

УДК 004.891+007.52+004.896+681.518+65.011.56  
DOI: [10.26102/2310-6018/2025.48.1.042](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.48.1.042)

## Миварная экспертная система для поддержки принятия решений персонала на производстве планетарных редукторов

А.А. Антонова<sup>1</sup>, О.О. Варламов<sup>1,2,3</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 область производства планетарных редукторов и определены проблемы, возникающие на предприятиях в ходе производства. В качестве решения проблем предложена разработка миварной экспертной системы, задача которой – наблюдение за ходом производства редукторов, поддержка принятия решений и своевременное оповещение сотрудников предприятия о наличии ошибок и отклонений. Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения автоматизации на производствах редукторов. Основой принятия решений будет служить миварная база знаний, для составления которой формализованы этапы и параметры технологического процесса производства редукторов. Результатом работы является миварная экспертная система для поддержки принятия решений персонала на предприятии по производству планетарных редукторов. Материалы статьи представляют практическую ценность для специалистов в области автоматизации производственных процессов, а также для руководителей и инженеров, стремящихся повысить эффективность управления и оптимизировать производственные процессы. Научная новизна работы заключается в обосновании целесообразности использования миварных экспертных систем для автоматизации производственных процессов, связанных со сборкой редукторов, их испытаниями и хранением на складе. Данная система может служить основой для дальнейших разработок и исследований в области интеграции интеллектуальных технологий в производственные процессы.

**Ключевые слова:** мивар, редукторы, производство редукторов, миварная экспертная система, база знаний, Wi!Mi, КЭСМИ, Разуматор, большие знания.

**Для цитирования:** 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). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1842> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.48.1.042

## Mivar expert system for supporting personnel decision-making in the production of planetary gearboxes

А.А. Antonova<sup>1</sup>, O.O. Varlamov<sup>1,2,3</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 article analyzes the field of production of planetary gearboxes and identifies problems that arise at enterprises during production. As a solution to the problems, the development of a mivar expert system is proposed, the task of which is to monitor the progress of gearbox production, support decision-making and timely notification of enterprise employees about errors and deviations. The relevance of the work is due to the need to increase automation in gearbox production. The decision-making basis will be the mivar knowledge base, for the compilation of which the stages and parameters

of the technological process of gearbox production are formalized. The result of the work is a mivar expert system to support decision-making of personnel at an enterprise producing planetary gearboxes. The materials of the article are of practical value for specialists in the field of automation of production processes, as well as for managers and engineers seeking to improve management efficiency and optimize production processes. The scientific novelty of the work is to substantiate the feasibility of using mivar expert systems to automate production processes related to the assembly of gearboxes, their testing and storage in a warehouse. This system can serve as a basis for further developments and research in the field of integrating intelligent technologies into production processes.

**Keywords:** mivar, gearboxes, production of gearboxes, mivar expert system, knowledge base, Wi!Mi, MESD, Razumator, big knowledge.

**For citation:** 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.). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1842> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.48.1.042

## Введение

В настоящее время активно развивается научно-практическое направление «Умные производственные системы» (УмПС), для которых используют методы и модели искусственного интеллекта (ИИ). На современных производствах и предприятиях автоматизация путем внедрения ИИ играет ключевую роль для повышения эффективности и снижения затрат. Одной из областей, где автоматизация может значительно улучшить результаты, является сборка редукторов, их испытания и складирование. Данные процессы требуют высокую степень точности и быстроты, что делает их идеальной областью для внедрения инновационных технологий.

В области ИИ продолжаются научные исследования по развитию миварных технологий [1] логического ИИ, которые широко используются во многих областях науки и техники. Например, миварные технологии применяли: в робототехнике для динамического планирования траекторий роботов [2], включая и трехмерное пространство; для оптимизации распределения ресурсов производственных систем при условии неполноты данных [3], для создания программной платформы для систем принятия решений роботов [4], для оценки критичности уязвимостей информационных систем [5], для выбора алгоритма консенсуса распределенных реестров [6], для понимания образов и принятия решений при обнаружении падения людей [7]; в области автоматического создания МБЗ [8]; в области исследований этических аспектов искусственного интеллекта для кредитного скоринга [9]. Также миварные технологии использовались для планирования ресурсов цеха [10], для автоматического подбора СУБД [11], для создания миварной системы принятия решения для планирования маршрутов роботов и повышения их автономности [12], а также для автоматической генерации миварных баз знаний трехмерного логического пространства [13].

Миварные технологии активно развиваются уже многие годы, и так, например, в 2015 году был расширен миварный подход с помощью разделения «объекта» на классы и параметры и введения новой сущности – ограничения [14], что открыло еще больше возможностей для использования миварных технологий. Так с их помощью была реализована интеллектуальная вопросно-ответная система «Миварный виртуальный консультант» [15], был успешно использован миварный подход при создании модели диагностики болезней [16], а также была разработана логическая модель работы робота-официанта и робота-гида с использованием метода быстрого логического вывода [17–18]. В 2016 году был подробно разобран алгоритм поиска миварного логического вывода без прочистки от лишних правил и предложен способ решения имеющихся проблем [19]. В 2023 году была разработана миварная экспертная система (МЭС) для выбора стратегии

оптимизации бизнес-процессов [20], а также МЭС для определения и классификации дефектов речи [21].

Миварные технологии находят применение в разных областях и могут быть также применены в области промышленного производства.

Целью данной работы является разработка миварной экспертной системы для повышения автоматизации на производствах редукторов. Задача МЭС – это наблюдение за ходом производства редукторов, поддержка принятия решений и своевременное оповещение сотрудников предприятия о наличии ошибок и отклонений. Данная МЭС может служить основой для дальнейших разработок и исследований в области интеграции интеллектуальных технологий в производственные процессы, что представляет практическую ценность для специалистов в области автоматизации производственных процессов, а также для руководителей и инженеров, стремящихся повысить эффективность управления и оптимизировать производственные процессы.

Научная новизна исследования состоит в обосновании возможности применения миварных экспертных систем для автоматизации производственных систем, где производится сборка редукторов, их испытания и складирование. Создана новая математическая модель таких производственных систем в формализме двудольных ориентированных графов миварных сетей, представленная в виде таблицы модернизированных продукционных правил «Если, То, Иначе».

Разработан новый метод принятия решений и обработки информации на основе применения миварной экспертной системы для поддержки принятия решений персонала на предприятии по производству планетарных редукторов. Также разработано программное обеспечение, реализующее этот метод.

Кроме того, разработан метод построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами и производствами на предприятии по производству планетарных редукторов. Таким образом, тема работы актуальна и имеет важное практическое значение.

### **Постановка задачи**

Для успешного создания МЭС в области умных производственных систем необходимо выполнить следующие работы:

- 1) провести системный анализ предметной области в плане принятия решений, обработки информации и ИИ;
- 2) формализовать описание предметной области;
- 3) разработать в виде таблицы модель описания принятия решений, обработки информации и ИИ в предметной области в формализме миварных сетей – двудольных ориентированных графов, т. е. создание миварной базы знаний в виде табличного представления;
- 4) разработать или выбрать метод и алгоритмы решения задач принятия решений, обработки информации и ИИ в предметной области;
- 5) разработать или реализовать миварную сеть предметной области в специальном математическом и алгоритмическом обеспечении систем принятия решений, обработки информации и ИИ (например, в КЭСМИ Wi!Mi Разуматоре версии 2.1);
- 6) провести тестирование полученных миварных моделей предметной области умных производственных систем;
- 7) обеспечить эволюционное развитие созданной миварной экспертной системы предметной области умных производственных систем.

## Системный анализ промышленного объекта по производству редукторов

Редуктор – это агрегат, который содержит установленную в закрытом корпусе передачу (или передачи) зацеплением с постоянным передаточным отношением и который предназначен для понижения угловой скорости, а следовательно, повышения крутящего момента [22].

Редуктор состоит, как правило, из одной или нескольких зубчатых передач, расположенных в отдельном корпусе, и служит для передачи вращательного движения с уменьшением частоты вращения и увеличением вращающего момента. Функционирование редуктора основано на передаче вращательного момента от одного вала к другому с помощью неподвижно установленных зубчатых элементов. Основные элементы редуктора включают в себя корпус, шестерни и зубчатые колеса – эти детали могут быть зафиксированы на валах или же быть изначально изготовлены с ними как одно целое. Редукторы разделяют по типу передачи (цилиндрические, конические, червячные, планетарные и их комбинации), числу ступеней понижения или повышения скорости, положению осей входного и выходного вала друг относительно друга, а также по способу крепления.

*Планетарные редукторы* называются таким образом ввиду планетарной передачи. Планетарная передача состоит из следующих элементов: солнечная шестерня, коронная шестерня, водило и сателлиты. Процесс производства редукторов достаточно сложен и требует тщательного контроля на всех этапах. В первую очередь производится сборка редуктора из уже готовых деталей – перед началом необходимо проверить комплектность деталей и их соответствие с чертежами и / или 3D-моделями.

*Испытания* планетарных редукторов являются важным этапом проверки их работоспособности, эффективности и надежности. В первую очередь редуктор визуально оценивают на наличие дефектов, а после он подвергается нагрузкам, которые соответствуют его рабочим условиям. Измеряется передаточное число и эффективность передачи момента, оценивается максимальный выходной момент, который редуктор может выдерживать без повреждений, измеряются уровни вибрации при разных режимах работы и уровень шума, что помогает выявить потенциальные проблемы. Также определяется коэффициент полезного действия редуктора при различных нагрузках и скоростях – это важно для оценки его эффективности.

После всех испытаний полученные данные сравниваются с проектными показателями и стандартами, а далее фиксируются результаты испытаний и оформляются в виде отчета. После испытаний редуктор упаковывается, маркируется и отправляется на склад, где тоже необходимо постоянно контролировать условия, например: температура, влажность, расстояние между полками.

### Формализованное описание процесса принятия решений и управления в виде правил «Если, То, Иначе»

Правила для контроля процесса сборки редуктора:

- ЕСЛИ начат процесс производства ( $prod==1$ ), ТО приносим детали на сборочный стол ( $det=1$ ), ИНАЧЕ не приносим ( $det=0$ ).
- ЕСЛИ детали есть на сборочном столе ( $det==1$ ), ТО переходим в состояние проверки ( $pr1=1$ ), ИНАЧЕ сообщаем оператору ( $pr1=0$ ).
- ЕСЛИ началась проверка ( $pr1==1$ ) И количество деталей равно 23 ( $cnt\_det==23$ ), ТО не меняем состояние ( $kd1=1$ ), ИНАЧЕ сообщаем оператору о нехватке деталей ( $kd1=0$ ).

– ЕСЛИ началась проверка ( $pr1==1$ ) И число проверенных размеров деталей равно 78 ( $cnt_r==78$ ), ТО не меняем состояние ( $rd1=1$ ), ИНАЧЕ сообщаем оператору о неправильных размерах ( $rd1=0$ ).

– ЕСЛИ началась проверка ( $pr1==1$ ) И есть смазочная жидкость ( $sm==1$ ), ТО не меняем состояние ( $s1=1$ ), ИНАЧЕ сообщаем оператору ( $s1=0$ ).

– ЕСЛИ проверена комплектность деталей ( $kd1==1$ ) И проверены размеры деталей ( $rd1==1$ ) И есть смазка ( $sm==1$ ), ТО провести сборку редуктора ( $sb=1$ ), ИНАЧЕ не проводим сборку и сообщаем оператору ( $sb=0$ ).

– ЕСЛИ редуктор собран ( $sb==1$ ) И в процессе сборки возникли отходы ( $waste==1$ ), ТО осуществляем утилизацию ( $util=1$ ), ИНАЧЕ фиксируем отсутствие отходов ( $util=0$ ).

Правила для контроля процесса первичной проверки редуктора:

– ЕСЛИ редуктор собран ( $sb==1$ ) И размер собранного редуктора в пределах заданных размеров ( $size_in==1$ ), ТО фиксируем соответствие ( $size_ok=1$ ), ИНАЧЕ подтверждаем несоответствие ( $size_ok=0$ ).

– ЕСЛИ редуктор собран ( $sb==1$ ) И пройдена проверка целостности конструкции ( $integrity_check==1$ ), ТО не меняем состояние ( $integrity_status=1$ ), ИНАЧЕ сообщаем оператору о необходимости повторной сборки ( $integrity_status=0$ ).

– ЕСЛИ редуктор собран ( $sb==1$ ) И пройдена проверка на утечки ( $leak_check==1$ ), ТО не меняем состояние ( $leak_status=1$ ), ИНАЧЕ фиксируем утечку и сообщаем оператору ( $leak_status=0$ ).

– ЕСЛИ пройдены первичные тесты ( $size_ok==1 \& \& integrity\_check==1 \& \& leak\_check==1$ ), ТО переходим к испытаниям редуктора ( $T==1$ ), ИНАЧЕ сообщаем оператору ( $T==0$ ).

Правила для контроля процесса испытания редуктора (приведем фрагмент):

– ЕСЛИ пройдены первичные тесты ( $T==1$ ) И максимальный крутящий момент редуктора меньше 5000 Н\*м ( $T_{max}<50000$ ), ТО тест проведён успешно, не меняем состояние ( $t1=1$ ), ИНАЧЕ тест провален ( $t1=0$ ).

– ЕСЛИ пройдены первичные тесты ( $T==1$ ) И передаточное число больше 4,6 ( $pch>4,6$ ) И передаточное число меньше 200 ( $pch<200$ ), ТО тест проведён успешно, не меняем состояние ( $t2=1$ ), ИНАЧЕ тест провален ( $t2=0$ ).

– ЕСЛИ пройдены первичные тесты ( $T==1$ ) И уровень шума меньше 90 дБ ( $n<90$ ), ТО не меняем состояние ( $t3=1$ ), ИНАЧЕ тест провален ( $t3=0$ ).

– ЕСЛИ пройдены первичные тесты ( $T==1$ ) И уровень КПД больше 90% ( $kpd>90$ ), ТО не меняем состояние ( $t4=1$ ), ИНАЧЕ тест провален ( $t4=0$ ).

– ЕСЛИ пройдены первичные тесты ( $T==1$ ) И редуктор не имеет повреждений ( $damage==0$ ), ТО тест пройден ( $t5=1$ ), ИНАЧЕ тест провален ( $t5=0$ ).

– ЕСЛИ пройдены первичные тесты ( $T==1$ ) И температура при работе не превышает 75° ( $temp\_work<75$ ), ТО тест пройден ( $t6=1$ ), ИНАЧЕ тест провален ( $t6=0$ ).

Правила для контроля упаковки редуктора:

– ЕСЛИ есть маркировка ( $m==1$ ), ТО не меняем состояние ( $m1=1$ ) ИНАЧЕ сообщаем оператору ( $m1=0$ ).

– ЕСЛИ редуктор очищен от загрязнений ( $gr==1$ ), то не меняем состояние ( $gr1=1$ ) ИНАЧЕ сообщаем оператору ( $gr1=0$ ).

– ЕСЛИ проверен транспортировочный контейнер ( $container\_checked==1$ ), ТО не меняем состояние ( $cont1=1$ ) ИНАЧЕ сообщаем оператору ( $cont1=0$ ).

– ЕСЛИ маркировка И отсутствие грязи проверено ( $m1=1 \& \& gr1=0 \& \& c\_ch=1$ ) ТО завершаем упаковку ( $u1=1$ ) ИНАЧЕ сообщаем оператору ( $u1=0$ ).

Правила для контроля условий хранения редуктора на складе:

– ЕСЛИ редуктор упакован ( $u1==1$ ) И температура меньше  $45^\circ$  ( $t<45$ ) И температура больше  $-45^\circ$  ( $t>-45$ ), ТО условие хранения соблюдено ( $x1=1$ ) ИНАЧЕ сообщаем оператору ( $x1=0$ ).

– ЕСЛИ редуктор упакован ( $u1==1$ ) И влажность меньше 60% ( $h<60$ ), ТО условие хранения соблюдено ( $x2=1$ ) ИНАЧЕ сообщаем оператору ( $x2=0$ ).

– ЕСЛИ редуктор упакован ( $u1==1$ ) И отсутствует источник солнечного света ( $sun==0$ ), ТО условие хранения соблюдено ( $x3==1$ ) ИНАЧЕ сообщаем оператору ( $x3=0$ ).

– ЕСЛИ редуктор упакован ( $u1==1$ ) И отсутствует источник УФ излучения отсутствует ( $uv==0$ ), ТО условие хранения соблюдено ( $x4==1$ ) ИНАЧЕ сообщаем оператору ( $x4=0$ ).

– ЕСЛИ редуктор упакован ( $u1==1$ ) И высота ячеек, на которых хранятся редукторы, больше 2 м ( $high>2$ ), ТО условие хранения соблюдено ( $x5==1$ ) ИНАЧЕ сообщаем оператору ( $x5=0$ ).

– ЕСЛИ какое-то из условий хранения не соблюдается ( $x1==0 || x2==0 || x3==0 || x4==0 || x5==0$ ), ТО иницилируем проверку склада ( $w\_check=1$ ) ИНАЧЕ продолжаем хранение ( $w\_check=0$ ).

Эти правила помогут обеспечить наличие всех необходимых деталей для успешной сборки редуктора, проконтролировать процесс тестирования, упаковки и проверить условия хранения редукторов на складе. В процессе развития МЭС эти правила могут дополняться, изменяться или удаляться для поддержания адекватности моделирования предметной области.

### Создание миварной базы знаний для МЭС

МБЗ служит механизмом взаимодействия между интеллектуальной системой и непосредственно самими знаниями. В рамках данной работы было составлено множество продукционных правил формата ЕСЛИ условие – ТО событие, на основе которых должна функционировать МЭС. Разработанные правила приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Миварная база знаний (фрагмент)

Table 1 – Mivar database (fragment)

№	Класс	Если	То	Иначе
1	Пр.р.	начат процесс производства ( $prod==1$ )	приносим детали на сборочный стол ( $det=1$ )	не приносим ( $det=0$ )
2	ПР	детали есть на сборочном столе ( $det==1$ )	переходим в состояние проверки ( $pr1=1$ )	сообщаем оператору ( $pr1=0$ )
3	КД	началась проверка ( $pr1==1$ ) И количество деталей равно 23 ( $cnt\_det==23$ )	не меняем состояние ( $kd1=1$ )	сообщаем оператору о нехватке деталей ( $kd1=0$ )
4	РД	началась проверка ( $pr1==1$ ) И число проверенных размеров деталей равно 78 ( $cnt\_r==78$ )	не меняем состояние ( $rd1=1$ )	сообщаем оператору о неправильных размерах ( $rd1=0$ )
5	ДСЗ	началась проверка ( $pr1==1$ ) И есть смазочная жидкость ( $sm==1$ )	не меняем состояние ( $s1=1$ )	сообщаем оператору ( $s1=0$ )
6	С1	проверена комплектность деталей ( $kd1==1$ ) И проверены размеры деталей ( $rd1==1$ )	провести сборку редуктора ( $sb=1$ )	не проводим сборку и сообщаем оператору ( $sb=0$ )

Таблица 1 (продолжение)  
Table 1 (continued)

7	У	редуктор собран (sb==1) И в процессе сборки возникли отходы (waste==1)	осуществляем утилизацию (util=1)	фиксируем отсутствие отходов (util=0)
8	T0	редуктор собран (sb==1) И размер собранного редуктора в пределах заданных размеров (size in==1)	фиксируем соответствие (size_ok=1)	подтверждаем несоответствие (size_ok=0)
9	T0	редуктор собран (sb==1) И пройдена проверка целостности конструкции (integrity_check==1)	не меняем состояние (integrity_status=1)	сообщаем оператору о необходимости повторной сборки (integrity_status=0)
10	T0	ЕСЛИ редуктор собран (sb==1) И пройдена проверка на утечки (leak_check==1)	не меняем состояние (leak_status=1)	фиксируем утечку и сообщаем оператору (leak_status=0)
11	T0	пройденны первичные тесты (size_ok==1&& integrity_check==1&& leak_check==1)	переходим к испытаниям редуктора (T==1)	сообщаем оператору (T==0)

### Создание миварной экспертной системы

После разработки миварной базы знаний можно приступить к созданию миварной экспертной системы в КЭСМИ. На Рисунке 1 представлены использующиеся классы и параметры.

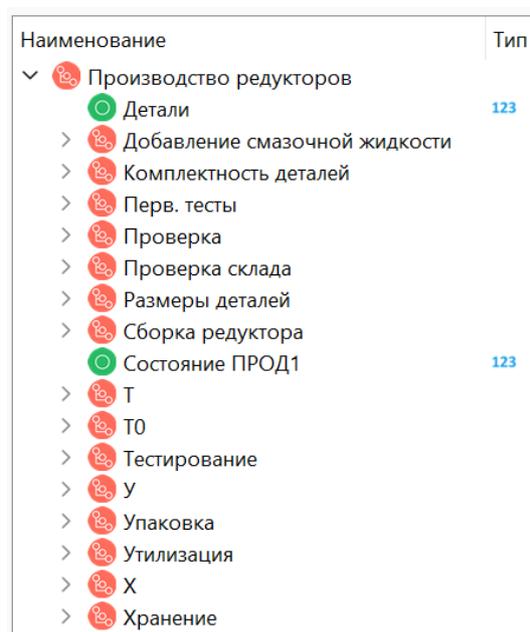


Рисунок 1 – Параметры и классы  
Figure 1 – Parameters and classes

На Рисунке 2 представлены отношения, записанные на основе разработанной миварной базы знаний. Отношения задают шаблоны для правил.

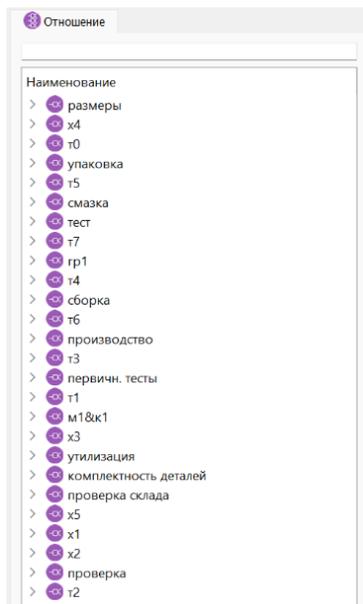


Рисунок 2 – Отношения  
Figure 2 – Relations

На Рисунке 3 представлены правила для первичных тестов редуктора. Аналогично были созданы остальные правила.

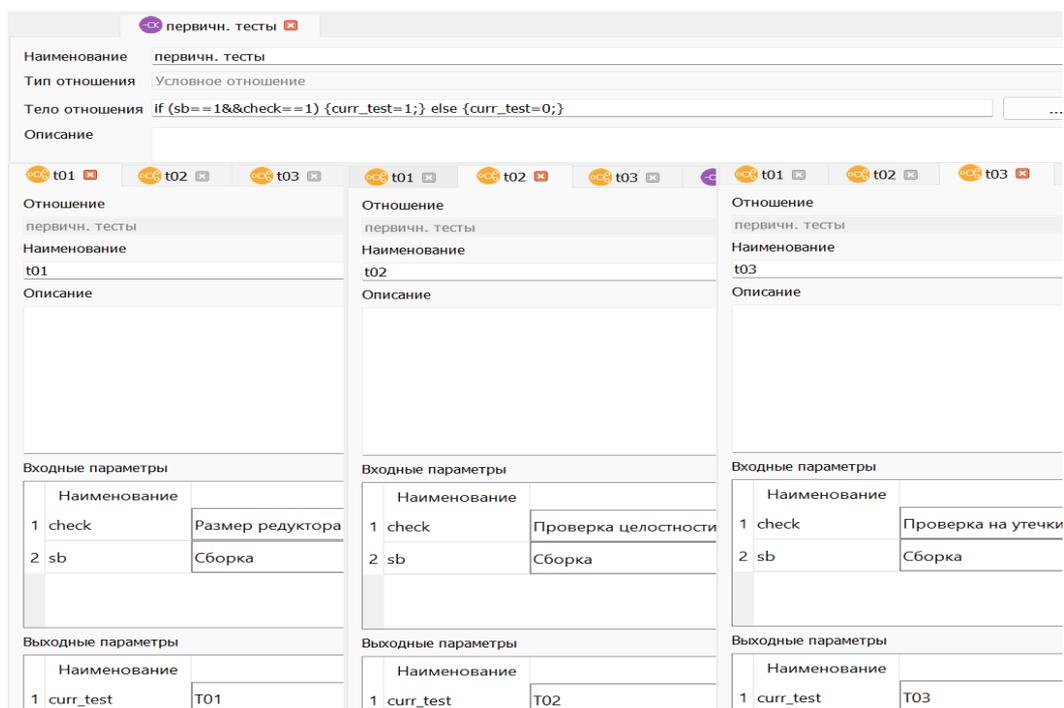


Рисунок 3 – Пример правил  
Figure 3 – Example of rules

### Проведение тестирования МЭС

Протестируем систему, чтобы убедиться в правильности ее работы. Начнем с тестирования этапа сборки редуктора. При подставлении правильных данных (нужное количество деталей, все правильно проверенные размеры, присутствие смазочной жидкости) сборка производится успешно, как показано на Рисунке 4.

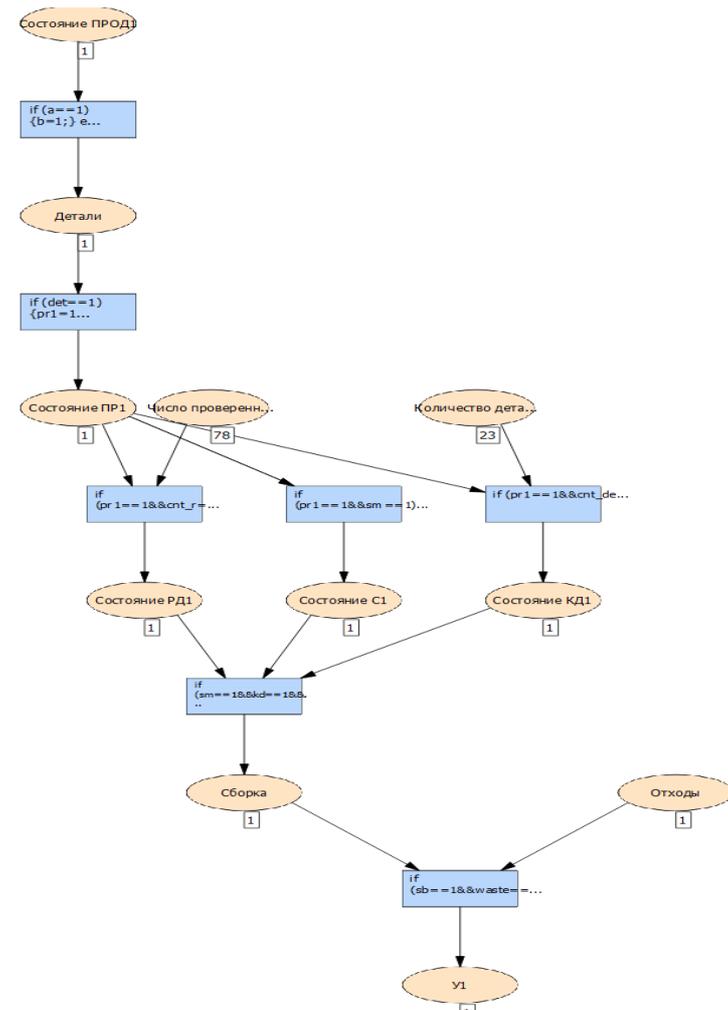


Рисунок 4 – Результаты тестирования этапа сборки  
 Figure 4 – Test results of the assembly stage

После сборки перейдем к этапу первичных тестов. Все тесты успешно проводятся, как показано на Рисунке 5.

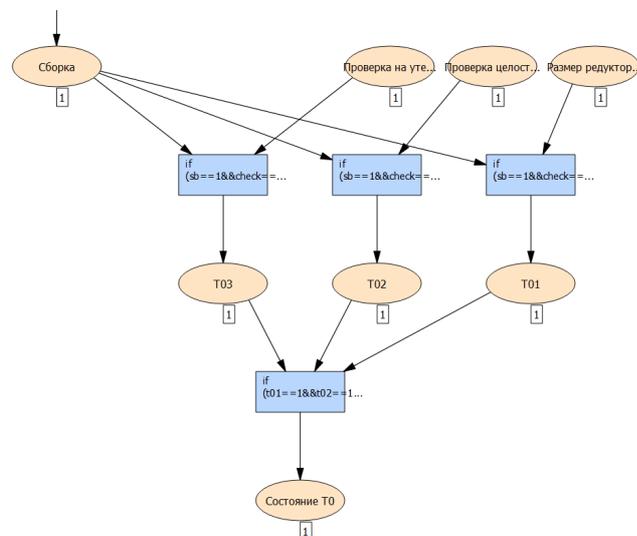


Рисунок 5 – Результаты тестирования этапа первичных испытаний  
 Figure 5 – Test results of the primary testing stage

Далее протестируем этап испытаний редуктора. При подставлении правильных данных все тесты успешно проводятся, как показано на Рисунке 6.

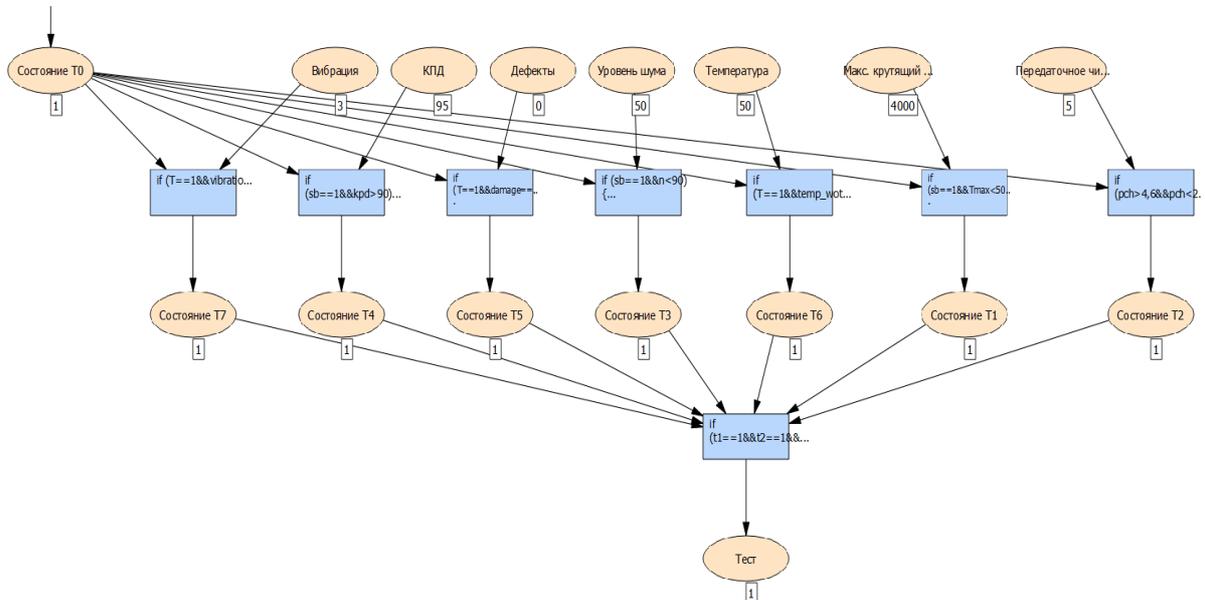


Рисунок 6 – Результаты тестирования этапа испытаний  
Figure 6 – Test results of the testing stage

Далее протестируем этап упаковки и хранения редуктора. При подставлении правильных данных (проведенная маркировка, очищение от загрязнений, уровень влажности, значение температуры, отсутствие источника солнечного света и УФ-излучений), система переходит в состояния, показывающие, что условия хранения соблюдены, как показано на Рисунках 7, 8.

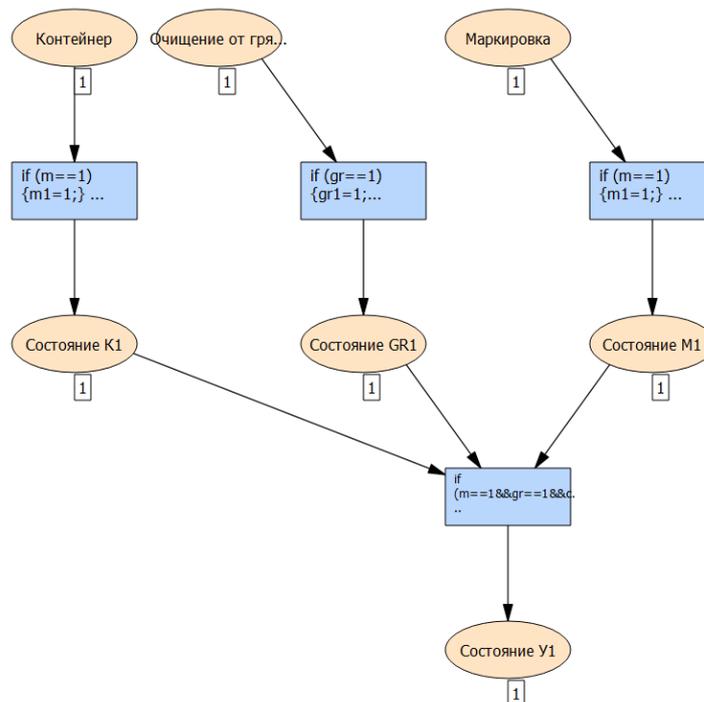


Рисунок 7 – Результаты тестирования этапа упаковки  
Figure 7 – Test results of the primary packaging stage

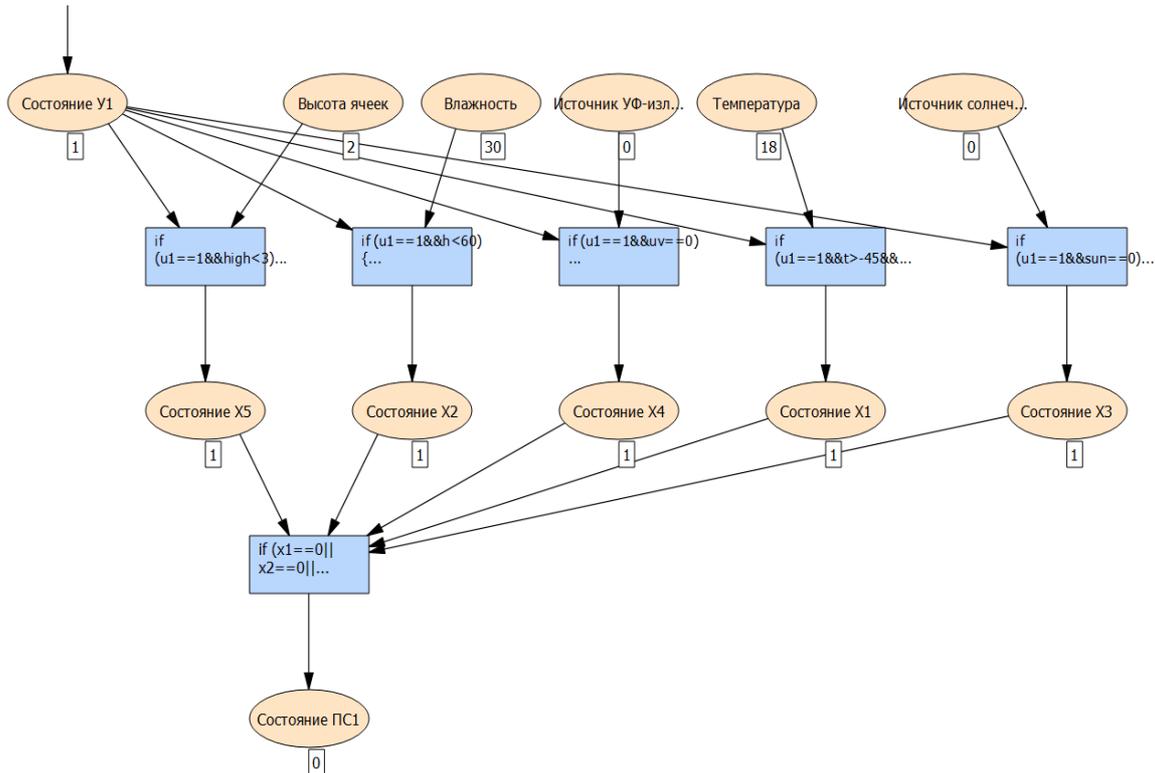


Рисунок 8 – Результаты тестирования этапа хранения  
Figure 8 – Test results of the storing stage

### Заключение

В контексте производства редукторов, где важна высокая степень точности и надежности, применение миварных экспертных систем приводит к значительным улучшениям качества производства, что и было продемонстрировано в данной работе.

Научная новизна исследования состоит в обосновании возможности применения миварных экспертных систем для автоматизации производственных систем, где производится сборка редукторов, их испытания и складирование. Создана новая математическая модель таких производственных систем в формализме двудольных ориентированных графов миварных сетей, представленная в виде таблицы модернизированных продукционных правил «Если, То, Иначе», которая включает в себя на первом тапе моделирования 30 правил.

Разработан новый метод принятия решений и обработки информации на основе применения миварной экспертной системы для поддержки принятия решений персонала на предприятии по производству планетарных редукторов. Также разработано программное обеспечение, реализующее этот метод. Разработан на основе внедрения миварных экспертных систем метод построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами и производствами на предприятии по производству планетарных редукторов.

Таким образом, в ходе выполнения работы проанализирован процесс производства планетарных редукторов и выполнен системный анализ предметной области в плане принятия решений, разработана миварная база знаний, а также была создана и протестирована миварная экспертная система в специальном математическом и алгоритмическом обеспечении КЭСМИ Wi!Mi Разуматоре.

## 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. Кривошеев О.В. О разработке миварного алгоритма распределения ресурсов производственных систем в условиях неполноты данных. В сборнике: *Перспективные направления развития финишных и виброволновых технологий: Сборник трудов научного семинара, посвященного памяти заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, почётного профессора ДГТУ А.П. Бабичева, 25 февраля 2022 года, Ростов-на-Дону, Россия*. Ростов-на-Дону: Донской государственной технической университет; 2022. С. 225–231.  
Krivosheev O.V. On the development of a mivar algorithm for allocating resources of production systems in conditions of incomplete data. In: *Perspektivnyye napravleniya razvitiya finishnykh i vibrovolnovykh tekhnologii: Sbornik trudov nauchnogo seminara, posvyashchennogo pamyati zasluzhennogo deyatelya nauki i tekhniki RF, doktora tekhnicheskikh nauk, pochetnogo professora DGTU A.P. Babicheva, 25 February 2022, Rostov-on-Don, Russia*. Rostov-on-Don: Don State Technical University; 2022. pp. 225–231. (In Russ.).
4. Синицын Л.С., Аладин Д.В. Платформа для СПР робота на базе гибридной интеллектуальной системы. В сборнике: *МИВАР'24: Сборник научных статей, 18–20 апреля 2024 года, Москва, Россия*. Москва: ИНФРА-М; 2024. С. 384–388.  
Sinitsyn L.S., Aladin D.V. Platform for robot DSS based on hybrid intelligent system. In: *MIVAR'24: Sbornik nauchnykh statei, 18–20 April 2024, Moscow, Russia*. Moscow: INFRA-M; 2024. pp. 384–388. (In Russ.).
5. Макрушина В.А., Шапиев М.М., Горбовцова К.М., Зубаиров В.А., Черненький С.В. 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., Zubairov V.A., Chernenkiy S.V. MES for assessing the criticality of information system vulnerabilities. In: *MIVAR'22: Sbornik nauchnykh statei*. Moscow: INFRA-M; 2022. pp. 75–81. (In Russ.).
6. Подопрigorова Н.С., Козырев С.А., Подопрigorова С.С. Балдин А.В., Коценко А.А., Гун Ш. Разработка миварной экспертной системы для выбора алгоритма консенсуса распределённых реестров. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2024;(4):126–138. <https://doi.org/10.24412/2413-7383-2024-4-126-138>  
Podoprigorova N.S., Kozyrev S.A., Podoprigorova S.S., Baldin A.V., Kotsenko A.A., Gong Sh. Development of a mivar expert system for selecting a consensus algorithm for distributed lists. *Problems of Artificial Intelligence*. 2024;(4):126–138. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2413-7383-2024-4-126-138>
7. Мащенко Е.И., Карпов Д.К., Варламов О.О., Адамова Л.Е., Баленко Е.Г. Создание миварной экспертной системы для понимания образов и принятия решений при

- обнаружении падений людей. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2024;(4):88–100. <https://doi.org/10.24412/2413-7383-2024-4-88-100>
- Mashchenko E.I., Karpov D.K., Varlamov O.O., Adamova L.E., Balenko E.G. Creation of a mivar expert system for understanding images and making decisions when people fall. *Problems of Artificial Intelligence*. 2024;(4):88–100. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2413-7383-2024-4-88-100>
8. Andreev A., Kotsenko A., Varlamov O., Kim R., Goryachkin B. Text processing using LLM for automatic creation of agricultural crops knowledge bases. In: *BIO Web of Conferences: International Scientific Conference on Biotechnology and Food Technology (BFT-2024), 03–06 September 2024, Saint Petersburg, Russia*. EDP Sciences; 2024. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413001029>
  9. Торжков М.С., Королева Ю.П., Балдин А.В., Коценко А.А., Шэнь Ц. Создание миварной экспертной системы для выполнения этических аспектов искусственного интеллекта для скоринга кредитования. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2024;(4):139–150. <https://doi.org/10.24412/2413-7383-2024-4-139-150>  
Torzhkov M.S., Koroleva Yu.P., Baldin A.V., Kotsenko A.A., Shen Q. Creation of a mivar expert system for implementing ethical aspects of artificial intelligence for credit scoring. *Problems of Artificial Intelligence*. 2024;(4):139–150. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2413-7383-2024-4-139-150>
  10. Варламов О.О., Чжан С., Балдин А.В., Мышенков К.С., Сидоренко Е.В. 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., Myshenkov K.S., Sidorenko E.V. 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>
  11. Звонарев А.Е., Лычагин Д.А., Гудилин Д.С., Кротов Ю.Н., Маслеников К.Ю. МЭС для выбора СУБД. В сборнике: *МИВАР'23: Сборник научных статей*. Москва: ИНФРА-М; 2023. С. 117–122.  
Zvonarev A.E., Lychagin D.A., Guidilin D.S., Krotov Yu.N., Maslenikov K.Yu. MES for DBMS selection. In: *MIVAR'23: Sbornik nauchnykh statei*. Moscow: INFRA-M; 2023. pp. 117–122. (In Russ.).
  12. Коценко А.А. Разработка методики создания миварной СПР для планирования маршрутов роботов в трехмерном логическом пространстве. *Информация и образование: границы коммуникаций*. 2023;(15):301–304.  
Kotsenko A.A. Development of a method for creating a mivar decision-making system for planning robot routes in a three-dimensional logical space. *Informaciya i obrazovanie: granicy kommunikacij*. 2023;(15):301–304. (In Russ.).
  13. Коценко А.А. Разработка методики автоматической генерации миварных баз знаний трехмерного логического пространства. *Информация и образование: границы коммуникаций*. 2023;(15):304–308.  
Kotsenko A.A. Development of a method for automatic generation of mivar knowledge bases of a three-dimensional logical space. *Informaciya i obrazovanie: granicy kommunikacij*. 2023;(15):304–308. (In Russ.).
  14. Чибилова М.О. Структурное развитие миварного подхода: классы и отношения. *Радиопромышленность*. 2015;(3):44–54.  
Chibirova M.O. Mivar approach expansion: classes and relations. *Radio Industry*. 2015;(3):44–54. (In Russ.).

15. Адамова Л.Е., Белоусова А.И., Протопопова Д.А., Елисеев Д.В., Петерсон А.О. 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., Eliseev D.V. Peterson A.O. An approach to creating intelligent questionanswering system "Mivar virtual consultant". *Radio Industry*. 2015;(3):160–171. (In Russ.).
16. Жданович Е.А., Антонов П.А., Хадиев А.М., Сергушин Г.С., Чибирова М.О. Постановка диагноза по симптомам на основе миварного подхода. *Радиопромышленность*. 2015;(3):122–130. Zhdanovich E.A., Antonov P.A., Hadiev A.M., Sergushin G.S., Chibirova M.O. Diagnosis on symptoms based on mivar approach. *Radio Industry*. 2015;(3):122–130. (In Russ.).
17. Жданович Е.А., Чернышев П.К., Юфимычев К.А., Елисеев Д.В., Чувииков Д.А. Вычисление произвольных алгоритмов функционирования сервисных роботов на основе миварного подхода. *Радиопромышленность*. 2015;(3):226–242. Zhdanovich E.A., Chernyshev P.K., Yufimychev K.A., Eliseev D.V., Chuvikov D.A. Random algorithm calculation of service robot functioning based on mivar approach. *Radio Industry*. 2015;(3):226–242. (In Russ.).
18. Жданович Е.А., Панферов А.А., Юфимычев К.А., Хадиев А.М., Елисеев Д.В. Применение миварной экспертной системы для планирования движения мобильного сервисного робота. *Радиопромышленность*. 2015;(3):243–254. Zhdanovich E.A., Panferov A.A., Yufimychev K.A., Khadiev A.M., Eliseev D.V. Calculation random algorithms of functioning service robot based on mivar approach. *Radio Industry*. 2015;(3):243–254. (In Russ.).
19. Елисеев Д.В., Сергушин Г.С., Хадиев А.М., Чувииков Д.А. Развитие алгоритма миварной машины логического вывода. *I-Methods*. 2016;8(2):43–51. Eliseev D.V., Sergushin G.S., Khadiev A.M., Chuvikov D.A. Algorithm development of mivar inference machine. *I-Methods*. 2016;8(2):43–51. (In Russ.).
20. 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: Sbornik nauchnykh statei*. Moscow: INFRA-M; 2023. pp. 79–86. (In Russ.).
21. Пинская Н.М., Фонканц Р.В., Сафин Р.Р., Семкин П.С., Шкуратова Л.П. 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., Semkin P.S., Shkuratova L.P. MES for classification of speech defects. In: *MIVAR'23: Sbornik nauchnykh statei*. Moscow: INFRA-M; 2023. pp. 163–173. (In Russ.).
22. Мушкин О.В., Николаева Н.Д., Труханов В.М. Исследование существующих методов автоматизированного расчета червячных редукторов и разработка САПР червячного редуктора. *Научное обозрение. Технические науки*. 2016;(3):72–74. Mushkin O.V., Nikolaeva N.D., Trukhanov V.M. Research methods of automated calculation worm reducers and development CAD of worm reducer. *Scientific Review. Technical Sciences*. 2016;(3):72–74. (In Russ.).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Антонова Анастасия Алексеевна**, студент,  
МИРЭА – Российский технологический  
университет, Москва, Российская Федерация.  
*e-mail:* [nastya.antonova862@mail.ru](mailto:nastya.antonova862@mail.ru)

**Anastasiia A. Antonova**, student, MIREA –  
Russian Technological University, Moscow, the  
Russian Federation.

**Варламов Олег Олегович**, доктор  
технических наук, профессор, МИРЭА –  
Российский технологический университет;  
профессор, 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; Professor, Bauman  
Moscow State Technical University; Chief  
Researcher, Kartsev Research Institute of  
Computing Complexes, Moscow, the Russian  
Federation.

*Статья поступила в редакцию 19.03.2025; одобрена после рецензирования 25.03.2025;  
принята к публикации 28.03.2025.*

*The article was submitted 19.03.2025; approved after reviewing 25.03.2025;  
accepted for publication 28.03.2025.*