

УДК: 004.891+007.52+004.896+681.518+65.011.56 DOI 10.24412/2413-7383-2025-2-37-91-104

Тимакова А.А.<sup>1</sup>, Смирягин В.А.<sup>1</sup>, Курнасов Е.В.<sup>1</sup>, Выскуб В.Г.<sup>2</sup>, Мути́н Д.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт искусственного интеллекта Российского технологического университета МИРЭА  
119454, Проспект Вернадского, д. 78, Москва, Россия

<sup>2</sup>АО НИИ Вычислительных комплексов им. М. А. Карцева,  
117437, ул. Профсоюзная, д. 108, Москва, Россия

## СОЗДАНИЕ МИВАРНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫБОРА ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Timakova A.A.<sup>1</sup>, Smiryagin V.A.<sup>1</sup>, Kurnasov E.V.<sup>1</sup>, Vyskub V.G.<sup>2</sup>, Mutin D.I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Artificial Intelligence of the Russian Technological University MIREA  
119454, Vernadsky ave., bld. 78, Moscow, Russia

<sup>2</sup>JSC M. A. Kartsev Research Institute of Computing Systems,  
117437, Profsoyuznaya st., bld. 108, Moscow, Russia

## CREATION OF A MIVAR EXPERT SYSTEM FOR AUTOMATION OF FREQUENCY CONVERTER SELECTION

В статье исследована проблема подбора частотных преобразователей. Обоснована актуальность работы и, в качестве решения, предложена разработка миварной экспертной системы (МЭС), задачей которой будет автоматизированный подбор частотных преобразователей на основе потребностей пользователей. Экспертная система разработана с использованием миварных технологий логического искусственного интеллекта на основе инструмента «КЭСМИ Wi!Mi Разуматор». Основой принятия решений будет служить миварная база знаний (МБЗ), для составления которой создана таблица правил для подбора частотных преобразователей. Результатом работы является МЭС для автоматизации выбора частотного преобразователя. **Ключевые слова:** мивар, частотный преобразователь (ПЧВ), миварная экспертная система, база знаний, КЭСМИ Wi!Mi Разуматор.

The article investigated the problem of selecting frequency converters. The relevance of the work was formulated, and the development of a mivar expert system (MES) was proposed as a solution, the task of which would be the automated selection frequency converters based on user needs. The expert system has been developed using advanced technologies of logical artificial intelligence based on the tool "Wi!Mi Razumator". The basis for decision-making will be the mivar knowledge base, for which the selection sequence of frequency converters has been described. The result of the work is an MES for automating the selection of a frequency converter.

**Keywords:** mivar, frequency converter, mivar expert system, knowledge base, Wi!Mi Razumator.

## Введение

В современных экономических условиях имеет важное значение развитие научного направления «Умные производственные системы» (УмПС), которые используют методы и модели искусственного интеллекта (ИИ). Такие системы могут быть полезны и в процессе подбора частотных преобразователей. Не прекращаются научные исследования в области ИИ, направленные на развитие миварных технологий [1] логического ИИ, применение которых распространено в различных сферах науки и техники. Например, в последнее время миварные технологии использовались: для подбора тренажеров для операторов транспортных средств [2], в области технической поддержки вычислительной техники для анализа содержимого пакетных данных в локальной сети [4], выбора алгоритма консенсуса для распределенных реестров [5]; в области понимания и распознавания образов для определения деревьев с помощью анализа облаков точек [6], а также для принятия решений при выявлении падений людей [7]; в области АСУТП для их моделирования с использованием двудольных и трехдольных графов [7], а также для поддержки принятия решений по классификации критически важной информационной инфраструктуры [8]; в медицине для автоматизации диагностики открытого артериального протока и оценки слуха [9], персонального мониторинга функций внешнего дыхания [10], а также для рекомендаций по подбору полезных продуктов [11]. В области исследования этических аспектов искусственного интеллекта для оценки кредитоспособности [12]. Миварные технологии используются для автоматизированного создания миварных баз знаний (МБЗ) [13], они нашли широкое применение в обработке текстов на смысловом уровне [14], сравнительном анализе многомерных динамических векторов в режиме реального времени [15] и трехмерном моделировании [16]. Также были разработаны методы формирования миварных баз знаний, созданные когнитологами-инженерами [17]. Помимо этого, миварные технологии успешно применялись в медицине [18], а также в других специализированных сферах, например, также в уходе за растениями, включая использование технологий в теплицах [19].

С учетом этого целесообразно проводить исследования по внедрению технологий искусственного интеллекта в умные производственные системы для подбора частотных преобразователей в рамках концепции Больших Знаний [20] и расширения сфер применения миварных технологий ИИ [21].

Научная новизна работы состоит в создании новой математической модели предметной области подбора частотных преобразователей в формализме двудольных ориентированных графов миварных сетей, которые принято описывать в виде таблицы продукционных правил «Если, То». Миварная база знаний создается на основе такой таблицы правил, которая загружается в программный комплекс КЭСМИ Wi!Mi Разуматор для создания миварной экспертной системы автоматизации выбора частотного преобразователя. Таким образом, тема работы является актуальной и обладает значительным практическим потенциалом.

## Описание предметной области

Преобразователь частоты (ПЧВ) или «частотник» – это электронное устройство, задачей которого является преобразование параметров частоты электрического тока. Его применение обеспечивает непрерывное управления трансформацией входных электрических параметров в выходные.

Область применения частотных преобразователей – управление скоростью вращения синхронных и асинхронных электродвигателей. Использование частотников позволяет значительно оптимизировать производство, сократить потребление энергоресурсов и продлить срок службы подключённого к ним электрооборудования.

Принцип действия преобразователей частоты заключается в следующем: выпрямитель входного тока выпрямляет поступающий ток на диодном мосту и «сглаживает» его на конденсаторе, а генератор выходного тока формирует сигнал желаемой последовательности с необходимыми параметрами амплитуды и частоты.

В данной статье будут рассматриваться ПЧВ от производителя, у которого представлено две линейки: ПЧВ1 и ПЧВ3. По величине и типу электропитания обе линейки представлены трехфазными частотниками (напряжение питающей сети 380В), в линейке ПЧВ1 также есть однофазные модели (напряжение питающей сети 220В). ПЧВ1 используются в общепромышленном режиме, ПЧВ3 – для вентиляторно-насосной нагрузки, однако ПЧВ3 можно использовать и в общепромышленном режиме при условии выбора модификации на одну ступень номинального ряда выше рассчитанной.

При подборе ПЧВ сначала определяется серия, если это возможно: ПЧВ1 при напряжении питания 220 В, либо ПЧВ3 при необходимости использования дополнительных опций расширения или контроля обрыва ремня привода без датчика. Далее определяется номинальный ток двигателя и тип нагрузки, на основе чего рассчитывается номинальный выходной ток ПЧВ, по которому и подбирается подходящая модель частотника. Для определенных моделей клиенту необходимо сообщать дополнительную информацию, связанную с эксплуатацией устройства, что будет представлено далее.

Таким образом, для создания МЭС в области автоматизированного выбора частотного преобразователя требуется комплексная научная и практическая работа, осуществляемая специалистами различных направлений, объединёнными в единую команду. Перейдём к решению задачи разработки МЭС для автоматизации процесса выбора частотного преобразователя.

## 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. Всего создано 75 правил, часть которых показана в Таблице 1.

Таблица 1 — Миварная база знаний (фрагмент)

Правило	ЕСЛИ	ТО
1	напряжение питания 220 В	ПЧВ1
2	нужны дополнительные опции расширения	ПЧВ3
3	требуется контроль обрыва ремня привода без датчика	ПЧВ3
4	тип механизма вентилятор осевой (аксиальный)	К = 1
5	тип механизма вентилятор центробежный (радиальный)	К = 1
6	тип механизма вентилятор диаметрального сечения (тангенциальный)	К = 1
7	тип механизма компрессор шестипоршневой	К = 1

Продолж. табл. 1

15	тип механизма насос погружной	К = 1.1
16	тип механизма станок ленточно-шлифовальный	К = 1.1
17	тип механизма компрессор четырёхпоршневой	К = 1.2
18	тип механизма куттер (измельчитель)	К = 1.2
19	тип механизма мельница	К = 1.2
30	тип механизма компрессор двухпоршневой	К = 1.35
31	тип механизма конвейер питателя	К = 1.35
32	тип механизма миксер (мешалка)	К = 1.35
35	тип механизма дробилка щековая	К = 1.7
36	тип механизма машина протяжки проволоки	К = 1.7
37	номинальный выходной ток ниже 4А	подходит ПЧВ1-К75-А или ПЧВ3-1К5-В или ПЧВ1-1К5-В
38	номинальный выходной ток ниже 7А	подходит ПЧВ1-1К5-А
39	номинальный выходной ток ниже 10А	подходит ПЧВ1-2К2-А
40	номинальный выходной ток ниже 3А	подходит ПЧВ1-К75-В или ПЧВ3-К75-В
41	номинальный выходной ток ниже 4А	подходит ПЧВ1-К75-А или ПЧВ3-1К5-В
42	номинальный выходной ток ниже 5А	подходит ПЧВ1-2К2-В
43	номинальный выходной ток ниже 9.5А	подходит ПЧВ1-4К0-В
50	номинальный выходной ток ниже 6А	подходит ПЧВ3-2К2-В
51	номинальный выходной ток ниже 32.5А	подходит ПЧВ3-15К-В
52	номинальный выходной ток ниже 60А	подходит ПЧВ3-30К-В
68	номинальный выходной ток ниже 750А	подходит ПЧВ3-400К-В
69	номинальный выходной ток ниже 810А	подходит ПЧВ3-450К-В
71	мощность ПЧВ более 90 кВт	моторные дроссели не предусмотрены
72	есть необходимость использовать тормозной резистор	указать, что продолжительность его включения составляет 10%
74	тормозной резистор модификации РБЗ	степень защиты IP54

## Решение задачи создания МЭС

Приведем только фрагмент формального описания миварной сети, загруженной в МЭС, т.к. полное описание составляет большое количество строк.

```
<model id="{0b9565dd-9cdb-4c9d-9ac0-0b39f19778fb}" shortName="Model 1"
formatXmlVersion="2.0" description="Model 1">
  <class id="{1c701c62-6dcf-44d5-9c04-9a6a04b137a2}" shortName="Подбор
ПЧВ">
  <parameters/>
  <rules>
    <rule id="0504df6b-942c-4a07-abdb-0a7249d187cc" shortName="инф_2"
relation="f3ac8c2c-d039-44cf-9463-45ae0ab3b8cd" resultId="y:1eded6fb-f2d8-4ea8-
b428-d8d585bb2a67" initId="a:5bc2bcc-d12a-4d00-8184-db966e4a1439"/>
    <rule id="3d777246-f3ef-458d-b8c8-449f2abcdaae" shortName="инф_1"
relation="a4843667-5b5d-46cd-8114-6bd54d86f612" resultId="y:25dc7702-c08e-4425-
8883-431fba5789a2" initId="a:5bc2bcc-d12a-4d00-8184-db966e4a1439"/>
    <rule id="540f75d9-8484-4780-8de4-48264168d410" shortName="расчет
номинального выходного тока ПЧВ" relation="d401ac2c-fd19-4efe-8cfa-
e6de56608ede" resultId="y:0bd6cfca-ea42-4d58-b0bf-76be11085af5" initId="a:b25cd215-
a571-4c29-839b-40c3c0bfafef;b:ce5410e7-7830-4764-8bbd-c29fb8074283"/>
```

```
<rule id="56107a09-6a8a-48a1-830a-1451a80d570e" shortName="определение
ПЧВ3" relation="afbe1eac-b094-4b56-a61a-e5551ad929d9" resultId="y:5d9aa7e8-91d0-
4a11-a081-bd79748b6dea" initId="a:930e7767-4a40-4291-9807-
b40f4746cb5c;b:ab5d9513-d02c-4df9-b3ac-bebb49c1100f"/>
```

```
<rule id="75cdf272-1933-4ef5-ae6a-1a396a2dfe6b" shortName="определение
ПЧВ1" relation="bc7ec3d3-9828-4250-b3bb-cf25b70c3766" resultId="y:5d9aa7e8-91d0-
4a11-a081-bd79748b6dea" initId="a:b58053d5-8b4e-410c-87cc-1212b72ab514"/>
if (b>600 & amp; b<=670) { c=355 }&#xd;
if (b>670 & amp; b<=750) { c=400}&#xd;
</relations>
</model>
```

После разработки миварной базы знаний – МБЗ, была создана миварная экспертная система – МЭС. На Рисунке 1 представлены классы и параметры.

Наименование	Тип
Подбор ПЧВ	
вход	
контроль обрыва ремня привода без датчика, да/нет	ABC
наличие доп. опций расширения, да/нет	ABC
напряжение питания, В	123
номинальный ток двигателя, А	123
тип оборудования	ABC
выход	
информ-е про мот.дроссели	ABC
информ-е про торм.резисторы	ABC
ПОДОБРАННАЯ МОДЕЛЬ ПЧВ	ABC
параметры при подборе	
коэффициент запаса	123
мощность ПЧВ, кВт	123
номинальный выходной ток ПЧВ, А	123
серия ПЧВ	ABC

Рисунок 1 — Параметры и классы

На Рисунке 2 представлены отношения, записанные на основе разработанной миварной базы знаний. Отношения задают шаблоны для правил. Используются отношения типа «Формула», «Условное отношение» и «Сложное отношение».

- > определение коэффициента запаса
- >  $y = a * b$
- > определение серии ПЧВ\_1
- > информирование\_1
- > определение мощности
- > информирование\_2
- > определение модели ПЧВ
- > определение серии ПЧВ\_2

Рисунок 2 — Отношения

На Рисунке 3 представлено правило для расчета номинального выходного тока ПЧВ. Аналогично были созданы остальные правила в соответствии с принадлежностью к определенному отношению.

расчет номиналь...

Отношение  
y=a\*b

Наименование  
расчет номинального выходного тока ПЧВ

Описание

Входные параметры

Наименование	Параметр		
1 a	номинальный ток двигателя, А	...	
2 b	коэффициент запаса	...	

Выходные параметры

Наименование	Параметр		
1 y	номинальный выходной ток ПЧВ, А	...	

Рисунок 3 — Пример правил

## Тестирование МЭС для подбора ПЧВ

После создания классов, параметров, отношений и правил система была протестирована для того, чтобы убедиться в корректности её работы.

**Тест 1.** Подбор ПЧВ для управления двигателем с номинальным током 20 А, тип нагрузки – конвейер, напряжение питания – 380 В, есть возможность подключения дополнительных плат расширения. Результат теста 1 представлен на Рисунке 4.

The screenshot displays the testing environment with three main panels:

- Left Panel (Project Tree):** Shows a tree structure for 'Подбор ПЧВ' (PCHV Selection) with sub-items like 'вход' (input), 'выход' (output), and 'параметры при подборе' (selection parameters).
- Center Panel (Test Execution):** Shows the test configuration and results.
 

Объект	Значение	Найти
вход		
контроль обрыва ремня привода без датчика, да/нет	нет	<input type="checkbox"/>
наличие доп. опций расширения, да/нет	да	<input type="checkbox"/>
напряжение питания, В	380	<input type="checkbox"/>
номинальный ток двигателя, А	20	<input type="checkbox"/>
тип оборудования	конвейер	<input type="checkbox"/>
выход		
информ-е про мот.дроссели		<input checked="" type="checkbox"/>
информ-е про торм.резисторы		<input checked="" type="checkbox"/>
ПОДБОРАННАЯ МОДЕЛЬ ПЧВ	ПЧВ3-11К-В	<input checked="" type="checkbox"/>
параметры при подборе		
коэффициент запаса	1.1	<input checked="" type="checkbox"/>
мощность ПЧВ, кВт	11	<input checked="" type="checkbox"/>
номинальный выходной ток ПЧВ, А	22	<input checked="" type="checkbox"/>
серия ПЧВ	ПЧВ3	<input checked="" type="checkbox"/>
- Right Panel (Relations):** Lists various relations and rules used in the test, such as 'определение коэффициента запаса', 'у=a\*b', and 'расчет номинального выходного тока ПЧВ'.
- Bottom Panel (Console):** Shows the execution log with the following content:
 

```

[> 750 && b<=810] { c=450 }
Результат: мощность ПЧВ, кВт=11;

Шаг № 5
Отношение: информирование_2
Правило: инф_2
Входные параметры:
мощность ПЧВ, кВт=11;
Формула:
If (a > 30) (y = "для подключения тормозного резистора необходимо дополнительно использовать внешний тормозной модуль"); else (y = "");
Результат: информ-е про торм.резисторы = ;

Шаг № 6
Отношение: информирование_1
Правило: инф_1
Входные параметры:
мощность ПЧВ, кВт=11;
Формула:
If (a > 90) (y = "тормозные дроссели не предусмотрены"); else (y = "");
Результат: информ-е про мот.дроссели = ;
      
```

Рисунок 4 — Результат теста 1

Был подобран ПЧВЗ-11К-В. Коэффициент запаса был определен верно в соответствии с нагрузкой (конвейер), номинальный ток рассчитан верно в соответствии с формулой, выбрана серия ПЧВЗ, так как необходимо наличие дополнительных опций расширения. Модель ПЧВ и мощность определены верно в соответствии с имеющимися данными. Граф теста 1 представлен на Рисунке 5.

**Тест 2.** Подбор ПЧВ для управления двигателем с номинальным током 65 А, тип нагрузки – машина протяжки проволоки, напряжение питания – 380 В. Результат теста 1 представлен на Рисунке 6.

Был подобран ПЧВЗ-75К-В. Коэффициент запаса был определен верно в соответствии с нагрузкой (машина протяжки проволоки), номинальный ток рассчитан верно в соответствии с формулой. Модель ПЧВ и мощность определены верно в соответствии с имеющимися данными. Также есть информирование о том, что для подключения тормозного резистора необходимо дополнительно использовать внешний тормозной модуль, так как полученная мощность больше 30 кВт. Граф теста 2 представлен на Рисунке 7.

**Тест 3.** Подбор ПЧВ для управления двигателем с номинальным током 15 А, тип нагрузки – рубанок, напряжение питания – 380 В. Результат теста 3 представлен на Рисунке 8. В данном случае можно выбрать из двух ПЧВ: ПЧВ1-7К5-В или ПЧВЗ-7К5-В. Коэффициент запаса был определен верно в соответствии с нагрузкой (рубанок), номинальный ток рассчитан верно в соответствии с формулой. Модели ПЧВ и мощность определены верно в соответствии с имеющимися данными. Граф теста 3 представлен на Рисунке 9.

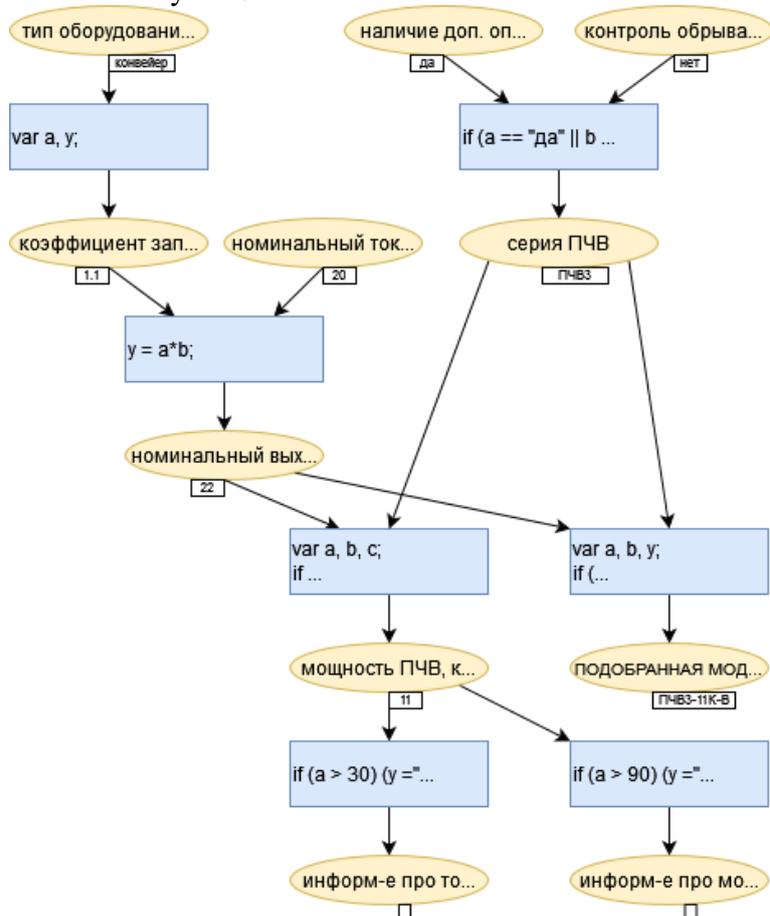


Рисунок 5 — Граф теста 1

Проект

Тест: Подбор ПЧВ

Объект

Подбор ПЧВ	Значение	Найти
вход		
контроль обрыва ремня привода без датчика, да/нет	нет	<input type="checkbox"/>
наличие доп. опций расширения, да/нет	нет	<input type="checkbox"/>
напряжение питания, В	380	<input type="checkbox"/>
номинальный ток двигателя, А	65	<input type="checkbox"/>
тип оборудования	машина протяжки	<input type="checkbox"/>
выход		
информ-е про мот.дрессели		<input checked="" type="checkbox"/>
информ-е про торм.резисторы	внешний торм	<input checked="" type="checkbox"/>
ПОДОБРАННАЯ МОДЕЛЬ ПЧВ	ПЧВ3-75К-В	<input checked="" type="checkbox"/>
параметры при подборе		
коэффициент запаса	1.7	<input checked="" type="checkbox"/>
мощность ПЧВ, кВт	75	<input checked="" type="checkbox"/>
номинальный выходной ток ПЧВ, А	110.5	<input checked="" type="checkbox"/>
серия ПЧВ		<input checked="" type="checkbox"/>

Отношение

Наименование

- определение коэффициента запаса
- коэффициент запаса
- $y = a \cdot b$
- расчет номинального выходно...
- определение серии ПЧВ\_1
- определение ПЧВ3
- определение мощности
- определение модели ПЧВ
- определение модели ПЧВ
- модель
- определение серии ПЧВ\_2
- определение ПЧВ1
- информирование\_1
- инф\_1
- информирование\_2
- инф\_2

Ошибки

Консоль

```

if (b > 750 && b <= 810) { c = 450; }
}
Результат: мощность ПЧВ, кВт = 75;

Шаг № 5
Отношение: информирование_2
Правило: инф_2
Входные параметры:
мощность ПЧВ, кВт = 75;
Формула:
if (a > 30) { y = "для подключения тормозного резистора необходимо дополнительно использовать внешний тормозной модуль"; } else { y = ""; }
Результат: информ-е про торм.резисторы=для подключения тормозного резистора необходимо дополнительно использовать внешний тормозной модуль;

Шаг № 6
Отношение: информирование_1
Правило: инф_1
Входные параметры:
мощность ПЧВ, кВт = 75;
Формула:
if (a > 90) { y = "некоторые дрессели не предусмотрены"; } else { y = ""; }
Результат: информ-е про мот.дрессели = ;

```

Рисунок 6 — Результат теста 2

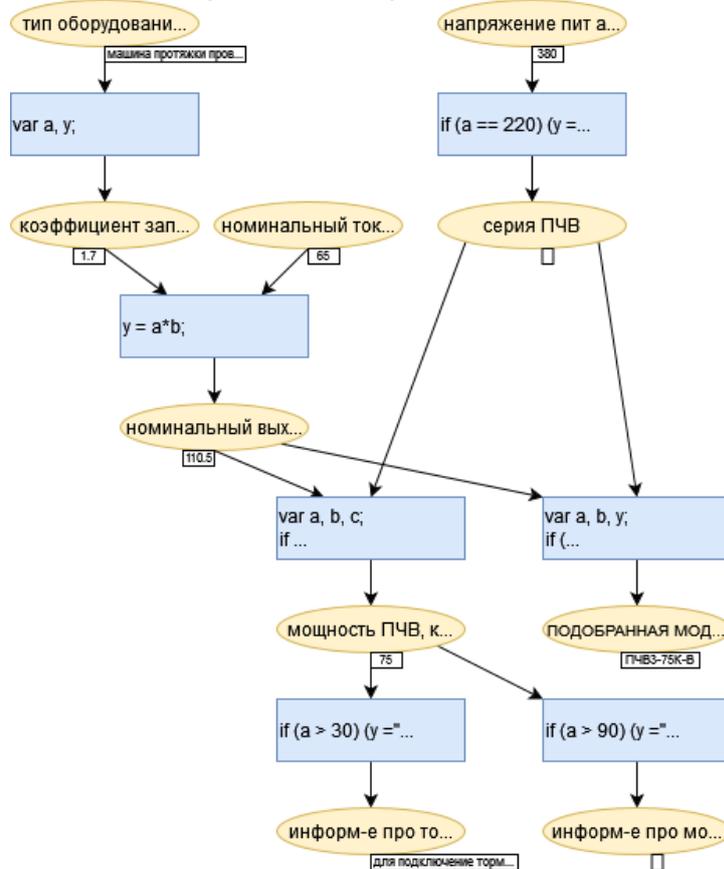


Рисунок 7 — Граф теста 2

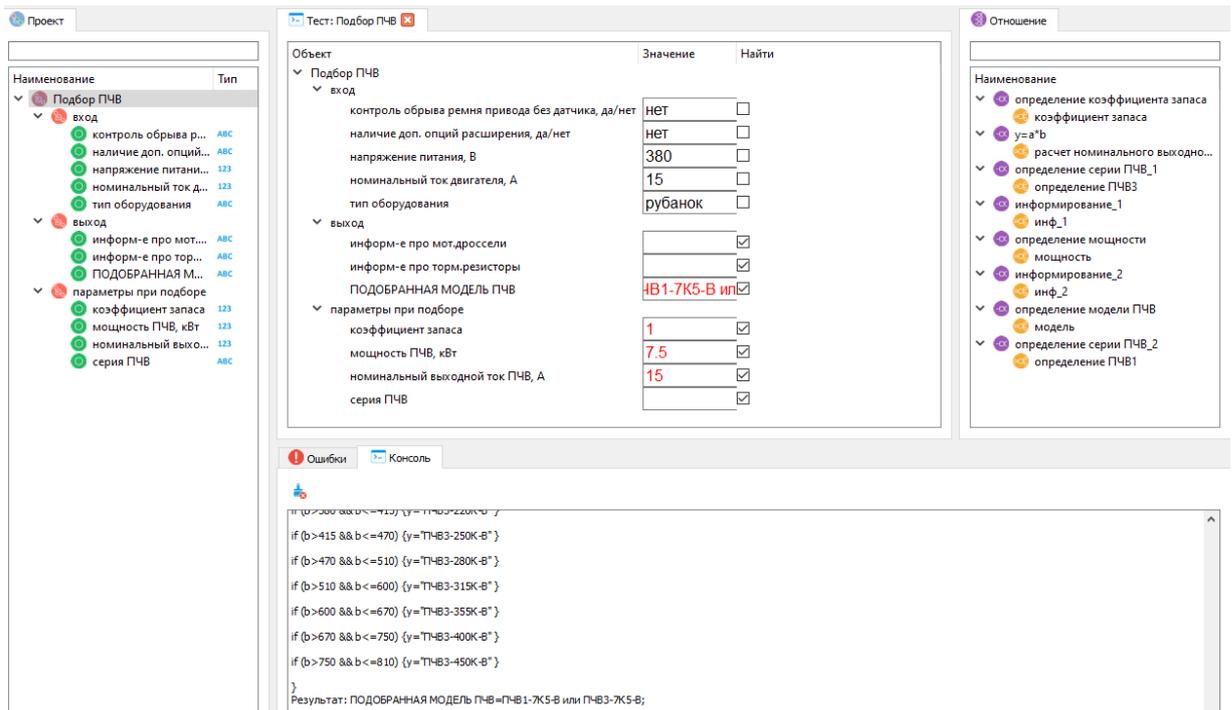


Рисунок 8 — Результат теста 3

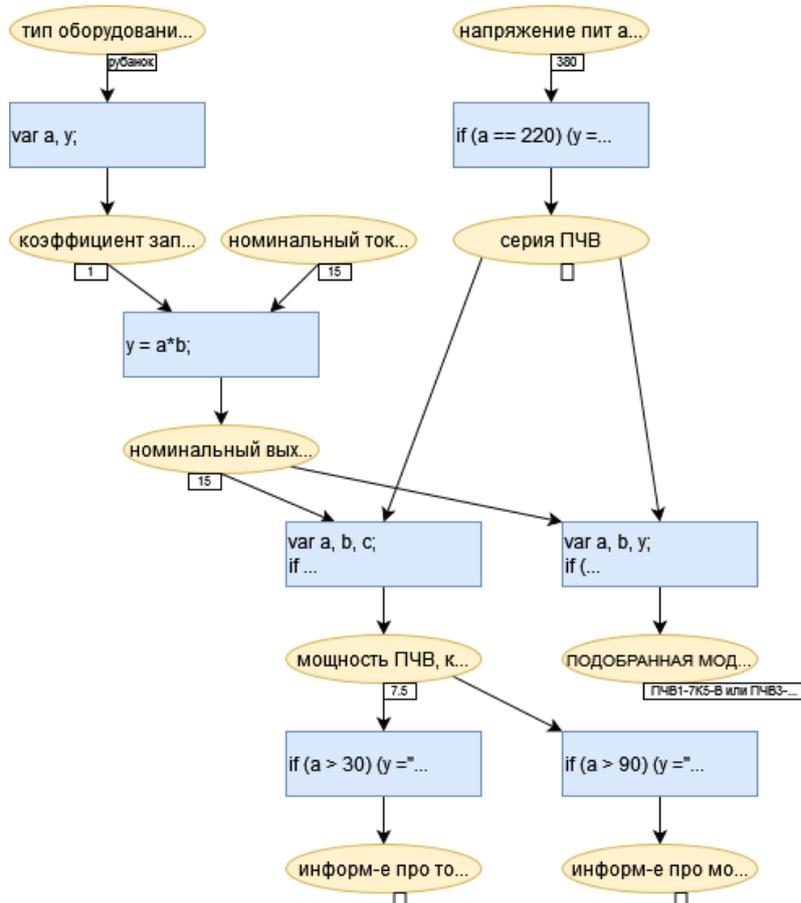


Рисунок 9 — Граф теста 3

## Заключение

Проведённое научное исследование показало, что применение миварной экспертной системы в области автоматизированного выбора частотного преобразователя является целесообразным и эффективным. Использование МЭС позволяет оптимизировать процесс подбора оборудования, снизить вероятность ошибок, повысить точность принимаемых решений и автоматизировать рутинные процессы, связанные с анализом технических параметров и требований к частотным преобразователям. Это, в свою очередь, ведёт к улучшению качества работы автоматизированных систем управления электроприводами.

Научная новизна работы состоит в создании новой математической модели предметной области подбора частотных преобразователей в формализме двудольных ориентированных графов миварных сетей, которые принято описывать в виде таблицы продукционных правил «Если, То». Миварная база знаний создается на основе такой таблицы правил, которая загружается в программный комплекс КЭСМИ Разуматор для создания миварной экспертной системы для автоматизации выбора частотного преобразователя.

В ходе реализации проекта выполнены следующие ключевые работы: проведён анализ предметной области выбора частотных преобразователей; разработано формализованное описание критериев выбора и параметров работы оборудования; создана миварная база знаний в виде табличного представления 75 правил миварной сети, описывающих процессы принятия решений в данной области; обоснован выбор традиционного для КЭСМИ Wi!Mi Разуматор версии 2.1 метода и алгоритмов решения задач автоматизированного выбора оборудования; реализована миварная сеть в программном комплексе КЭСМИ Wi!Mi Разуматор версии 2.1; проведено тестирование миварных моделей, что подтвердило корректность работы экспертной системы.

Эволюционное развитие созданной миварной экспертной системы обеспечивается её способностью к модификации: в любой момент времени возможно добавление, изменение или удаление правил, что позволяет системе адаптироваться к новым требованиям и условиям эксплуатации. В процессе выполнения проекта данный аспект был проверен на практике — по мере уточнения методик выбора частотных преобразователей в систему добавлялись новые правила, что подтверждает её гибкость и практическую ценность.

## Список литературы

1. Варламов О.О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство. М.: «Радио и связь», 2002. 286 с. EDN RWTCOP.
2. Коваленко А.В., Кондрахин С.С., Смыслов Д.О. МЭС по подбору игрового тренажера для развития навыков управления транспортным средством // МИВАР'24 : Сборник научных статей. Москва: ИНФРА-М, 2024. С. 67-72. EDN ZOHOUI.
3. Федюнев А.Ю., Нестеров Ю.Г., Правдина А.Д. МЭС для контроля микроклимата в оранжерее // МИВАР'24 : Сборник научных статей. Москва: ИНФРА-М, 2024. С. 107-112. EDN HSWYCSJ.
4. Старых Ф.А. МЭС оценки содержимого пакетных данных в локальной сети // МИВАР'24 : Сборник научных статей. Москва: ИНФРА-М, 2024. С. 102-106. EDN FKVQMO.
5. Подопрigorova Н.С., Козырев С.А., Подопрigorova С.С. и др. Разработка миварной экспертной системы для выбора алгоритма консенсуса распределённых реестров // Проблемы искусственного интеллекта. 2024. № 4(35). С. 126-138. DOI 10.24412/2413-7383-2024-4-126-138. EDN AVXOTO.
6. Ovchinnikov D.A., Milevich A.A., Fonin M.A. et al. MES for improving the segmentation of trees from a point cloud // MIVAR'24, 2024. P. 293-297. EDN NOGUPU.

7. Коценко А.А. Анализ применения для АСУТП миварных сетей в формате двудольных и трехдольных графов // МИВАР'24 : Сборник научных статей. Москва: ИНФРА-М, 2024. С. 432-438. EDN GLJGZV.
8. Хабчаева А.Р., Чежегова П.А. и др. МЭС для категорирования КИИ в АСУТП // МИВАР'24 : Сборник научных статей. Москва: ИНФРА-М, 2024. С. 37-41. EDN VEAGPO.
9. Штрак А.А. Миварная база знаний для автоматизации исследования открытого артериального протока и слуха // МИВАР'24 : Сборник научных статей. Москва: ИНФРА-М, 2024. С. 548-556. EDN SXPYDW.
10. Клинова В.К. МБЗ портативного спирометра для обеспечения индивидуального контроля функций внешнего дыхания // МИВАР'24 : Сборник научных статей. Москва: ИНФРА-М, 2024. С. 557-561. EDN GHUNIK.
11. Аброчнов Е.С., Соловьева А.М., Макеев В.А. и др. МЭС подбора полезных продуктов // МИВАР'24 : Сборник научных статей. Москва: ИНФРА-М, 2024. С. 536-542. EDN MRVKXS.
12. Торжков М.С., Королева Ю.П., Балдин А.В. и др. Создание миварной экспертной системы для выполнения этических аспектов искусственного интеллекта для скоринга кредитования // Проблемы искусственного интеллекта. 2024. № 4(35). С. 139-150. DOI 10.24412/2413-7383-2024-4-139-150. EDN BHOQXX.
13. Абдрашитова А.Н., Вардумян А.Т., Головацкий А.Д. и др. Облачная система создания МБЗ // МИВАР'24 : Сборник научных статей. Москва: ИНФРА-М, 2024. С. 455-459. EDN LKDKGC.
14. Варламов О.О., Егоров С.А. Развитие миварных технологий смысловой обработки потоков текстовых данных // Мивар'22 : Сборник научных статей. Москва : Издательский Дом "Инфра-М", 2022. С. 194-212. EDN PBFFTZ.
15. Семенов А. А. Исследование способов подбора рекламных кампаний на основе сравнения многомерных векторов // Проблемы искусственного интеллекта. 2020. № 1(16). С. 89-104. EDN UEBEPL.
16. Chuvikov D. A. et al. 3D Modeling and 3D Objects Creation Technology Analysis for Various Intelligent Systems // International Journal of Advanced Studies. 2014. Vol. 4, No. 4. P. 16-22. DOI 10.12731/2227-930X-2014-4-3. EDN TEBOFL.
17. Владимиров А.Н., Носов А.В., Потапова Т.С. Применение многопроцессорного вычислительного кластера НИИР для распараллеливания алгоритмов в научно-технических и вычислительных задачах // Труды НИИ Радио. 2009. № 3. С. 120-123. EDN KYNLNN.
18. Chuvikov D. A. et al. A new method for creating Mivar knowledge bases in tabular-matrix form for ground intelligent vehicle control systems // Journal of Physics: Conference Series : International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering. 2021. P. 012123. DOI 10.1088/1742-6596/2061/1/012123. EDN SLARYS.
19. Aladin D. V. et al. Creating a "Logical intelligent plant care system" in digital agriculture based on Mivar approach // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022. P. 012004. DOI 10.1088/1755-1315/954/1/012004. EDN HODWVY.
20. Варламов О.О. Создание Больших Знаний и расширение областей применения миварных технологий логического искусственного интеллекта // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2023. № 4(32). С. 30-41. DOI 10.25729/ESI.2023.32.4.003. EDN THBEWN.
21. Варламов О.О. 2024: обзор областей применения миварных технологий ЛИИ // МИВАР'24 : Сборник научных статей. Москва: ИНФРА-М, 2024. С. 7-15. EDN ATMAZU.

## References

1. Varlamov O. O. Evolutionary databases and knowledge for adaptive synthesis of intelligent systems. Mivar information space. Moscow: "Radio and communication", 2002. 286 p. EDN RWTCOP.
2. Kovalenko A.V., Kondrakhin S.S., Smyslov D.O. MES on selection of game simulator for development of vehicle driving skills // MIVAR'24: Collection of scientific articles. Moscow: INFRA-M, 2024. pp. 67-72. EDN ZOYOUI.
3. Fedyunев A.Yu., Nesterov Yu.G., Pravdina A.D. MES for monitoring the microclimate in a greenhouse // MIVAR'24: Collection of scientific articles. Moscow: INFRA-M, 2024. pp. 107-112. EDN HSWY CJ.
4. Starykh F.A. MEV for assessing the contents of packet data in a local network // MIVAR'24: Collection of scientific articles. Moscow: INFRA-M, 2024. pp. 102-106. EDN FKVQMO.
5. Podoprigrorova N.S., Kozyrev S.A., Podoprigrorova S.S. et al. Development of a mivar expert system for selecting a consensus algorithm for distributed registries // Problems of Artificial Intelligence. 2024. No. 4(35). Pp. 126-138. DOI 10.24412/2413-7383-2024-4-126-138. EDN AVXOTO.

6. Ovchinnikov D.A., Milevich A.A., Fonin M.A. et al. MES for improving the segmentation of trees from a point cloud // MIVAR'24, 2024. pp. 293-297. EDN NOGUPU.
7. Kotsenko A.A. Analysis of application of mivar networks in the format of bipartite and tripartite graphs for automated process control systems // MIVAR'24: Collection of scientific articles. Moscow: INFRA-M, 2024. pp. 432-438. EDN GLJGZV.
8. Khabchaeva A.R., Chezhegova P.A. et al. MES for categorizing critical information infrastructure in automated process control systems // MIVAR'24: Collection of scientific articles. Moscow: INFRA-M, 2024. pp. 37-41. EDN VEAGPO.
9. Shtrak A.A. Mivar knowledge base for automating the study of patent ductus arteriosus and hearing // MIVAR'24: Collection of scientific articles. Moscow: INFRA-M, 2024. pp. 548-556. EDN SXPYDW.
10. Klinova V.K. MBZ of a portable spirometer for ensuring individual monitoring of external respiration functions // MIVAR'24: Collection of scientific articles. Moscow: INFRA-M, 2024. pp. 557-561. EDN GHUNIK.
11. Abrochnov E.S., Solovieva A.M., Makeev V.A. et al. MES for selection of useful products // MIVAR'24: Collection of scientific articles. Moscow: INFRA-M, 2024. pp. 536-542. EDN MRBKXC.
12. Torzhkov M.S., Koroleva Yu.P., Baldin A.V. et al. Creation of a mivar expert system for ethical aspects of AI in credit scoring // Problems of Artificial Intelligence. 2024. No. 4(35). Pp. 139-150. DOI 10.24412/2413-7383-2024-4-139-150. EDN BHOQXX.
13. Abdrashitova A.N., Vardumyan A.T., Golovatsky A.D. et al. Cloud system for creating MBZ // MIVAR'24: Collection of scientific articles. Moscow: INFRA-M, 2024. pp. 455-459. EDN LKDKGC.
14. Varlamov O.O., Egorov S.A. Development of mivar technologies for semantic processing of text data flows // MIVAR'22: Collection of scientific articles. Moscow: INFRA-M, 2022. Pp. 194-212. EDN PBFFTZ.
15. Semenov A.A. Study of methods for selecting advertising campaigns based on multidimensional vector comparison // Problems of Artificial Intelligence. 2020. No. 1(16). Pp. 89-104. EDN UEBEPL.
16. Chuvikov D. A. et al. 3D Modeling and 3D Objects Creation Technology Analysis for Various Intelligent Systems // International Journal of Advanced Studies. 2014. Vol. 4, No. 4. P. 16-22. DOI 10.12731/2227-930X-2014-4-3. EDN TEBOFL.
17. Vladimirov A.N., Nosov A.V., Potapova T.S. Application of the multiprocessor computing cluster of the FSBI NII Radio or NIIR for parallelization of algorithms in scientific, technical and computational tasks // Proceedings of the Radio Research Institute. 2009. No 3. Pp. 120-123. EDN KYNLNN.
18. Chuvikov D. A. et al. A new method for creating Mivar knowledge bases in tabular-matrix form for ground intelligent vehicle control systems // Journal of Physics: Conference Series : International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering. 2021. P. 012123. DOI 10.1088/1742-6596/2061/1/012123. EDN SLARYS.
19. Aladin D. V. et al. Creating a "Logical intelligent plant care system" in digital agriculture based on Mivar approach // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022. P. 012004. DOI 10.1088/1755-1315/954/1/012004. EDN HODWVY.
20. Varlamov O.O. Creation of Great Knowledge and expansion of the fields of application of mivar technologies of logical artificial intelligence // Information and mathematical technologies in science and management. 2023. No. 4(32). Pp. 30-41. DOI 10.25729/ESI.2023.32.4.003. EDN THBEWN.
21. Varlamov O.O. 2024: Review of Application Areas of LII MIVAR Technologies // MIVAR'24: Collection of Scientific Articles. Moscow: INFRA-M, 2024. Pp. 7-15. EDN ATMAZU.

## RESUME

*Timakova A.A., Smiryagin V.A., Kurnasov E.V., Vyskub V.G., Mutin D.I.*

### **CREATION OF A MIVAR EXPERT SYSTEM FOR AUTOMATION OF FREQUENCY CONVERTER SELECTION**

A significant number of scientific works are devoted to the issues of research of smart automated systems. The present study for the first time substantiates the possibility of using mivar technologies of logical artificial intelligence to intellectualize the processes of selection and tuning of frequency converters. The main innovation of the work is the creation of a mivar expert system (MES) for automation of frequency converter selection in various technological processes. A new approach to the application of methods of scientific specialty "system analysis, control and information processing" in this applied area is substantiated and practically demonstrated.

The conducted scientific research has shown that the use of mivar expert system in the field of automated selection of frequency converter is reasonable and effective. The use of MES allows to optimize the process of equipment selection, reduce the probability of errors, improve the accuracy of decisions and automate routine processes associated with the analysis of technical parameters and requirements for frequency converters. This, in turn, leads to the improvement of the quality of work of automated control systems of electric drives.

In the course of the project implementation the following key works were performed: system analysis of the subject area of frequency converters selection was carried out; a formalized description of selection criteria and equipment operation parameters was developed; a mivar knowledge base was created in the form of a tabular representation of 75 mivar network rules describing decision-making processes in this area; the choice of a method and algorithms for solving problems of automated equipment selection, traditional for Wi!Mi Razumator version 2.1, was justified; a mivar network was implemented in the software Wi!Mi Razumator.

Evolutionary development of the created mivar expert system is ensured by its ability to modify: at any moment of time it is possible to add, change or delete rules, which allows the system to adapt to new requirements and operating conditions. In the course of the project implementation this aspect was tested in practice - as the methods of frequency converters selection were refined, new rules were added to the system, which confirms its flexibility and practical value.

*Тимакова А.А., Смирязин В.А., Курнасов Е.В., Выскуб В.Г., Мутин Д.И.  
Создание миварной экспертной системы для автоматизации выбора  
частотного преобразователя*

Исследованию умных автоматизированных систем посвящено значительное количество научных работ. Настоящее исследование впервые обосновывает возможность применения миварных технологий логического ИИ для интеллектуализации процессов выбора и настройки частотных преобразователей. Основным нововведением работы является создание миварной экспертной системы (МЭС) для автоматизации выбора частотного преобразователя в различных технологических процессах. Обоснован и практически продемонстрирован новый подход к применению методов научной специальности «системный анализ, управление и обработка информации» в данной прикладной области.

Проведённое научное исследование показало, что применение миварной экспертной системы в области автоматизированного выбора частотного преобразователя является целесообразным и эффективным. Использование МЭС позволяет оптимизировать процесс подбора оборудования, снизить вероятность ошибок, повысить точность принимаемых решений и автоматизировать рутинные процессы, связанные с анализом технических параметров и требований к частотным преобразователям. Это, в свою очередь, ведёт к улучшению качества работы автоматизированных систем управления электроприводами.

Научная новизна работы состоит в создании новой математической модели предметной области подбора частотных преобразователей в формализме двудольных ориентированных графов миварных сетей, которые принято описывать в виде таблицы продукционных правил «Если, То». Миварная база знаний создается на основе такой таблицы правил, которая загружается в программный комплекс КЭСМИ Разуматор для создания миварной экспертной системы для автоматизации выбора частотного преобразователя.

В ходе реализации проекта выполнены следующие ключевые работы: проведён анализ предметной области выбора частотных преобразователей; разработано формализованное описание критериев выбора и параметров работы оборудования; создана миварная база знаний в виде табличного представления 75 правил миварной сети, описывающих процессы принятия решений в данной области; обоснован выбор традиционного для КЭСМИ Wi!Mi Разуматор версии 2.1 метода и алгоритмов решения задач автоматизированного выбора оборудования; реализована миварная сеть в программном комплексе КЭСМИ Wi!Mi Разуматор версии 2.1; проведено тестирование миварных моделей, что подтвердило корректность работы экспертной системы.

Эволюционное развитие созданной миварной экспертной системы обеспечивается её способностью к модификации: в любой момент времени возможно добавление, изменение или удаление правил, что позволяет системе адаптироваться к новым требованиям и условиям эксплуатации. В процессе выполнения проекта данный аспект был проверен на практике — по мере уточнения методик выбора частотных преобразователей в систему добавлялись новые правила, что подтверждает её гибкость и практическую ценность.

**Тимакова Анастасия Анатольевна**, студент Института искусственного интеллекта РТУ МИРЭА, г. Москва, Россия, [nastya.1227@yandex.ru](mailto:nastya.1227@yandex.ru)

Область научных интересов: искусственный интеллект, миварные технологии логического искусственного интеллекта, умные производственные системы, обработка информации, распознавание образов, кибернетика

**Смирягин Вадим Анатольевич**, студент Института искусственного интеллекта РТУ МИРЭА, г. Москва, Россия, [wertu1505@yandex.ru](mailto:wertu1505@yandex.ru)

Область научных интересов: искусственный интеллект, миварные технологии логического искусственного интеллекта, умные производственные системы, обработка информации, распознавание образов, кибернетика

**Курнасов Евгений Вячеславович**, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной информатики Института искусственного интеллекта РТУ МИРЭА, г. Москва, Россия, [kurnasv@mirea.ru](mailto:kurnasv@mirea.ru)

Область научных интересов: искусственный интеллект, предиктивный анализ данных, системная интеграция в области промышленной автоматизации и управления, разработка интеллектуальных систем управления технологическими объектами и процессами, умные IT-решения для промышленности.

**Выскуб Виктор Гаврилович**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник АО НИИ «Вычислительных комплексов», г. Москва, Россия, [Vyskub08@mail.ru](mailto:Vyskub08@mail.ru)

Область научных интересов: научно-техническая экспертиза, оценка проектов, искусственный интеллект, экспертные системы, логика, миварные технологии логического искусственного интеллекта, обработка информации, принятие решений, распознавание образов, понимание естественного языка, кибернетика, автономные робототехнические комплексы.

**Мутин Денис Игоревич**, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник АО «НИИ «Вычислительных комплексов»», г. Москва, Россия, [mutin@niivk.ru](mailto:mutin@niivk.ru)

Область научных интересов: вычислительные комплексы, искусственный интеллект, экспертные системы, логика, миварные технологии логического искусственного интеллекта, обработка информации, принятие решений, распознавание образов, понимание естественного языка, кибернетика.

Статья поступила в редакцию 10.06.2025