_варки	123
Переход_на_следующий_этап_3	123
Расход_газа	123
Статус_время_варки	123
Статус_K2	123
Статус_расход_газа	123
Статус_температура_в_жиловщике	123
Статус_температура_варки	123
Статус_частота_вращения	123
Температура_в_жиловщике	123
Температура_варки	123
Частота_вращения	123
K3_Фарш	
K4_Тесто	
K5_Формовка	
K6_Заморозка	
K7_Контроль	
Статус_системы	123

Рисунок 1 – Параметры и классы  
Figure 1 – Parameters and classes

На Рисунке 2 представлена часть отношений и правил, которые созданы на основе разработанной миварной базы знаний. Отношения задают шаблоны для правил.

Наименование
K5_Вес_фарша_норма
Правило_31
Статус_системы
Правило
K4_Вес_соли_норма
Правило_26
K2_Температура_варки_норма
Правило_8
Переход_3
Правило_переход_3
K4_Обороты_тестомеса_норма
Правило_29
K2_Температура_в_жиловщике_норма
Правило_6
K1_Уровень_сырья_авария
Правило_5
K1_Температура_норма
Правило_1
K4_норма
Правило_K4
K4_Вес_меланжа_норма
Правило_24_2
K4_Объем_воды_норма
Правило_24_1
K6_Температура_пельменей_норма
Правило_43
K7_Влажность_в_аппарате_просушки_норма
Правило_46

Рисунок 2 – Отношения и правила  
Figure 2 – Relations and rules

Чтобы убедиться в правильности работы системы, было проведено несколько тестов. Тестирование проводилось на двух уровнях: поэтапное тестирование отдельных классов и комплексное тестирование всей системы. Результат тестирования класса K1\_Подготовка представлен на Рисунке 3. На нем видно, что на статус класса K1 влияют такие параметры, как подача сырья и его уровень в бункере, а также температура в бункере.

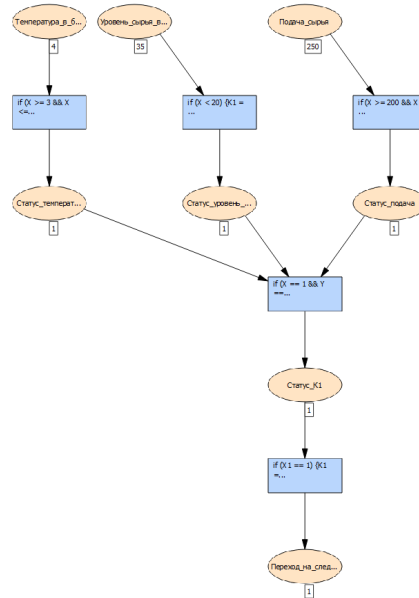


Рисунок 3 – Результаты тестирования этапа подготовки к производству  
 Figure 3 – Test results of the pre-production stage

После класса подготовки был протестирован класс K2\_Жиловка. Для начала был проведен тест класса K1\_Подготовка для перехода на следующий этап. Данный фрагмент показан на Рисунке 4.

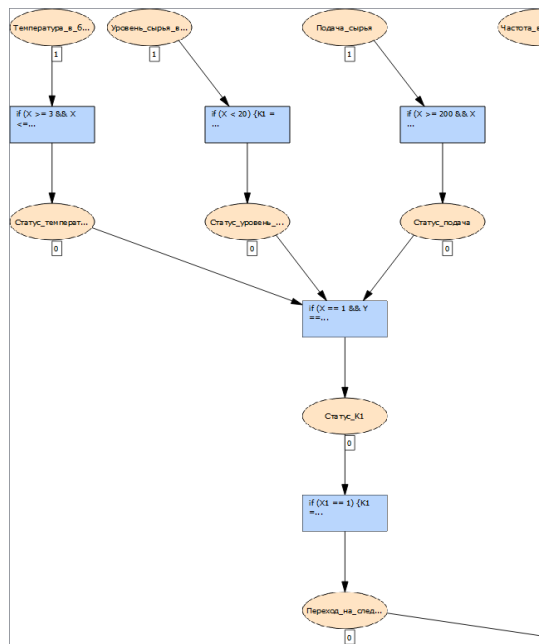


Рисунок 4 – Результаты тестирования этапа жиловки (фрагмент 1)  
 Figure 4 – The results of testing the meat veining stage (fragment 1)

Далее был проведен тест самого класса K2\_Жиловка, который представлен на Рисунке 5. На статус K2 данного класса влияет не только статус K1, но и такие параметры как время варки, расход газа, температура в жилловщике, температура варки и частота вращения жилловщика.

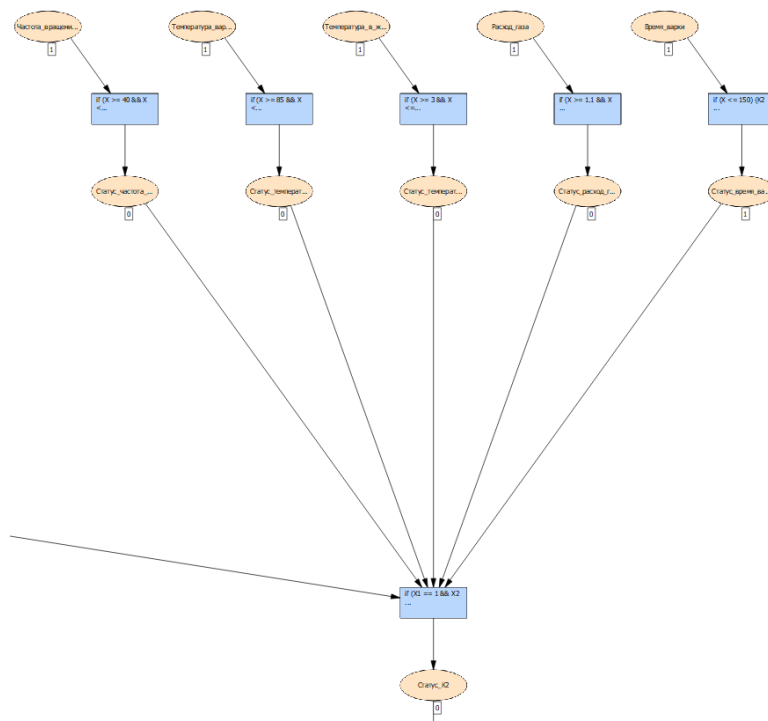


Рисунок 5 – Результаты тестирования этапа жилловки (фрагмент 2)  
 Figure 5 – The results of testing the meat veining stage (fragment 2)

На Рисунке 6 можно увидеть, что получение статуса K1 повлияло на переход к этапу K2\_Жиловка. После получения статуса K2 система позволяет перейти на следующий этап производства.

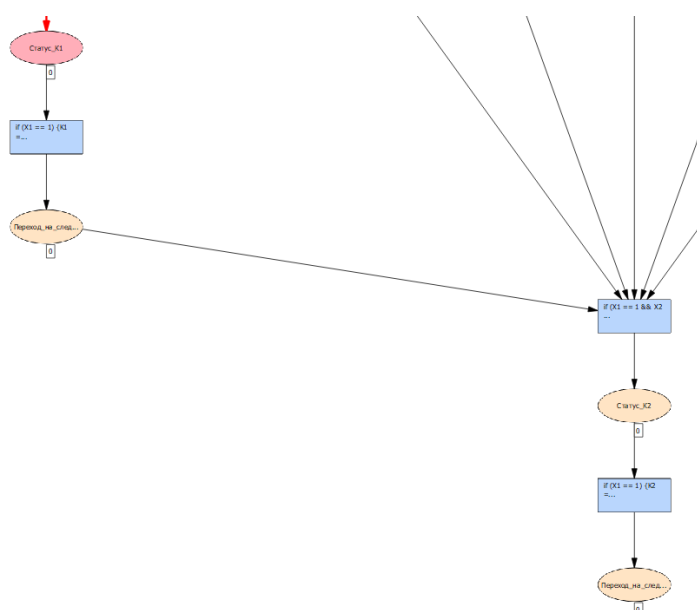


Рисунок 6 – Результаты тестирования этапа жилловки (фрагмент 3)  
 Figure 6 – The results of testing the meat veining stage (fragment 3)

Аналогичным образом были протестированы все классы (К1–К7), в результате чего получился граф, который показан на Рисунке 7.

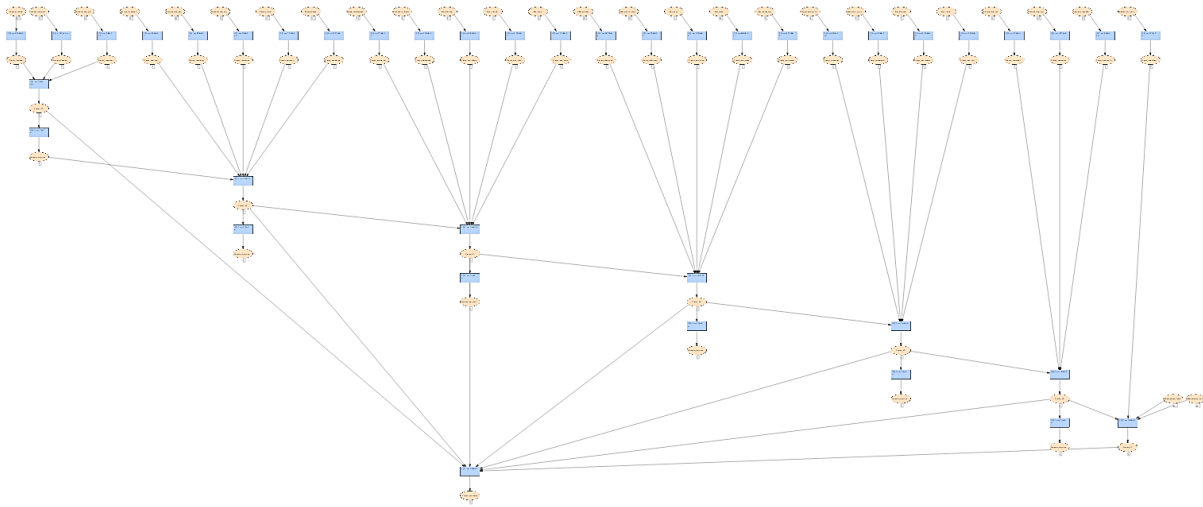


Рисунок 7 – Результаты тестирования всех этапов  
Figure 7 – Test results of all stages

Для более наглядного представления граф можно рассмотреть с точки зрения получения статусов каждого из этапов.

На Рисунке 8 показаны результаты тестирования классов К1\_Подготовка и К2\_Жиловка.

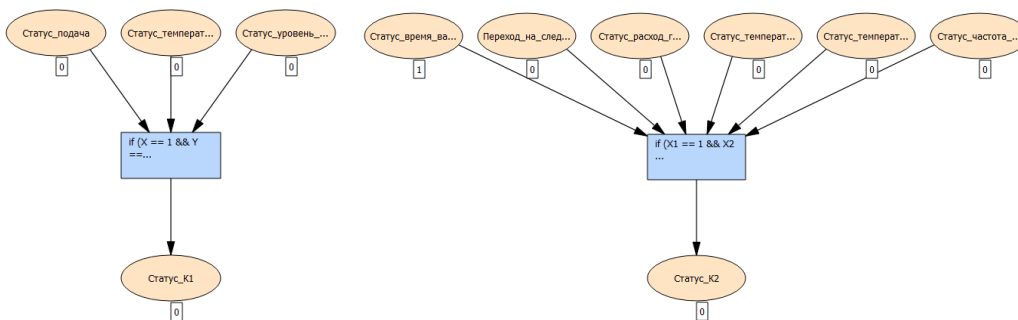


Рисунок 8 – Результаты тестирования всех этапов (фрагмент 1)  
Figure 8 – Test results of all stages (fragment 1)

На Рисунке 9 можно увидеть результаты тестирования классов К3\_Фарш и К4\_Тесто. На данных этапах видно, что помимо значений параметров класса на его статус влияет статус предыдущих этапов процесса пищевого производства.

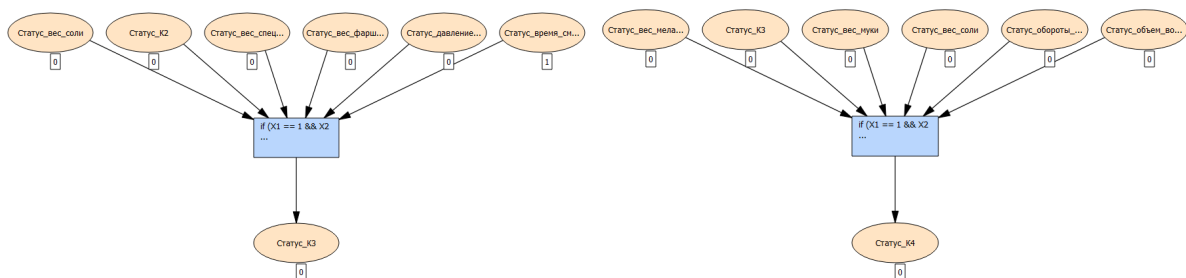


Рисунок 9 – Результаты тестирования всех этапов (фрагмент 2)  
Figure 9 – Test results of all stages (fragment 2)

Аналогичным образом выглядит тестирование классов K5\_Формовка и K6\_Заморозка, которое показано на Рисунке 10. На статус класса K5 влияют значения следующих параметров: вес фарша и теста, температура при штамповке и влажность при просушке, а также статус класса K4, который был получен на предыдущем этапе тестирования. На статус класса K6 в свою очередь влияет скорость конвейера, температура пельменей, температура в морозильной камере и статус предыдущего класса.

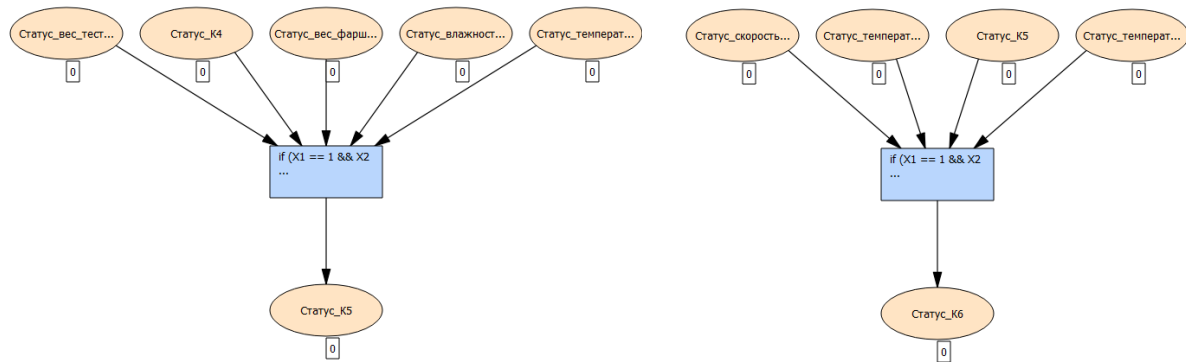


Рисунок 10 – Результаты тестирования всех этапов (фрагмент 3)  
Figure 10 – Test results of all stages (fragment 3)

На Рисунке 11 показано тестирование класса K7\_Контроль, где готовая продукция проходит контроль качества, в ходе которого происходит проверка влажности в аппарате просушки и проверка наличия дефектов формы и трещин. После тестирования последнего класса вычисляется статус всей системы, который описывает ситуацию на производстве.

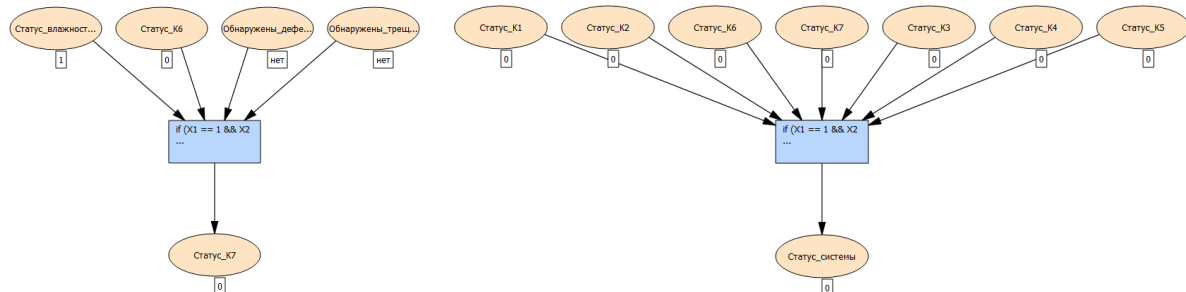


Рисунок 11 – Результаты тестирования всех этапов (фрагмент 4)  
Figure 11 – Test results of all stages (fragment 4)

### Результаты

В результате работы разработан и реализован в среде КЭСМИ функциональный прототип АМСР для производства пельменей. Миварная база знаний включает 48 производственных правил, структурированных по семи технологическим этапам (подготовка, жиловка, приготовление фарша и теста, формовка, заморозка, контроль). Система обеспечивает мониторинг 16 контролируемых параметров (температура, подача сырья, весовые дозировки, влажность, скорость конвейера и др.) и формирование соответствующих управляющих воздействий.

Поэтапное тестирование каждого класса правил подтвердило корректную работу логического вывода: при нормальных значениях параметров система выдает статус «продолжить работу» (K=1), при отклонениях – рекомендации по остановке,

регулировке или сигнал тревоги ( $K=0$ ). Например, для этапа жиловки превышение времени варки ( $> 150$  мин) привело к выводу «прекратить варку, перезагрузить чан», а снижение частоты вращения жиловщика ниже 40 об/мин – к остановке подачи и вызову техника. Комплексное тестирование всей системы на одновременном наборе входных данных показало связную работу всех семи этапов: итоговый граф логического вывода (Рисунок 7) отражает последовательную передачу статусов, а фрагменты графа (Рисунки 8–11) детализируют сработавшие правила для каждого класса.

### Заключение

В работе представлены результаты разработки автономной миварной системы принятия решений для управления производствомпельменей. Проведен системный анализ технологического процесса, формализованы контролируемые параметры и логика управления в виде 48 продукционных правил. На основе этой формализации создана миварная база знаний и реализована работоспособная экспертная система в среде КЭСМИ Wi!Mi Разуматор.

Научная новизна исследования заключается в создании миварной сети из 48 правил и адаптации методологии миварного моделирования к задаче интеллектуализации многоэтапного пищевого производства, что потребовало учета специфических параметров (влажность, весовое дозирование, визуальный контроль) и их комплексных взаимосвязей. Разработанная АМСР способна в реальном времени анализировать состояние производства, выявлять отклонения, информировать оператора и формировать рекомендации по управляющим воздействиям, что позволяет повысить стабильность качества продукции, снизить расход сырья и минимизировать риск аварийных остановок.

Практическая значимость работы подтверждена созданием функционирующего прототипа, который может служить основой для внедрения в реальный производственный контур или для дальнейших исследований в области интеграции интеллектуальных систем управления в пищевую промышленность.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Варламов О.О. *Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство*. Москва: Радио и связь; 2002. 286 с.
2. Шэнь Ц., Гун Ш., Варламов О.О., Адамова Л.Е., Баленко Е.Г. Динамическое планирование траектории робота на основе семантического обнаружения объектов с использованием миварной экспертной системы. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2024;(4):164–176. <https://doi.org/10.24412/2413-7383-2024-4-164-176>  
Shen Q., Gong Sh., Varlamov O.O., Adamova L.E., Balenko E.G. Dynamic robot path planning based on semantic object detection using mivar expert system. *Problems of Artificial Intelligence*. 2024;(4):164–176. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2413-7383-2024-4-164-176>
3. Коценко А.А. О разработке МЭС для принятия решений при планировании действий роботов в изменяющейся среде. В сборнике: *МИВАР'25: Сборник научных докладов, 17–19 апреля 2025 года, Москва, Россия*. Москва: ИНФРА-М; 2025. С. 307–309.  
Kotsenko A.A. On the development MES for decision-making in robot action planning in a changing environment. In: *MIVAR'25: Collection of Scientific Reports, 17–19 April 2025, Moscow, Russia*. Moscow: INFRA-M; 2025. P. 307–309. (In Russ.).

4. Варламов О.О., Чжан С., Балдин А.В. и др. Разработка миварной экспертной системы для планирования ресурсов цеха и анализа отклонений. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2024;12(3). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.46.3.017>  
Varlamov O.O., Zhang X., Baldin A.V., et al. Development of a mivar expert system for planning shop resources and analysis of deviations. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2024;12(3). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.46.3.017>
5. Звонарев А.Е., Лычагин Д.А., Гудилин Д.С. и др. МЭС для выбора СУБД. В сборнике: *МИВАР'23: Сборник научных статей*. Москва: ИНФРА-М; 2023. С. 117–122.  
Zvonarev A.E., Lychagin D.A., Gudilin D.S., et al. MES for DBMS selection. In: *MIVAR'23: Collection of Scientific Articles*. Moscow: INFRA-M; 2023. P. 117–122. (In Russ.).
6. Макрушина В.А., Шапиев М.М., Горбовцова К.М. и др. МЭС для оценки критичности уязвимостей информационных систем. В сборнике: *МИВАР'22: Сборник научных статей*. Москва: ИНФРА-М; 2022. С. 75–81.  
Makrushina V.A., Shapiev M.M., Gorbvtsova K.M., et al. MES for assessing the criticality of information systems vulnerabilities. In: *MIVAR'22: Collection of Scientific Articles*. Moscow: INFRA-M; 2022. P. 75–81. (In Russ.).
7. Гун Ш. Миварная система принятия решений по оптимизационному распределению грузов для групп складских роботов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2025;13(3). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.50.3.047>  
Gong S. Mivar decision-making system for optimized cargo distribution for groups of warehouse robots. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2025;13(3). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.50.3.047>
8. Шэнь Ц. Миварные модель и алгоритм обработки информации для избегания динамических препятствий с изменяющейся зоной безопасности. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2026;14(1). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2026.52.1.004>  
Shen Q. Mivar model and algorithm of information processing for avoiding dynamic obstacles with a changing safety zone. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2026;14(1). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2026.52.1.004>
9. Аладин Д.В. Модель миварной проблемно-ориентированной системы управления и принятия решений в пространстве состояний. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2025;13(4). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.51.4.023>  
Aladin D.V. Model of mivar problem-oriented management and decision-making system in state space. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2025;13(4). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.51.4.023>
10. Прилуцкий М.Х., Кривошеев О.В. Распределение производственных ресурсов в задачах объемного планирования в условиях неполноты данных. *Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева*. 2022;(2):36–43. [https://doi.org/10.46960/1816-210X\\_2022\\_2\\_36](https://doi.org/10.46960/1816-210X_2022_2_36)  
Prilutsky M.Kh., Krivosheev O.V. Distribution of production resources in volumetric planning problems under conditions of incomplete data. *Proceedings of the NSTU named after R.E. Alekseev*. 2022;(2):36–43. (In Russ.). [https://doi.org/10.46960/1816-210X\\_2022\\_2\\_36](https://doi.org/10.46960/1816-210X_2022_2_36)

11. Адамова Л.Е., Белоусова А.И., Протопопова Д.А. и др. Об одном подходе к созданию интеллектуальной вопросно-ответной системы «Миварный виртуальный консультант». *Радиопромышленность*. 2015;(3):160–171.  
Adamova L.E., Belousova A.I., Protopopova D.A., et al. An approach to creating intelligent questionanswering system "Mivar virtual consultant". *Radio Industry*. 2015;(3):160–171. (In Russ.).
12. Жданович Е.А., Антонов П.А., Хадиев А.М. и др. Постановка диагноза по симптомам на основе миварного подхода. *Радиопромышленность*. 2015;(3):122–130.  
Zhdanovich E.A., Antonov P.A., Hadiev A.M., et al. Diagnosis on symptoms based on mivar approach. *Radio Industry*. 2015;(3):122–130. (In Russ.).
13. Жданович Е.А., Чернышев П.К., Юфимычев К.А. и др. Вычисление произвольных алгоритмов функционирования сервисных роботов на основе миварного подхода. *Радиопромышленность*. 2015;(3):226–242.  
Zhdanovich E.A., Chernyshev P.K., Yufimychev K.A., et al. Random algorithm calculation of service robot functioning based on mivar approach. *Radio Industry*. 2015;(3):226–242. (In Russ.).
14. Жданович Е.А., Панферов А.А., Юфимычев К.А. и др. Применение миварной экспертной системы для планирования движения мобильного сервисного робота. *Радиопромышленность*. 2015;(3):243–254.  
Zhdanovich E.A., Panferov A.A., Yufimychev K.A., et al. Calculation random algorithms of functioning service robot based on mivar approach. *Radio Industry*. 2015;(3):243–254. (In Russ.).
15. Авдеев Ю.В., Оганесян Р.Р., Мурашко И.А. и др. МЭС для создания сайта предприятия с сервисом по подбору напитков. В сборнике: *МИВАР'22: Сборник научных статей*. Москва: ИНФРА-М; 2022. С. 13–19.  
Avdeev Yu.V., Oganesyanyan R.R., Murashko I.A., et al. MES for creating an enterprise website with a beverage selection service. In: *MIVAR'22: Collection of Scientific Articles*. Moscow: INFRA-M; 2022. P. 13–19. (In Russ.).
16. Антонова А.А., Варламов О.О. Миварная экспертная система для поддержки принятия решений персонала на производстве планетарных редукторов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2025;13(1). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.48.1.042>  
Antonova A.A., Varlamov O.O. Mivar expert system for supporting personnel decision-making in the production of planetary gearboxes. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2025;13(1). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.48.1.042>
17. Дьяконова С.С., Кудрявцев С.Д., Федюкин Д.А. и др. МЭС для выбора стратегии оптимизации бизнес-процессов. В сборнике: *МИВАР'23: Сборник научных статей*. Москва: ИНФРА-М; 2023. С. 79–86.  
Dyakonova S.S., Kudryavtsev S.D., Fedyukin D.A., et al. MES for choosing a strategy for optimizing business processes. In: *MIVAR'23: Collection of Scientific Articles*. Moscow: INFRA-M; 2023. P. 79–86. (In Russ.).
18. Пинская Н.М., Фонканц Р.В., Сафин Р.Р. и др. МЭС для классификации речевых дефектов. В сборнике: *МИВАР'23: Сборник научных статей*. Москва: ИНФРА-М; 2023. С. 163–173.  
Pinskaya N.M., Fonkants R.V., Safin R.R., et al. MES for classification of speech defects. In: *MIVAR'23: Collection of Scientific Articles*. Moscow: INFRA-M; 2023. P. 163–173. (In Russ.).
19. Голобоков А.М., Коханов А.А., Кац И.Д. и др. Комплексная система ИИ на основе миварных и нейронных сетей для обнаружения дефектов продукции на

производстве хлебобулочных изделий. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2025;(1):27–42. <https://doi.org/10.24412/2413-7383-27-42>  
Golobokov A.M., Kokhanov A.A., Katz I.D., et al. Complex AI System Based on Mivar and Neural Networks for Detection of Product Defects in Bakery Products Production. *Problems of Artificial Intelligence*. 2025;(1):27–42. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2413-7383-27-42>

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Кузьмина Ирина Сергеевна**, студентка, МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Российская Федерация

**Irina S. Kuzmina**, Student, MIREA – Russian Technological University, Moscow, the Russian Federation.

**Макеева Екатерина Игоревна**, студентка, МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Российская Федерация

**Ekaterina I. Makeeva**, Student, MIREA – Russian Technological University, Moscow, the Russian Federation.

**Матагиров Евгений Ринатович**, студент, МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Российская Федерация

**Evgeny R. Matagirov**, Student, MIREA – Russian Technological University, Moscow, the Russian Federation.

**Варламов Олег Олегович**, доктор технических наук, профессор, МИРЭА – Российский технологический университет, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана; главный научный сотрудник, Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М.А. Карцева, Москва, Российская Федерация.  
*e-mail*: [ovar@yandex.ru](mailto:ovar@yandex.ru)  
ORCID: [0000-0002-2858-1383](https://orcid.org/0000-0002-2858-1383)

**Oleg O. Varlamov**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, MIREA – Russian Technological University, Bauman Moscow State Technical University; Chief Researcher, Kartsev Research Institute of Computing Complexes, Moscow, the Russian Federation.

**Выскуп Виктор Гаврилович**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М.А. Карцева, Москва, Российская Федерация.  
*e-mail*: [vyskub08@mail.ru](mailto:vyskub08@mail.ru)

**Viktor G. Vyskub**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Chief Researcher, Kartsev Research Institute of Computing Complexes, Moscow, the Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию 27.04.2026; одобрена после рецензирования 02.06.2026; принята к публикации 11.06.2026.*

*The article was submitted 27.04.2026; approved after reviewing 02.06.2026; accepted for publication 11.06.2026.*