

УДК 004.891+ 007.52 + 004.896 + 681.518 + 65.011.56 DOI 10.24412/2413-7383-43-57

А. Н. Демидов¹, В. Д. Черненко¹, М. К. Вотинцев¹, А. В. Балдин^{2,3}, С. А. Сорокин^{1,2}

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

²Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана
105005, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр.1, Москва, Россия

³АО НИИ Вычислительных комплексов им. М. А. Карцева,
117437, ул. Профсоюзная, д. 108, Москва, Россия

МИВАРНАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ КОЛЕСНЫХ ДИСКОВ

A. N. Demidov¹, V. D. Chemenko¹, M. K. Votintsev¹, A. V. Baldin^{2,3}, S. A. Sorokin^{1,2}

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

²Bauman Moscow State Technical University
105005, 2-ya Baumanskaya st., bld. 5, building 1, Moscow, Russia

³JSC M. A. Kartsev Research Institute of Computing Systems,
117437, Profsoyuznaya st., bld. 108, Moscow, Russia

MIVAR EXPERT SYSTEM FOR INTELLECTUALIZATION OF AUTOMOBILE WHEEL DISKS PRODUCTION

Обосновано, что в области умных производственных систем производства колесных автомобильных дисков возможно и целесообразно создание миварной экспертной системы (МЭС). Выполнен системный анализ предметной области, разработано формализованное описание предметной области, создана миварная база знаний в виде табличного представления 66 правил миварной сети описания процессов принятия решений и обработки информации при производстве колесных автомобильных дисков. Миварная экспертная система реализована в специальном математическом обеспечении КЭСМИ Wi!Mi Разуматоре версии 2.1. Проведено успешное тестирование миварных моделей предметной области умных производственных систем производства колесных автомобильных дисков.

Ключевые слова: мивар, искусственный интеллект, умные производственные системы, миварные экспертные системы, КЭСМИ Wi!Mi РАЗУМАТОР, миварные технологии, системный анализ, обработка информации, управление, принятие решений, производство автомобильных колесных дисков.

It is substantiated that in the field of smart production systems for the production of wheel rims, it is possible and advisable to create a mivar expert system (MES). A system analysis of the subject area was performed, a formalized description of the subject area was developed, a mivar knowledge base was created in the form of a tabular representation of 66 rules for the mivar network for describing decision-making processes and information processing in the production of wheel rims. The mivar expert system has been implemented in the special mathematical software Wi!Mi Razumator version 2.1. Successful testing of mivar models of the subject area of smart production systems for the production of wheel rims has been carried out.

Keywords: mivar, artificial intelligence, smart production systems, mivar expert systems, Wi!Mi Razumator, mivar technologies, system analysis, information processing, management, decision making, production of automobile wheel disks.

Введение

В настоящее время активно развивается научно-практическое направление «Умные производственные системы» (УмПС) для которых используют методы и модели искусственного интеллекта (ИИ). УмПС могут быть полезны для производства колесных дисков. С другой стороны, в области ИИ продолжают научные исследования по развитию миварных технологий [1] логического ИИ, которые широко используются во многих областях науки и техники. Например, миварные технологии только в 2024 году применяли: в робототехнике для динамического планирования траекторий роботов [2], включая и трехмерное пространство [3], для создания программной платформы для систем принятия роботов [4] с возможностью ее реализации на процессорах Эльбрус [5], подбора тренажеров операторов транспортных средств [6] и для контроля микроклимата в оранжерее [7]; в области понимания и распознавания образов для принятия решений при обнаружении падения людей [8]; в области технической поддержки по обеспечению функционирования высоконагруженного безотказного кластера [9], оценки содержимого пакетных данных в локальной сети [10] и для выбора алгоритма консенсуса распределённых реестров [11]; в области создания миварных баз знаний (МБЗ) с использованием облачных технологий [12] и больших лингвистических моделей [13], включая и возможности автоматического создания МБЗ [14]. Ранее в медицине [15] миварные технологии применяли для анализа термолабильных компонентов крови [16], а также для трехмерного моделирования [17].

Для области умных производственных систем наиболее важное значение имеет опыт применения миварных технологий в робототехнике [3-6], включая и ранее полученные результаты по уходу за растениями в теплицах [18] и планирование действий на примере MIPRA [19]. Следовательно, исследование по применения технологий ИИ для умных производственных систем по производству колесных дисков целесообразно проводить в рамках создания Больших Знаний и расширения областей внедрения миварных технологий ИИ [20]. Цель нашей работы состоит в создании МЭС для повышения интеллектуализации умных производственных систем по производству колесных дисков. Таким образом, тема работы актуальна и имеет важное практическое значение.

Постановка задачи

Для успешного создания миварной экспертной системы (МЭС) в области умных производственных систем, необходимо выполнить решить следующие задачи:

- 1) провести системный анализ предметной области в плане принятия решений, обработки информации и ИИ;
- 2) формализовать описание предметной области;
- 3) разработать в виде табличного представления модель описания принятия решений, обработки информации и ИИ в предметной области в формализме миварных сетей – двудольных ориентированных графов, т.е. создание миварной базы знаний (МБЗ) в виде табличного представления;
- 4) 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);
- 5) провести тестирование полученных миварных моделей предметной области умных производственных систем.

Перейдем к созданию МЭС в области УмПС по производству колесных дисков.

Системный анализ промышленного объекта по производству колесных дисков

Прежде всего, проанализируем описание производства и самого изготавливаемого изделия [21]: штампованные диски. Такие диски создают из эластичной, прочной стали по методу штамповки: отсюда название. Изделие состоит из:

1) обода – длинного, плоского стального листа, свернутого в круг. В месте стыка он сваривается: должна получиться гладкая поверхность. Обод кладут под пресс, чтобы он приобрел нужную форму. Затем надо отшлифовать цилиндр, соединить его со вторым элементом.

2) тарелки – под прессом отдельно в ней создают ребра жесткости, отверстия, предотвращающие перегрев колес. В центре тарелки также делают углубление – в этом месте крепится ступица с диском (потребуется шпильки, болты).

В изготовлении штампованных дисков [21] используется листовая сталь, поставляемая на заводы в бухтах. Бухту разматывают и режут на заготовки индивидуально для каждого типоразмера. Из каждой заготовки методом вальцовки, прессования и сварки изготавливают полуфабрикат, который профилируют и придают профиль обода колесного диска. На сборочной линии спицы впрессовывают в обод и сваривают методом точечной 4х-тактной сварки в среде углекислого газа. Готовый колесный диск проверяют на соответствие требованиям качества и затем на его поверхность наносят защитно-декоративное покрытие.

После этого надо нагреть обод горелкой, установить в крепежные отсеки тарелку. В завершение работы необходимо сделать отверстие для ниппеля и покрыть диск антикоррозийной краской.

Исходя из категорий колесных дисков, диаметра и производственных процессов, выделяют линии по производству малых, больших и очень больших колесных дисков. Виды обработки на линиях устанавливаются согласно требованиям заказчика.

Для примера рассмотрим линию по производству колесных дисков для пассажирского автомобиля со следующими характеристиками.

Диаметр: 12~17 дюймов. Ширина: 3-10 дюймов. Толщина листовой стали: ≤ 4 мм.

Схема процессов на линиях по производству стальных колесных дисков приведена на рисунке 1 и зависит от листовой стали, используемой заказчиком. Эти линии используют листовую сталь, отрезанную на заданную длину поставщиком.

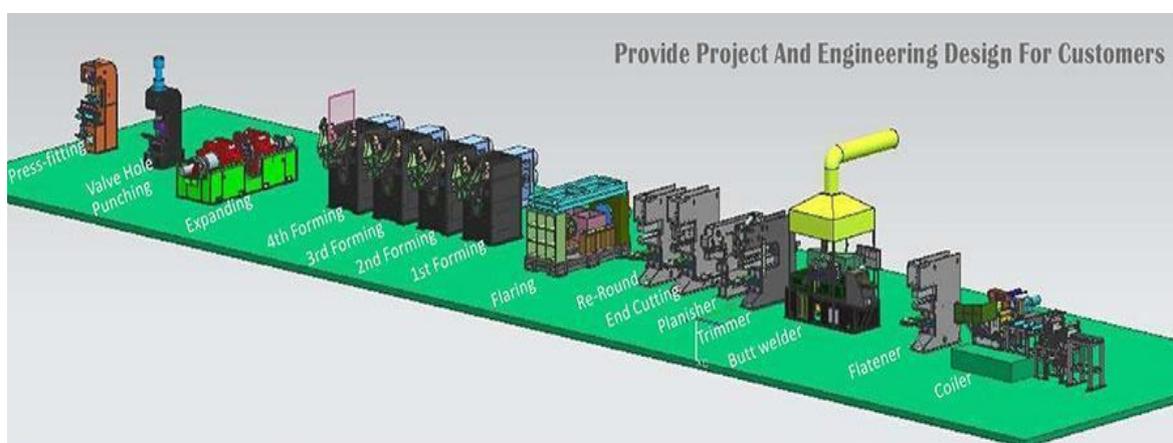


Рисунок 1 - Линия производства стальных колесных дисков

В начале технологического процесса, поставляется лист стали. Далее работник отправляет его на станок для формирования обода. Сначала осуществляется подача, удаление заусенцев и штамповка, затем листовая сталь поступает на стадию гибки обечайки. После чего они отправляются сварочный станок, где происходит расплющивание и сварка стыков.

На следующем этапе происходит зачистка, прокатка, обрезка сварочного шлака с торцов. После обработки сварного шва, охлаждения и придания цилиндричности, горизонтальные развальцовочные машины осуществляют расширение обечайки на конус с обоих торцов. Потом происходит этап профилирования. На следующем этапе происходит экспандирования, которая позволяют увеличить размер колесных ободьев после завершения профилирования. После экспандирования идет тестирование газонепроницаемости проводится для гарантии качества сварки и уменьшения утечки воздуха, пробивание отверстий для вентиля проводится после профилирования. Затем происходит запрессовывание диска в обод и сварка. Колесо с шиной в сборе формирует воздухонепроницаемый элемент, воспринимающий вес транспортного средства и передающий силу.

Колесные диски используются для соединения между ободом и ступицей колеса и передачи мощности от двигателя. Обычно колесные ободья и диски для легковых и грузовых автомобилей соединяются с помощью сварки. Описание технологической линии производства показано на рисунке 2, а схема декомпозиции технологического процесса на рисунке 3.

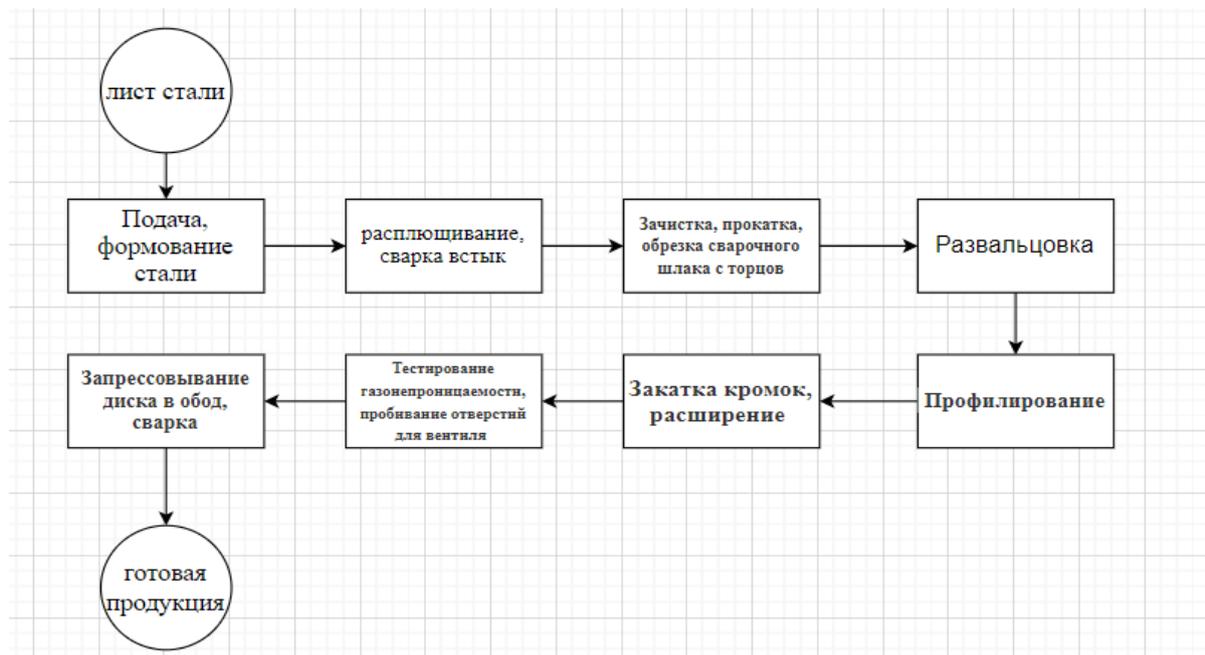


Рисунок 2 – Описание технологической линии производства



Рисунок 3 – Схема декомпозиции технологического процесса

Алгоритм работы системы управления объектом выглядит следующим образом:

1.Инициализация системы:

Запуск контроллера и загрузка конфигурационных параметров.

Проверка связи с датчиками и исполнительными устройствами.

Мониторинг:

Сбор данных с датчиков.

Анализ полученных данных для определения текущего состояния процесса.

2.Принятие решений в зависимости от значений, полученных датчиками:

Сравнение данных с заданными параметрами процесса.

Определение необходимости корректировки процесса.

3.Управление исходя из заданных параметров и полученных в ходе работы данных:

Отправка команд исполнительным устройствам.

Обратная связь:

Получение информации о результатах выполненных действий.

Корректировка алгоритма управления на основе обратной связи.

4.Логирование и анализ:

Запись данных о работе системы для последующего анализа.

Выявление возможных проблем и оптимизация процесса.

Аварийные ситуации.

5.Определение аварийных ситуаций по данным датчиков.

Активация защитных механизмов и остановка процесса при необходимости.

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

Проведенный анализ предметной области позволил выявить следующие основные правила принятия решений в формате «Если – То» по процессам, часть из которых показана ниже (полный перечень занимает много места и не может быть приведен из-за ограничений на объем текста):

1. С1 Подача листовой стали:

- Если Толщина листовой стали соответствует норме (например, $5 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$), то продолжить работу.
- Если толщина превышает норму, то отклонить лист и уведомить контроль качества.
- Если толщина меньше нормы, то отклонить лист и уведомить контроль качества.

2. С2 Удаление заусенцев с обеих сторон:

- Если заусенцы удалены полностью и поверхность гладкая, то продолжить процесс.
- Если заусенцы остались, то повторить процесс до их полного удаления.
- Если поверхность повреждена, то отклонить деталь и уведомить контроль качества.

3. С3 Штамповка маркировки:

- Если маркировка четкая и соответствует требованиям, то продолжить процесс.
- Если маркировка нечеткая или отсутствует, то повторить штамповку.
- Если маркировка неверная, то отклонить деталь и уведомить контроль качества.

4. С4 Гибка обечайки:

- Если угол изгиба соответствует норме (например, $90^\circ \pm 2^\circ$), то продолжить процесс.
- Если угол превышает норму, то откорректировать процесс гибки.
- Если угол меньше нормы, то повторить гибку.

5. С5 Расплющивание сварного стыка:

- Если сварной шов расплющен до нужной толщины (например, $3 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$), то продолжить процесс.
- Если толщина превышает норму, то откорректировать процесс.
- Если толщина меньше нормы, то повторить расплющивание.

6. К1 Стыковая сварка оплавлением на переменном токе:

- Если параметры сварки (ток, напряжение) в пределах нормы, то продолжить сварку.
- Если параметры превышают норму, то остановить процесс и откорректировать настройки.
- Если параметры ниже нормы, то остановить процесс и откорректировать настройки.

Модель описания принятия решений, обработки информации и ИИ в предметной области в формализме миварных сетей

Научная новизна работы заключается в том, что на основании системного анализа формализованного описания УмПС создана новая математическая модель в формате миварной базы знаний (МБЗ), которая включает 66 правил и ее фрагмент представлен в таблице 1. Напомним, что МБЗ представляет собой [20] набор правил формата «Если, То», которые применяются в данной предметной области. Миварные экспертные системы обладают свойством эволюционности и в любой момент времени могут быть добавлены, изменены или удалены как параметры (объекты), так и правила (отношения) миварной сети – двудольного ориентированного графа описания предметной области.

Таблица 1.

Правило	Класс	Если	То
1	C1	Толщина листовой стали соответствует норме (например, 5 мм ± 0,1 мм)	Не меняем состояние (C1=1)
2	C1	Толщина превышает норму	Отклонить лист и уведомить контроль качества (C1=0)
3	C1	Толщина меньше нормы, то отклонить лист и уведомить контроль качества	Отклонить лист и уведомить контроль качества (C1=0)
4	C2	Заусенцы удалены полностью и поверхность гладкая	Переход на следующий этап
5	C2	Заусенцы остались	Повторить процесс удаления (C2=1)
6	C2	Поверхность повреждена	То отклонить деталь и уведомить контроль качества (C2=0)
16	K1	Параметры сварки (ток, напряжение) в пределах нормы	Продолжить сварку
17	K1	Параметры превышают норму	Остановить процесс и откорректировать настройки
18	K1	Параметры ниже нормы	Остановить процесс и откорректировать настройки
37	P1	Профиль соответствует заданным параметрам	Продолжить процесс
38	P1	Профиль не соответствует	Откорректировать процесс
39	P1	Детали повреждены	Уведомить контроль качества
49	K8	Кромки закатаны до нужной толщины	Продолжить процесс
50	K8	Толщина превышает норму	Откорректировать процесс
51	K8	Толщина меньше нормы	Повторить закатку
52	K9	Диаметр соответствует норме	Продолжить процесс
53	K9	Диаметр превышает норму	Откорректировать процесс
54	K9	Диаметр меньше нормы	Повторить расширение
55	K10	Отверстия пробиты в нужных местах и соответствуют норме	Продолжить процесс
56	K10	Отверстия пробиты неверно	Повторить пробивание

Правило	Класс	Если	То
57	K10	Отверстия повреждены	Отклонить деталь и уведомить контроль качества
58	K11	Диск запрессован до нужного уровня	Продолжить процесс
59	K11	Уровень превышает норму	Откорректировать процесс
60	K11	Уровень ниже нормы	Повторить запрессовывание
61	K12	Параметры сварки в пределах нормы	Продолжить сварку
62	K12	Параметры превышают норму	Откорректировать процесс
63	K12	Параметры ниже нормы	Откорректировать процесс
64	K13	Все болты затянуты до нужного момента	Завершить процесс
65	K13	Болты затянуты с превышением момента	Откорректировать
66	K13	Болты недотянуты	Повторить затяжку

В качестве метода решения задач принятия решений и обработки информации для УмПС выберем те, которые реализованы в КЭСМИ. Выполним реализацию миварной сети предметной области в специальном математическом и алгоритмическом обеспечении систем принятия решений, обработки информации и ИИ в КЭСМИ Wi!Mi Разуматоре версии 2.1. Приведем фрагмент формальной математической модели миварной сети предметной области, т.к. полное описание составляет более тысячи строк таких формул.

```

</model> <rules>
  <rule id="00684548-d959-4ade-b42b-e63dfb6321ee" shortName="K11"
    relation="6718f36e-b7aa-4972-8291-e0c2be310b81" resultId="B:1a092943-8aab-
    424a-9114-b27a23003ca3;C:aca6e278-af10-4460-bddc-a604d5212ab8"
    initId="A:d8dd5fc4-d770-4a04-bf6e-2239359675c7"/>
  <rule id="00bcb56c-e2d9-45ff-b36c-d32c4a32847f" shortName="K10"
    relation="8f051a69-8b89-485c-9450-e0cf7ab3ab80" resultId="B:a9c0e334-b03b-
    48f1-adad-3c91ff4114ec;C:aca6e278-af10-4460-bddc-a604d5212ab8"
    initId="A:1d99d167-f5d6-4bd1-9edc-bae5d284eefe" description="Если отверстия
    пробиты неверно, то повторить пробивание."/>
  <classes>
    <class id="1626271d-f675-4f6a-9c27-31529e20ce88" shortName="22.
    Соединение диска и обода болтами">
      <parameters>
        <parameter id="15aea826-aaf2-42b3-be50-fcddf0dbd9b1"
          shortName="Если все болты затянуты до нужного момента, то
          завершить процесс." defaultValue="0.00" type="double"/>
        <parameter id="2292bac4-64f5-46d2-ad2f-f14744dab6a6"
          shortName="Если болты недотянуты, то повторить затяжку."
          defaultValue="-1.00" type="double"/>
        <parameter id="d5d5c657-6c1e-4276-ae1f-5f5e0311ba2d"
          shortName="Если болты затянуты с превышением момента, то
          откорректировать." defaultValue="1.00" type="double"/>
      </class>
    <relations>
      <relation id="4e2d2ab9-4608-4b0c-b4dc-7dfc462a8289" shortName="Нормальная
      работа (Обобщенная)" inObj="A:double" relationType="ifclause"
      outObj="B:double;C:double">if (A==0) {B=0;} else {C=0;}</relation>

```

```

<relation id="6718f36e-b7aa-4972-8291-e0c2be310b81" shortName="Отношение
меньшее" inObj="A:double" relationType="ifclause"
outObj="B:double;C:double">if (A < 0) {B = -1;} else {C = 1;}</relation>
<relation id="855de41c-a2f1-465a-8c40-f6ba4c67ffe2" shortName="90 град
Нормальная работа" inObj="A:double" relationType="ifclause"
outObj="B:double;C:double">if (A==90) {B=0;} else {C=0;}</relation>
</relations> </model>

```

Тестирование МЭС для умных производственных систем

Покажем один пример тестирования: **Подача листовой стали на удаление заусенцев.** Запускаем линию производства автомобильных колесных дисков, после чего, проводим проверку на отсутствие повреждений. Лист переносится на удаление заусенцев, на этапе идет проверка на удаление и в случае успеха лист направляется на маркировку. На рисунке 4 показано тестирование в КЭСМИ.

Объект	Значение	Найти
МЭС		
Вывод		
1. Подача листовой стали		
Отклонить лист и уведомить контроль качества	1	<input type="checkbox"/>
Перенести в удаление заусенцев с обеих сторон	0	<input checked="" type="checkbox"/>
> 10. Охлаждение		
> 11. Придание цилиндричности		
> 12. Предварительная развальцовка		
> 13. 1,2,3-ое профилирование		
> 16. Р4 4-ое профилирование рисунка, предохраняющего от скольжения		
> 17. Закатка кромок		
> 18. Финальное расширение		
> 19. Пробивание отверстия для вентиля		
2. Удаление заусенцев с обеих сторон		
Если заусенцы остались, то повторить процесс удаления.	0	<input checked="" type="checkbox"/>
Если заусенцы удалены полностью и поверхность гладкая, то продолжить процесс.	0	<input checked="" type="checkbox"/>
Если поверхность повреждена, то отклонить деталь и уведомить контроль качества.	-1	<input type="checkbox"/>
> 20. Запрессовывание диска в обод		
> 21. Сварка диска и обода		
> 22. Соединение диска и обода болтами		
> 3. Штамповка маркировки		
> 4. Гибка обечайки		
> 5. Расплющивание сварного стыка		
> 6. Стыковая сварка оплавлением на переменном токе		
> 7. Зачистка сварного шва		
> 8. Прокатка сварного шва		
> 9. Обрезка сварочного шлака с торцов		
> Заготовка		
> Тех.процессы		

Ошибки **Консоль**

Шаг № 2
Отношение: 5мм Нормальная работа
Правило: C1
Входные параметры:
П1=5;
Формула:

Рисунок 4 – Тестирование сварки диска и обода в интерфейсе КЭСМИ

На рисунке 5 показан полученный в КЭСМИ граф алгоритма принятия решения тестирования системы сварки диска и обода. Таким образом, выполнено создание МЭС для станка стыковой сварки, для улучшения качества производства колесных дисков.

Заключение

Выполненное научное исследование показало, что в области умных производственных систем производства колесных автомобильных дисков возможно и целесообразно создание миварной экспертной системы для повышения интеллектуализации принятия решений и обработки информации. Это позволит повысить качество производимой продукции и перейти на новый уровень создания автоматизированных систем управления производственными системами в области производства колесных автомобильных дисков.

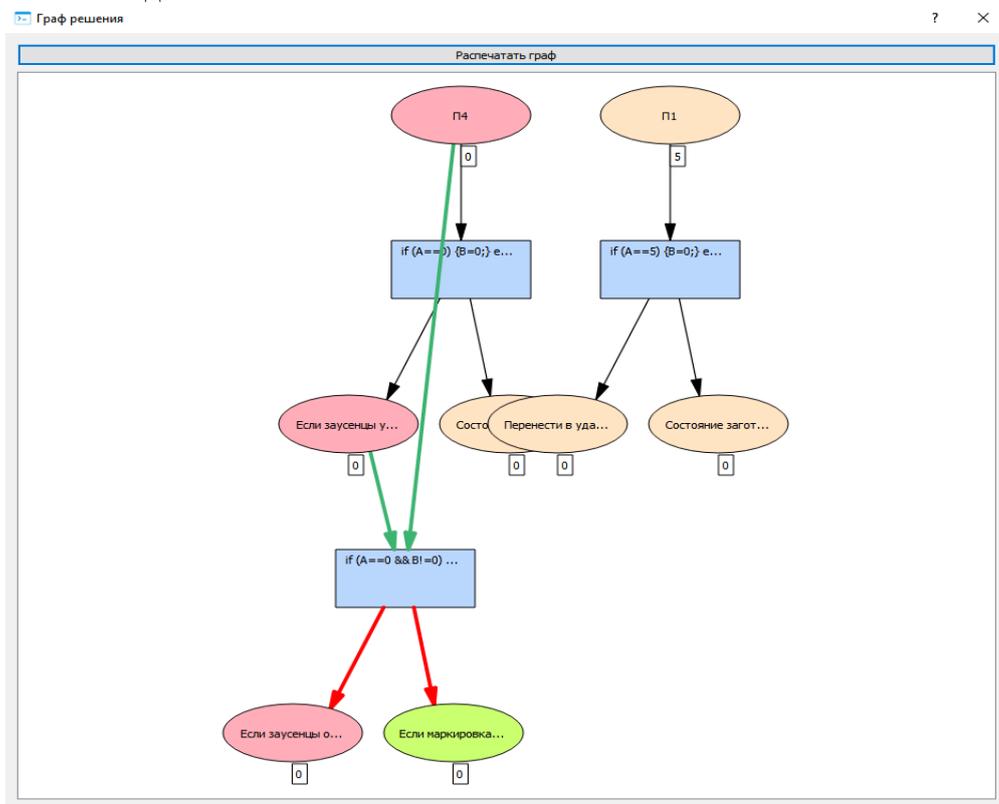


Рисунок 5 – Граф алгоритма принятия решения тестирования системы сварки диска и обода

Научная новизна работы заключается в том, что на основании системного анализа формализованного описания предметной области создана новая математическая модель в формате двудольного ориентированного графа миварной базы знаний, которая включает 66 правил. Миварные экспертные системы обладают свойством эволюционности и в любой момент времени могут быть добавлены, изменены или удалены как параметры (объекты), так и правила (отношения) миварной сети – двудольного ориентированного графа описания предметной области. Это было проверено в ходе выполнения проекта, когда эволюционно добавлялись новые правила по добавляемым процессам принятия решений и обработки информации производства колесных автомобильных дисков.

В процессе выполнения проекта успешно выполнены следующие работы: выполнен системный анализ предметной области в плане принятия решений и обработки информации; разработано формализованное описание предметной области; создана миварная база знаний в виде табличного представления 66 правил миварной сети описания процессов принятия решений, обработки информации; реализована миварная сеть предметной области в специальном математическом и алгоритмическом обеспечении КЭСМИ Wi!Mi Разуматоре версии 2.1; проведено тестирование миварных моделей предметной области умных производственных систем производства колесных автомобильных дисков.

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 RWTСOP.
2. Шэнь, Ц. и др. Динамическое планирование траектории робота на основе семантического обнаружения объектов с использованием миварной экспертной системы // Проблемы искусственного интеллекта. 2024. № 4(35). С. 164-176. DOI 10.24412/2413-7383-2024-4-164-176. EDN DHVOFC.
3. Коценко, А.А. Разработка моделей миварного логического пространства для обеспечения трехмерного движения автономных роботов // МИВАР'24 : Сборник научных статей. Москва: ИНФРА-М, 2024. С. 361-366. EDN HBLZQY.
4. Сеницын, Л.С. Платформа для СПР робота на базе гибридной интеллектуальной системы // МИВАР'24 : Сборник научных статей. Москва: ИНФРА-М, 2024. С. 384-388. EDN QOSPPH.
5. Плешаков В.И. Разработка миварной машины логического вывода для процессора Эльбрус // МИВАР'24 : Сборник научных статей. Москва: ИНФРА-М, 2024. С. 450-454. EDN EJДСAK.
6. 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 ZOХOU1.
7. 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 HSWYСJ.
8. Машенко, Е.И., Карпов, Д.К., Варламов, О.О. и др. Создание миварной экспертной системы для понимания образов и принятия решений при обнаружении падений людей // Проблемы искусственного интеллекта. 2024. № 4(35). С. 88-100. DOI 10.24412/2413-7383-2024-4-88-100. EDN FGLHZP.
9. Рудзинский, В.В. МБЗ техподдержки высоконагруженного безотказного кластера // МИВАР'24 : Сборник научных статей. Москва: ИНФРА-М, 2024. С. 169-173. EDN ZJYOTC.
10. 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.
11. Подопригорова, Н.С., Козырев, С.А., Подопригорова, 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.
12. 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.
13. Чувилов, Д.А., Ким, Р.И., Балдин, А.В. Анализ больших языковых моделей для построения диалоговых систем // МИВАР'24 : Сборник научных статей. Москва: ИНФРА-М, 2024. С. 426-431. EDN IWVZPS.
14. Andreev, A. et al. Text processing using LLM for automatic creation of agricultural crops knowledge bases // Bio Web of Conferences : International Scientific Conference on Biotechnology and Food Technology (BFT-2024). Vol. 130. Les Ulis: EDP Sciences, 2024. P. 01029. DOI 10.1051/bioconf/202413001029. EDN YTLLMF.
15. Varlamov, O.O. et al. Logical, Philosophical and Ethical Aspects of AI in Medicine // International Journal of Machine Learning and Computing. 2019. Vol. 9, No. 6. P. 868-873. DOI 10.18178/IJMLC. EDN XJPKWA.
16. Varlamov, O.O. et al. A Software Package Supporting Decision Making on the Safety of Thermolabile Blood Components // Biomedical Engineering. 2022. Vol. 55, No. 5. P. 355-359. DOI 10.1007/s10527-022-10135-0. EDN ICRHIB.
17. 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.

18. 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.
19. Aladin, D. V. et al. Control of vehicles and robots: Creation of planning systems in the state space (MIPRA) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference of Young Scientists and Students "Topical Problems of Mechanical Engineering", 2020. P. 012097. DOI 10.1088/1757-899X/747/1/012097. EDN OYOOVR.
20. Варламов, О.О. 2024: обзор областей применения миварных технологий ЛИИ // МИВАР'24 : Сборник научных статей. Москва: ИНФРА-М, 2024. С. 7-15. EDN ATMAZU.
21. Линия производства стальных колесных дисков // Xiaoya Group URL: <http://wheelmachinery.ru/profile/wheel-manufacturing/199771/0/> (дата обращения: 21.01.25).

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. Shen Q. et al. Dynamic robot trajectory planning based on semantic object detection using a mivar expert system // Problems of artificial intelligence. 2024. No. 4 (35). P. 164-176. DOI 10.24412/2413-7383-2024-4-164-176. EDN DHVOFC.
3. Kotsenko A. A. Development of mivar logical space models to ensure three-dimensional movement of autonomous robots // MIVAR'24: Collection of scientific articles. Moscow: INFRA-M, 2024. pp. 361-366. EDN HBLZQY.
4. Sinitsyn LS Platform for robot SPS based on hybrid intelligent system // MIVAR'24: Collection of scientific articles. Moscow: INFRA-M, 2024. pp. 384-388. EDN QOSPPH.
5. Pleshakov VI Development of mivar inference machine for Elbrus processor // MIVAR'24: Collection of scientific articles. Moscow: INFRA-M, 2024. pp. 450-454. EDN EJDCAK.
6. Kovalenko AV, Kondrakhin SS, Smyslov DO 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.
7. Fedyuney 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 HSWYCY.
8. Mashchenko E.I., Karpov D.K., Varlamov O.O. et al. Creation of a mivar expert system for understanding images and making decisions when detecting people falling // Problems of Artificial Intelligence. 2024. No. 4(35). pp. 88-100. DOI 10.24412/2413-7383-2024-4-88-100. EDN FGLHZZ.
9. Rudzinsky V.V. MBZ technical support of a highly loaded fail-safe cluster // MIVAR'24: Collection of scientific articles. Moscow: INFRA-M, 2024. P. 169-173. EDN ZJYOTC.
10. 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.
11. 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.
12. Abdrashitova A.N., Vardumyan A.T., Golovatsky A.D. and others. Cloud system for creating MBZ // MIVAR'24: Collection of scientific articles. Moscow: INFRA-M, 2024. pp. 455-459. EDN LKDKGC.
13. Chuvikov D.A., Kim R.I., Bal'din A.V. Analysis of large language models for building dialog systems // MIVAR'24: Collection of scientific articles. Moscow: INFRA-M, 2024. pp. 426-431. EDN IWVZPS.
14. Andreev A. et al. Text processing using LLM for automatic creation of agricultural crops knowledge bases // Bio Web of Conferences : International Scientific Conference on Biotechnology and Food Technology (BFT-2024). Vol. 130. Les Ulis: EDP Sciences, 2024. P. 01029. DOI 10.1051/bioconf/202413001029. EDN YTLLMF.
15. Varlamov O.O. et al. Logical, Philosophical and Ethical Aspects of AI in Medicine // International Journal of Machine Learning and Computing. 2019. Vol. 9, No. 6. P. 868-873. DOI 10.18178/IJMLC. EDN XJPKWA.
16. Varlamov O.O. et al. A Software Package Supporting Decision Making on the Safety of Thermolabile Blood Components // Biomedical Engineering. 2022. Vol. 55, No. 5. P. 355-359. DOI 10.1007/s10527-022-10135-0. EDN ICRHIB.
17. 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.
18. 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.

19. Aladin D. V. et al. Control of vehicles and robots: Creation of planning systems in the state space (MIPRA) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference of Young Scientists and Students "Topical Problems of Mechanical Engineering", 2020. P. 012097. DOI 10.1088/1757-899X/747/1/012097. EDN OYOOVR.
20. 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.
21. Steel wheel rim production line // Xiaoya Group URL: <http://wheelmachinery.ru/profile/wheel-manufacturing/199771/0/> (date of access: 21.01.25).

RESUME

Demidov A.N., Chernenko V.D., Votintsev M.K., Baldin A.V., Sorokin S.A.

Mivar Expert System For Intellectualization Of Automobile Wheel Disks Production

Quite a lot of works are devoted to the issues of studying smart production systems. The completed work for the first time substantiates the possibility of using mivar technologies of logical artificial intelligence to increase the intellectualization of automated control systems of production systems and, thus, create smart production systems. The main innovation of our work is the creation of a mivar expert system (MES) in the field of smart production systems for the production of wheel disks. A new approach to the application of methods of the scientific specialty "system analysis, management and information processing" in this applied area is substantiated and practically demonstrated. It is important to note that a team of specialists was created to carry out this scientific project, including: experts in the subject area of the industrial facility for the production of wheel disks; cognitologists (knowledge engineers), who created "Knowledge" in the form of a textual formalized description of the subject area; analysts who developed the "Knowledge" obtained from cognitive scientists in the form of formal mivar networks (bipartite directed graphs) based on a formalized description of the subject area, and loaded this knowledge into the Wi!Mi Razumator software package version 2.1; developers of special mathematical and algorithmic support for decision-making systems, information processing and artificial intelligence in the created smart production system; testers of special mathematical and algorithmic support for decision-making systems, information processing and artificial intelligence in our smart production system.

The scientific research carried out by our team showed that in the field of smart production systems for the production of wheel rims, it is possible and advisable to create a mivar expert system to increase the intellectualization of decision-making and information processing. This will improve the quality of the manufactured products and move to a new level of creating automated control systems for production systems in the field of wheel rims production.

During the implementation of our project, the following work was successfully completed: a system analysis of the subject area in terms of decision-making, information processing and artificial intelligence was performed; a formalized description of the subject area has been developed; a mivar knowledge base has been created in the form of a tabular representation of 66 rules of the mivar network for describing decision-making processes and information processing; the choice of the traditional method and algorithms for solving decision-making problems, information processing, and artificial intelligence in this subject area for Wi!Mi Razumator version 2.1 has been substantiated; a mivar network of the subject area has been implemented in the special mathematical and algorithmic support of Wi!Mi Razumator version 2.1; testing of mivar models of the subject area of smart production systems for the production of automobile wheel rims has been carried out.

Thus, we find that in order to create a MES in the field of smart production systems, it is necessary to carry out complex, diverse scientific and practical work by people of different specialties, who must be united into one team.

The evolutionary development of the created mivar expert system of the subject area of smart production systems for the production of wheel disks is ensured by the fact that the MES has the property of evolution and at any time any rule can be added, changed or deleted. This was verified during the project, when new rules were evolutionarily added for the added processes of decision-making and information processing for the production of wheel disks.

РЕЗЮМЕ

*Демидов А.Н., Черненко В.Д., Вотинцев М.К., Балдин А.В., Сорокин С.А.
Миварная экспертная система для интеллектуализации производства
автомобильных колесных дисков*

Вопросам исследования умных производственных систем посвящено достаточно много работ. Выполненная работа впервые обосновывает возможность применения миварных технологий логического искусственного интеллекта для повышения интеллектуализации автоматизированных систем управления производственных систем и создания, таким образом, умных производственных систем. Основным нововведением нашей работы является создание миварной экспертной системы (МЭС) в области умных производственных систем по производству колесных дисков. Обоснован и практически продемонстрирован новый подход применения методов научной специальности «системный анализ, управление и обработка информации» в этой прикладной области.

Важно отметить, что для выполнения этого научного проекта была создана команда специалистов, включающая: экспертов по предметной области промышленного объекта по производству колесных дисков; когнитологов (инженеров по знаниям), которые создали «Знания» в виде текстового формализованного описания предметной области; аналитиков, которые разработали полученные от когнитологов «Знания» в виде формальных миварных сетей (двудольных ориентированных графов) на основе формализованного описания предметной области, а также загрузили эти знания в программный комплекс КЭСМИ Wi!Mi Разуматор версии 2.1; разработчиков специального математического и алгоритмического обеспечения систем принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта в созданной умной производственной системе; тестировщиков специального математического и алгоритмического обеспечения систем принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта в нашей умной производственной системе.

Выполненное нашим коллективом научное исследование показало, что в области умных производственных систем производства колесных автомобильных дисков возможно и целесообразно создание миварной экспертной системы для повышения интеллектуализации принятия решений и обработки информации. Это позволит повысить качество производимой продукции и перейти на новый уровень создания автоматизированных систем управления производственными системами в области производства колесных автомобильных дисков.

В процессе выполнения нашего проекта успешно выполнены следующие работы: выполнен системный анализ предметной области в плане принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта; разработано формализованное описание предметной области; создана миварная база знаний в виде табличного представления 66 правил миварной сети описания процессов принятия решений, обработки информации; обоснован выбор традиционного для КЭСМИ Wi!Mi Разуматор версии 2.1 метода и алгоритмов решения задач принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта в данной предметной области; реализована миварная сеть предметной области в специальном математическом и алгоритмическом обеспечении КЭСМИ Wi!Mi Разуматоре версии 2.1; проведено тестирование миварных моделей предметной области умных производственных систем производства колесных автомобильных дисков.

Таким образом, получаем, что для создания МЭС в области умных производственных систем необходимо провести комплексную разноплановую научную и практическую работу силами людей разных специальностей, которые должны быть объединены в один коллектив.

Эволюционное развитие созданной миварной экспертной системы предметной области умных производственных систем производства колесных автомобильных дисков обеспечивается тем, что МЭС обладает свойством эволюционности и в любой момент времени может быть добавлено, изменено или удалено любое правило. Это было проверено в ходе выполнения проекта, когда эволюционно добавлялись новые правила по добавляемым процессам принятия решений и обработки информации производства колесных автомобильных дисков.

Демидов Артем Николаевич, студент Института искусственного интеллекта РТУ МИРЭА, г. Москва, Россия, artem.demidov.13@mail.ru

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

Черненко Валерий Дмитриевич, студент Института искусственного интеллекта РТУ МИРЭА, г. Москва, Россия, chernenko.v.d@mail.ru

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

Вотинцев Михаил Константинович, студент Института искусственного интеллекта РТУ МИРЭА, г. Москва, Россия, votintsev.mikhail.k@mail.ru

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

Балдин Александр Викторович, доктор технических наук, профессор, bal@bmstu.ru

1) главный научный сотрудник АО «НИИ «Вычислительных комплексов»»,

2) профессор кафедры Систем обработки информации и управления МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Область научных интересов: искусственный интеллект, базы данных, электронный университет, экспертные системы, логика, миварные технологии логического искусственного интеллекта, обработка информации, принятие решений, распознавание образов, понимание естественного языка, кибернетика, автономные робототехнические комплексы

Сорокин Сергей Александрович, доктор технических наук, sorokin@nii.vk.ru

1) генеральный конструктор АО «НИИ «Вычислительных комплексов»»,

2) заведующий базовой кафедры № 254 Вычислительных комплексов Института искусственного интеллекта РТУ МИРЭА, г. Москва, Россия

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

Статья поступила в редакцию 22.01.2025.