

Проблемы искусственного интеллекта. 2026. N 2 (41). С.41- 53

Problems of Artificial Intelligence. 2026;2(41):41- 53.

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Научная статья

УДК 004.891+007.52+681.518+65.011.56 DOI 10.24412/2413-7383-2026-2-41-41-53

Г. В. Арзуманов¹, А. Е. Татарников¹, М. В. Петров¹, А. В. Балдин^{2,3}, С.А. Сорокин³

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 ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛАСТИКОВОЙ ПРОДУКЦИИ НА ТЕРМОПЛАСТАВТОМАТЕ

G.V. Arzumanov¹, A.E. Tatarnikov¹, M.V. Petrov¹, A.V. Baldin^{2,3}, S.A. Sorokin³

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 MANUFACTURING PLASTIC PRODUCTS ON AN INJECTION MACHINE

Разработана миварная экспертная система для поддержки принятия решений персонала цеха производства пластиковых изделий на термопластавтомате. Выявлены ключевые параметры технологического процесса, определяющие производственные риски и нарушения, разработана модель управления для поддержки оперативных и стратегических решений персонала. Научная новизна заключается в создании новой модели принятия решений, которая построена в виде двудольного ориентированного графа миварной сети, включает 44 правила, отражает взаимосвязи между состояниями термопластавтоматов, бункеров, силосов и исполнительных механизмов. Тестирование системы в различных производственных сценариях показало высокую точность логического вывода и гибкость миварной экспертной системы, что обуславливает практическую значимость полученных результатов.

Ключевые слова: мивар, миварные сети, миварные экспертные системы, искусственный интеллект, технологический процесс, производство, термопластавтомат, КЭСМИ Wi!Mi РАЗУМАТОР, миварные технологии.

A mivar expert system has been developed to support decision-making by the staff of the plastic products production workshop at the injection molding machine. The key parameters of the technological process that determine production risks and disruptions have been identified, and a management model has been developed to support operational and strategic personnel decisions. The scientific novelty lies in the creation of a new decision-making model, which is built in the form of a bipartite oriented graph of a mivar network, includes 44 rules, and reflects the relationship between the states of injection molding machines, bunkers, silos, and actuators. Testing of the system in various production scenarios has shown high accuracy of logical inference and flexibility of the mivar expert system, which determines the practical significance of the results obtained.

Keywords: mivar, mivar networks, mivar expert systems, artificial intelligence, technological process, production, injection molding machine, CESMI Wi!Mi RAZUMATOR, mivar technologies.

Введение

В последнее десятилетие тенденция развития организаций связана с использованием специализированных исследований, инженерных техник и методологий, направленных на оптимальное выполнение операций, с применением технологий и методов, гарантирующих повышение эффективности производства. Растущий уровень знаний ориентирован на оптимальное и эффективное функционирование технологических систем.

В современном мире растет спрос на использование искусственного интеллекта во всех сферах. Искусственный интеллект играет важную роль в поддержке принятия решений при управлении процессом подготовки и подачи полимерного сырья для изготовления пластиковых изделий на термопластавтомате. Он связан с безопасностью, контролем, анализом данных о работе оборудования и выявлении потенциальных проблем или аварийных ситуаций. Это помогает предотвратить аварии и несчастные случаи на производстве. Искусственный интеллект также применяется для оптимизации процессов, нахождения «узких мест» производства и улучшения эффективности работы. Также он может применяться для обучения и развития персонала, задействованного в процессе подготовки сырья и работе термопластавтомата, предоставляя им доступ к обучающим материалам, симуляциям и практическим задачам. Это помогает повысить квалификацию сотрудников и улучшить их навыки принятия решений.

Миварные технологии логического ИИ (МТЛИИ) [1] продолжают активное развитие в самых разнообразных направлениях. Прежде всего, отметим научные публикации в области создания «миварных мозгов» для автономных робототехнических комплексов [16], которые позволяют принимать решения [17] в пространстве состояний [18], для управления агентами в компьютерной игре [19], для распределения [20] и перевозки грузов командой [21] складских роботов [22], для планирования действий роботов в изменяющейся среде [9] в трехмерном [10] логическом пространстве [11]. Отметим, что проводятся исследования по автоматической генерации миварных баз знаний (МБЗ) [12], включая и использование Больших Лингвистических Моделей – LLM [13] для сокращения времени создания МБЗ и в интересах создания «Больших Знаний».

Целью данной работы является создание миварной экспертной системы для поддержки принятия решений персоналом цеха производства пластиковых изделий при управлении процессом подачи полимерного сырья на термопластавтоматах. Система предназначена для анализа текущего состояния датчиков и исполнительных устройств, контроля технологических параметров и генерации управляющих воздействий на основе миварных правил.

Материалы и методы

Постановка задачи. Создание миварной экспертной системы (МЭС) для поддержки принятия решений персоналом цеха производства пластиковых изделий при управлении подачей полимерного сырья на термопластавтоматах требует формализации предметной области на основе анализа технологического процесса автоматизированной подачи, идентификации ключевых производственных состояний (нормальной работы, загрузки бункеров и аварийной остановки) и соответствующих им параметров, фиксируемых с помощью датчиков загруженности, подключения и исполнительных устройств. Для каждого состояния необходимо описать цепочки причинно-следственных зависимостей, на основе которых система должна осуществлять логический вывод и предлагать управляющие воздействия. Центральным элементом решения является построение миварной модели предметной области в виде двудольного ориентированного графа, отражающего структуру знаний и правил.

Для реализации МЭС необходимо: разработать миварную базу знаний (МБЗ), содержащую правила типа «если–то»; внедрить модель в программную среду «КЭСМИ», обеспечивающую логический вывод в режиме реального времени; провести настройку и тестирование системы на типовых сценариях функционирования оборудования; предусмотреть возможность расширения и адаптации МЭС под изменяющиеся технологические и организационные условия. Эффективная реализация поставленной задачи требует междисциплинарного подхода, включающего знания в области логического искусственного интеллекта, технологических процессов переработки газа и инженерных систем управления.

Анализ предметной области. Система централизованной подачи полимерного сырья является критически важным элементом в современном производстве пластиковой продукции на термопластавтоматах (ТПА). Она выполняет функцию технологического кровообращения, обеспечивая непрерывную и бесперебойную подачу материала от мест хранения к производственным агрегатам. Отказоустойчивость и надежность данной системы напрямую определяют стабильность всего производственного цикла, качество выпускаемых изделий и экономическую эффективность предприятия, так как простой даже одного термопластавтомата из-за отсутствия сырья ведет к прямым финансовым потерям.

Для обеспечения непрерывного и автоматизированного технологического процесса система включает следующее основное оборудование:

1. Силосы хранения сырья

Служат для приема, накопления и хранения различных типов сырья. Все силосы изготавливаются из нержавеющей стали для обеспечения коррозионной стойкости и сохранения чистоты материала. Конструктивно силосы представляют собой вертикальные емкости цилиндрической формы с коническим днищем, обеспечивающим свободное осыпание сырья к выходному патрубку.

2. Распределительный стол и система трубопроводов

Распределительный стол представляет собой простую и эффективную механическую конструкцию в виде жесткой рамы. На эту раму выведены входные трубопроводы от всех силосов. Каждый входной трубопровод имеет несколько свободных выходных патрубков, к которым подключаются гибкие рукава, ведущие к конкретным термопластавтоматам. Данная конструкция обеспечивает гибкость переналадки производственных линий.

Система трубопроводов выполнена с учетом абразивного воздействия перемещаемых гранул. Участки с крутыми поворотами, где износ наиболее вероятен, выполняются из толстостенной нержавеющей стали. Для подключения распределительного стола к технологическому оборудованию используются гибкие рукава, компенсирующие несоответствия и вибрации.

3. Термопластавтоматы

Являются основными технологическими агрегатами, где происходит плавление полимерного сырья и формование из него готовых изделий под давлением. Система подачи обеспечивает их непрерывную загрузку через загрузочные бункера. От бесперебойной работы системы подачи напрямую зависит стабильность работы термопластавтомата, так как отсутствие сырья в бункере приводит к останову производства и браку продукции.

4. Загрузочные бункеры термопластавтоматов

Являются конечными приемниками сырья в системе подачи и исходными точками для самого процесса литья. Загрузка сырья в материальный цилиндр ТПА

осуществляется по строго заданным алгоритмам, необходимым для правильного выполнения технологического процесса литья. Эти алгоритмы обеспечивают своевременную подачу материала в зону дозирования, поддержание постоянного давления и объема дозирования, что непосредственно влияет на стабильность дозирования и качество литья, а также общую производительность оборудования.

5. Вакуумные насосы

Создают разрежение в системе, необходимое для транспортировки сырья по трубопроводам методом всасывания. Устанавливаются на каждой производственной линии. Работа насоса приводит к созданию перепада давления между силосом и загрузочным бункером, благодаря чему гранулы материала захватываются потоком воздуха и перемещаются по трубопроводу.

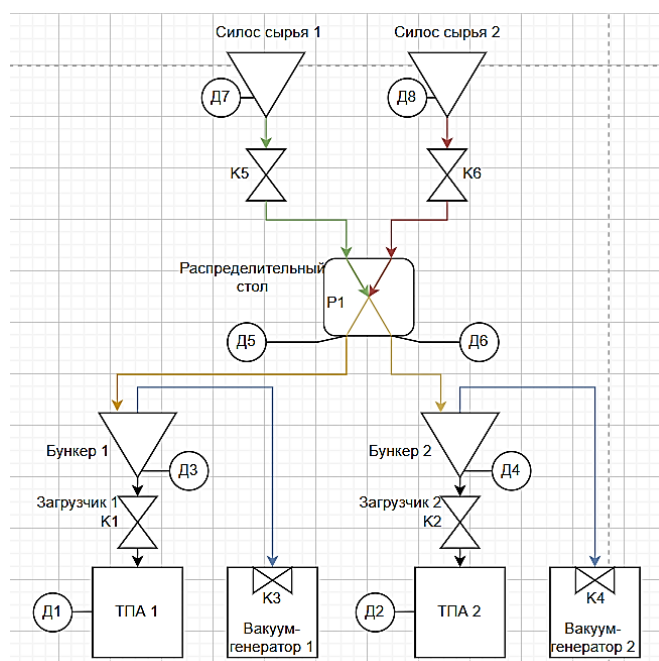


Рисунок 1 – Диаграмма технологического процесса

Описание технологического процесса.

Для упрощения в рамках данной работы рассматриваемая система состоит из 2-х силосов, 2-х термопластавтоматов с бункерами и загрузчиками, 2-х вакуум генераторов, распределительного стола и системы труб для движения полимерного сырья по цеху производства.

Система подачи подходит для работы в нормальных условиях при средних темпах производства. Диаграмма технологического процесса представлена в соответствии с рисунком 1.

Когда датчики загруженности термопластавтоматов Д1, Д2 распознают его как незагруженный, происходит загрузка из бункера с помощью загрузчиков К1, К2, после этого датчики загруженности бункеров Д3, Д4 определяют остались ли загруженными сами бункеры. Если бункеру требуется загрузка, система проверяет наличие сырья в силосах через датчики Д7, Д8 и текущую конфигурацию распределительного стола Р1.

В зависимости от состояния силосов (Д7, Д8) система при необходимости переключает распределительный стол Р1 в конфигурацию, при которой пустой бункер подключается к полному силосу. После этого активируются соответствующие вакуум

генераторы К3, К4 и за счет вакуумной тяги (голубые линии) начинается подача сырья в бункер. Для этого входы бункера (желтые линии) должны быть подключены через распределительный стол к выходам силосов (красные и зеленые линии), что определяется датчиками подключения Д5 и Д6, которые учитывают как физическое соединение, так и логику распределения Р1. Также при работе вакуум генераторов активируются продувные клапаны К5, К6 для того, чтобы не допустить засоров в системе подачи и простоя в работе системы.

Формализованное описание предметной области в виде 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:

Д1 (датчик загруженности ТПА1)

Пояснение: определяет наличие сырья в термопластавтомате №1.

Правила:

ЕСЛИ датчик загруженности термопластавтомата определяет его как незагруженный (Д1=0) ТО производится загрузка сырья из бункера (К1=1).

ЕСЛИ датчик загруженности термопластавтомата определяет его как загруженный (Д1=1) ТО загрузка сырья из бункера не производится (К1=0).

Д3 (датчик загруженности Бункера1)

Пояснение: определяет наличие сырья в бункере №1, который питает ТПА1.

Правила:

ЕСЛИ датчик загруженности бункера определяет его как незагруженный (Д3=0) И датчик подключения подтверждает, что бункер подключен к силосу (Д5=1) ТО активируется вакуум-генератор для загрузки бункера (К3=1).

ЕСЛИ датчик загруженности бункера определяет его как загруженный (Д3=1) ТО вакуум-генератор для загрузки бункера отключается (К3=0).

Д7 (датчик загруженности Силоса1)

Пояснение: определяет наличие сырья в Силосе1.

Правила:

ЕСЛИ в Силосе1 есть сырьё ТО датчик показывает "загружен" (Д7=1).

ЕСЛИ в Силосе1 нет сырья ТО датчик показывает "не загружен" (Д7=0).

К3 (вакуум-генератор 1)

Пояснение: создаёт вакуум в линии для транспортировки сырья из силоса в бункер №1. При его работе всегда активируется продувка.

Правила:

ЕСЛИ вакуум-генератор активен (К3=1) ТО активируется соответствующий продувной клапан для очистки линии подачи (К5=1).

ЕСЛИ вакуум-генератор не активен (К3=0) ТО продувной клапан деактивируется (К5=0).

К4 (вакуум-генератор 2)

Р1 (распределительный стол)

Пояснение: определяет конфигурацию подключения силосов к бункерам.

Правила:

ЕСЛИ Бункер1 пуст (Д3=0) И Силос1 пуст (Д7=0) И Силос2 полон (Д8=1) ТО переключить стол в конфигурацию 1 (Р1=1) (чтобы Бункер1 подключился к Силосу2).

ЕСЛИ Бункер1 пуст (Д3=0) И Силос2 пуст (Д8=0) И Силос1 полон (Д7=1) ТО переключить стол в конфигурацию 0 (Р1=0) (чтобы Бункер1 подключился к Силосу1).

ЕСЛИ Бункер2 пуст ($D4=0$) И Силос2 пуст ($D8=0$) И Силос1 полон ($D7=1$) ТО переключить стол в конфигурацию 1 ($P1=1$) (чтобы Бункер2 подключился к Силосу1).

ЕСЛИ Бункер2 пуст ($D4=0$) И Силос1 пуст ($D7=0$) И Силос2 полон ($D8=1$) ТО переключить стол в конфигурацию 0 ($P1=0$) (чтобы Бункер2 подключился к Силосу2).

Разработка миварной базы знаний.

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)

№	Класс	Если	То
1	Д1	датчик загруженности термопластавтомата определяет его как незагруженный ($D1=0$)	производится загрузка сырья из бункера ($K1=1$)
5	Д3	датчик загруженности бункера определяет его как незагруженный ($D3=0$) И датчик подключения подтверждает, что бункер подключен к силосу ($D5=1$)	активируется вакуум-генератор для загрузки бункера ($K3=1$)
9	Д5	распределительный стол находится в конфигурации 0 ($P1=0$) И датчик загруженности Силоса1 показывает наличие сырья ($D7=1$)	бункер подключен к силосу ($D5=1$)
18	К3	вакуум-генератор не активен ($K3=0$)	продувной клапан деактивируется ($K5=0$)
21	P1	Бункер1 пуст ($D3=0$) И Силос1 пуст ($D7=0$) И Силос2 полон ($D8=1$)	переключить стол в конфигурацию 1 ($P1=1$)
31	C1	загрузчик 2 активен ($K2=1$) И датчик загруженности Бункера2 показывает "не загружен" ($D4=0$)	аварийная остановка цеха ($C1=0$)
32	C1	загрузчик 2 активен ($K2=1$) И датчик загруженности Бункера2 показывает "загружен" ($D4=1$)	продолжить работу цеха ($C1=1$)

Создание миварной экспертной системы.

В качестве метода решения задач принятия решений и обработки информации для Умной производственной системы (УмПС) выберем те, которые реализованы в КЭСМИ. Выполним реализацию миварной сети из 44 правил предметной области в специальном математическом и алгоритмическом обеспечении систем принятия решений, обработки информации в КЭСМИ Wi!Mi Разуматоре версии 2.1. Приведем фрагмент «псевдокода» формальной математической модели миварной сети предметной области, т.к. полное описание занимает много места и выходит за рамки данной публикации.

```
<rule id="c93c2905-166f-4042-9f20-9cfd628063d5" shortName="П78"
relation="b79dd9d3-4b07-45d5-841d-c281cefaab32" resultId="z:0064d40a-0875-
40a7-8b48-f54647ee6bb7" initId="x:a441a7aa-04dc-4678-ac67-
7e55b1b7515f;y:3f4d9e31-00c3-43c0-a7af-76245a9a1260" description="ЕСЛИ
датчик загруженности бункера определяет его как незагруженный ( $D4=0$ ) И
датчик подключения подтверждает, что бункер подключен к силосу ( $D6=1$ ) ТО
активируется вакуум-генератор для загрузки бункера ( $K4=1$ )"/>
<rule id="d1d6b7b7-ca8c-4515-ad2b-ef0ca7f3cfef" shortName="П34"
relation="04528ecb-f930-46a8-94b7-ae1515e5b1a7" resultId="y:3594c5ab-974c-448c-
b006-b3fd842befe0" initId="x:f3201f73-bcf4-4385-8933-c77298a712cf"
description="ЕСЛИ датчик загруженности термопластавтомата определяет его
как незагруженный ( $D2=0$ ) ТО производится загрузка сырья из бункера ( $K2=1$ )"/>
```

```
<rule id="dbd7fc0f-a3f0-41ce-9d80-63c0216defef" shortName="П4042"
relation="bd7f2ba0-912a-4f5e-a7a0-6bed7ae87a23" resultId="z:0333107a-36ce-493e-
8e6b-9178361e6d6e" initId="x:e079cbde-2ea6-400f-8abc-4f7529f2cbdb;y:b2876908-
1042-4db8-a907-aab9dfc7632e" description="ЕСЛИ загрузчик 1 активен (K1=1) И
вакуум-генератор 1 активен (K3=1) ТО аварийная остановка цеха (C1=0)"/>
```

Эксперименты

После определения всех правил и состояний система была протестирована в среде «КЭСМИ». На этапе настройки были внесены все заданные правила, где входными параметрами выступали текущие состояния оборудования и датчиков (например, Состояние цеха, значения наполненности бункеров и силосов), а выходными параметрами — состояния клапанов, насосов и других элементов. Для каждого выходного параметра были поставлены галочки, чтобы система могла определить его значение на основе заданных правил.

Протестируем режим нормальной работы, цех работает ($C1=1$), датчик загрузки бункера 2 сообщает, что бункер пуст ($D4=0$), датчик подключения бункера 2 к силосу на распределительном столе сигнализирует о том, что он подключен ($D6=1$), датчики загрузки силосов подтверждают, что они загружены ($D7=1$), ($D8=1$), для поддержания непрерывной работы необходимо чтобы активировался вакуум-генератор для подачи сырья в загрузочный бункер 2 ($K4=1$), автоматически с этим должен активироваться продувной клапан советующей линии подачи сырья ($K6=1$), распределительный стол должен быть в конфигурации 0, для соединения пустого бункера с наполненным силосом, цех должен продолжать работу без остановок.

В результате тестирования в соответствии с рисунком 2 видим, что цех работает в нормальном режиме ($C1=1$), активировался необходимый для подачи сырья в пустой бункер вакуум-генератор ($K4=1$), распределительный стол находится в необходимой для правильной подачи конфигурации ($P1=0$), в следствии чего активирован необходимый для корректной работы продувной клапан линии ($K6=1$).

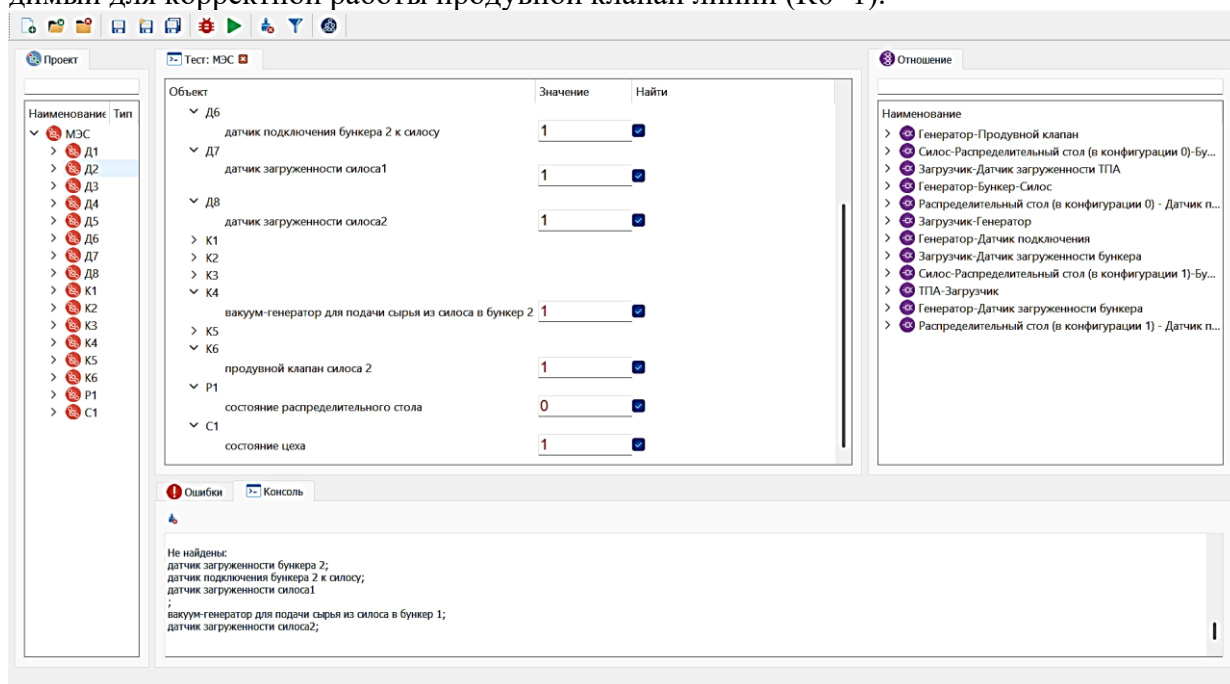


Рисунок 2 – Тестирование режима нормальной работы цеха

Также в результате тестирования получаем граф решения (логического вывода), в соответствии с рисунком 3. Таким образом, можно увидеть не только требуемый результат, но и получить объяснения хода решения задачи как в текстовом, так и графическом виде с помощью графа решения.

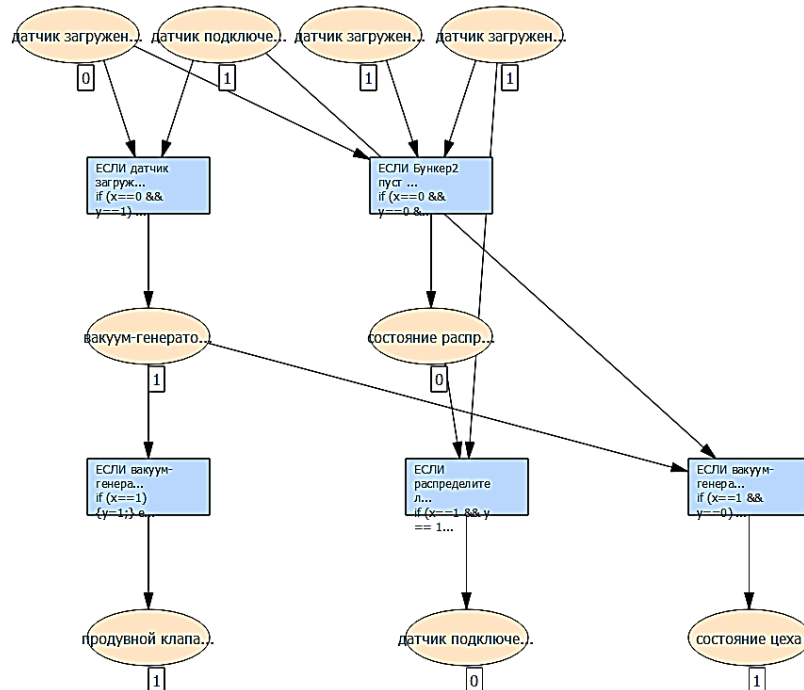


Рисунок 3 – Граф алгоритма принятия решения тестирования системы

Заключение

Проведённое исследование подтвердило возможность и обоснованность создания миварной экспертной системы – МЭС, для поддержки принятия решений персоналом цеха производства пластиковых изделий при управлении подачей полимерного сырья на термопластавтоматах. Использование МЭС позволило формализовать технологический процесс автоматизированной подачи сырья в формате 44 миварных правил и реализовать его в КЭСМИ Wi!Mi Разуматор версии 2.1. Это обеспечило автоматизацию обработки информации с датчиков, контроль загрузки оборудования и выдачу управляющих воздействий в реальном времени.

Научная новизна работы заключается в том, что математическая модель принятия решений, построенная в формате двудольного ориентированного графа миварной сети, включает 44 правила, охватывает ключевые параметры системы подачи и отражает взаимосвязи между состояниями термопластавтоматов, бункеров, силосов и исполнительных механизмов: загрузчиков, вакуум-генераторов, продувных клапанов и распределительного стола. Тестирование системы в различных производственных сценариях — от нормального функционирования до аварийных ситуаций — показало высокую точность логического вывода и гибкость миварной экспертной системы, что обуславливает практическую значимость полученных результатов.

Особенностью предложенного решения является гибкость структуры знаний: правила МЭС могут дополняться и редактироваться без потери целостности модели. Это делает её пригодной для эволюционного развития и масштабирования. Перспективными

направлениями дальнейшей работы являются расширение модуля контроля качества сырья, интеграция с системами учёта материалов и наращивание миварной базы знаний на основе анализа реальных производственных циклов. Созданный макет миварной экспертной системы может стать основой для внедрения интеллектуальных систем управления на малых и средних предприятиях по производству пластиковых изделий.

Список литературы

1. Варламов, О. О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство / О.О. Варламов. Москва: "Радио и связь", 2002. 286 с. ISBN 5-256-01650-4. EDN RWTCOP.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025616642 Российская Федерация / Аладин Д. В., Аладина Е. В., Билалов А. К. и др. // Лиса Редактор: заявл. 01.03.2025 : опубл. 18.03.2025. EDN ILIALN.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023684948 Российская Федерация / Аладин Д. В., Балашов А. М., Гапанюк Ю. Е. и др. // Лиса МЛВ: № 2023683700 : заявл. 09.11.2023 : опубл. 21.11.2023. EDN FCJCA.
4. Аладин Д. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020618424 Российская Федерация. Система верификации миварных моделей : № 2020617729 : заявл. 14.07.2020 : опубл. 28.07.2020. EDN BTIFDI.
5. Коценко А. А. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025621165 Российская Федерация. База данных трехмерного логического пространства для миварной системы движения автономных роботов : заявл. 11.02.2025 : опубл. 13.03.2025. EDN HYNGEJ.
6. Колпакиди Н. А., Коценко А. А. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025621255 Российская Федерация. Миварная база знаний для биохимического анализа крови : заявл. 26.02.2025 : опубл. 19.03.2025. EDN XWMPTJ.
7. Варламов О. О. Применение миварных технологий логического искусственного интеллекта для создания умных производственных систем / О. О. Варламов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2025. № 2(38). С. 32-46. DOI 10.25729/ESI.2025.38.2.003. EDN OBQUCX.
8. Создание миварной экспертной системы для автоматизации выбора частотного преобразователя / Тимакова А. А., Смирягин В. А., Курнасов Е. В. и др. // Проблемы искусственного интеллекта. 2025. № 2(37). С. 91-104. DOI 10.24412/2413-7383-2025-2-37-91-104. EDN OWXTNN.
9. Коценко А. А. О разработке МЭС для принятия решений при планировании действий роботов в изменяющейся среде / А.А. Коценко // Мивар '25: Доклады. Москва: ИНФРА-М, 2025. С. 307-309. EDN QNNTAT.
10. Коценко А. А. О подходе к разработке МЭС для планирования действий перехода роботов в трехмерном логическом пространстве / А.А. Коценко // Мивар '25: Доклады. Москва: ИНФРА-М, 2025. С. 313-315. EDN GFLTUH.
11. Kotsenko A. Application of three mivar logical space models for route planning of autonomous robots // Наука, технологии и бизнес. Сборник научных трудов VII Межвузовской конференции аспирантов, соискателей и молодых ученых, 2025. Р. 162-172. EDN UXKKPA.
12. Аладин Д. В. Метод автоматической генерации миварных баз знаний для решения управленческих задач в пространстве состояний / Д. В. Аладин // Проблемы искусственного интеллекта. 2025. № 3(38). С. 88-99. DOI 10.24412/2413-7383-2025-3-38-88-99. EDN PPUIWN.
13. Разработка критериев и сравнительный анализ LLM для автоматизированной генерации миварных баз знаний / Бекетов Р. А., Попов С. Д., Кузьмин Я. А. и др. // Научно-технический вестник Поволжья. 2025. № 5. С. 95-99. EDN RKQJMV.
14. Салахутдинова Н. Ч. Применение миварных экспертных систем для диагностики бактериальной устойчивости к антибиотикам / Н.Ч. Салахутдинова // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27, № 2. С. 55-73. DOI 10.35330/1991-6639-2025-27-2-55-73. EDN LELPHS.
15. Разработка миварной экспертной системы для выбора алгоритма консенсуса распределённых реестров / Подопрigorova Н. С., Козырев С. А., Подопрigorova С. С. и др. // Проблемы искусственного интеллекта. 2024. № 4(35). С. 126-138. DOI 10.24412/2413-7383-2024-4-126-138. EDN AVXOTO.

16. Varlamov O., Aladin D. A New Generation of Rules-based Approach: Mivar-based Intelligent Planning of Robot Actions (MIPRA) and Brains for Autonomous Robots // Machine Intelligence Research. 2024. Vol. 21, №. 5. P. 919-940. DOI 10.1007/s11633-023-1473-1. EDN TSPUOP.
17. Аладин Д. В. Модель миварной проблемно-ориентированной системы управления и принятия решений в пространстве состояний / Д. В. Аладин // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13, № 4(51). DOI 10.26102/2310-6018/2025.51.4.023. EDN YMRGHH.
18. Аладин Д. В. Модель миварной базы знаний для решения управленческих задач в пространстве состояний / Д. В. Аладин // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2025. Т. 27, № 4. С. 66-71. DOI 10.18127/j19998554-202504-06. EDN WSRHDS.
19. Применение миварных технологий для управления автономными агентами в однопользовательской компьютерной игре / Коценко А. А., Мацнев А. А., Денисов А. С. и др. // Естественные и технические науки. 2024. № 5(192). С. 216-224. DOI 10.25633/ETN.2024.05.18. EDN BEXAAF.
20. Гун Ш. Миварная система принятия решений для распределения и перевозки грузов командой складских роботов / Ш. Гун // Системы управления и информационные технологии. 2025. № 2(100). С. 23-29. EDN XZHHBF.
21. Гун Ш. Миварная система принятия решений по оптимизационному распределению грузов для групп складских роботов / Ш. Гун // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13, № 3(50). DOI 10.26102/2310-6018/2025.50.3.047. EDN WJJQXB.
22. Гун Ш. Модель принятия решений для многозадачных складских роботов на основе четырех-уровневой архитектуры совместной оптимизации / Ш. Гун // Проблемы искусственного интеллекта. 2025. № 3(38). С. 100-112. DOI 10.24412/2413-7383-2025-3-38-100-112. EDN QHTLGB.

References

1. Varlamov O. O. Evolutionary databases and knowledge bases for adaptive synthesis of intelligent systems. Mivar information space. – Moscow: "Radio i Svyaz", 2002. – 286 p. – EDN RWTCOP.
2. Dou L. Decision-making model for fire detection based on pattern recognition and a mivar expert system // Control Systems and Information Technology. – 2025. – No. 3(101). – P. 59-65. – EDN NJVEWG.
3. Aladin D. V., Aladina E. V., Bilalov A. K. et al. Certificate of state registration of the program for electronic warfare M No. 2025616642 Russian Federation. FOX Editor: declared 01.03.2025 : published 18.03.2025. EDN ILIALN.
4. Aladin D. V., Balashov A. M., Gapanyuk Yu. E. et al. Certificate of State Registration of Computer Program No. 2023684948 Russian Federation. FOX MLV: No. 2023683700 : declared 09.11.2023 : published 21.11.2023. EDN FCIJCA.
5. Aladin D. V. Certificate of State Registration of Computer Program No. 2020618424 Russian Federation. Mivar Model Verification System: No. 2020617729: declared 14.07.2020: published 28.07.2020. – EDN BTIFDI.
6. Kotsenko A. A. Certificate of State Registration of Database No. 2025621165 Russian Federation. Database of Three-Dimensional Logical Space for Mivar System of Autonomous Robot Motion: declared 11.02.2025: published 13.03.2025. – EDN HYNGEJ.
7. Kolpakidi N. A., Kotsenko A. A. Certificate of State Registration of Database No. 2025621255 Russian Federation. Mivar Knowledge Base for Biochemical Blood Analysis: declared 26.02.2025 : publ. 19.03.2025. – EDN XWMPTJ.
8. Varlamov O. O. Application of mivar technologies of logical artificial intelligence for creating smart production systems // Information and mathematical technologies in science and management. – 2025. – No. 2 (38). – pp. 32-46. – DOI 10.25729/ESI.2025.38.2.003. EDN OBQUCX.
9. Timakova A. A., Smiryagin V. A., Kurnasov E. V., et al. Creation of a mivar expert system for automation of frequency converter selection // Problems of artificial intelligence. – 2025. – No. 2 (37). – pp. 91-104. – DOI 10.24412/2413-7383-2025-2-37-91-104. – EDN OWXTHH.
10. Gun Sh. Decision-making model for multitask warehouse robots based on a four-level joint optimization architecture // Problems of Artificial Intelligence. – 2025. – No. 3(38). – pp. 100-112. – DOI 10.24412/2413-7383-2025-3-38-100-112. – EDN QHTLGB.
11. Kotsenko A. A. On the development of an MES for decision-making when planning robot actions in a changing environment // Mivar '25: Reports. Moscow: INFRA-M, 2025. – pp. 307-309. – EDN QNNTAT.
12. Kotsenko A. A. On the approach to the development of an MES for planning robot transition actions in a three-dimensional logical space // Mivar '25: Reports. Moscow: INFRA-M, 2025. – pp. 313-315. – EDN GFLTUH.

13. Kotsenko A. Application of three mivar logical space models for route planning of autonomous robots // Science, Technology, and Business. Collection of scientific papers of the VII Interuniversity Conference of graduate students, applicants, and young scientists, 2025. - pp. 162-172. - EDN UXKKPA.
14. Aladin D. V. Method for automatic generation of mivar knowledge bases for solving management problems in state space // Problems of Artificial Intelligence. - 2025. - No. 3(38). - pp. 88-99. - DOI 10.24412/2413-7383-2025-3-38-88-99. - EDN PPUIWN.
15. Beketov R. A., Popov S. D., Kuzmin Ya. A. et al. Development of criteria and comparative analysis of LLM for automated generation of mivar knowledge bases // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. - 2025. - No. 5. - pp. 95-99. - EDN RKQJMV.
16. Salakhutdinova N. Ch. Application of mivar expert systems for the diagnosis of bacterial resistance to antibiotics // Bulletin of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. - 2025. - Vol. 27, No. 2. - pp. 55-73. - DOI 10.35330/1991-6639-2025-27-2-55-73. - EDN LELPHS.
17. Varlamov O., Aladin D. A New Generation of Rules-based Approach: Mivar-based Intelligent Planning of Robot Actions (MIPRA) and Brains for Autonomous Robots // Machine Intelligence Research. - 2024. - Vol. 21, No. 5. - P. 919-940. - DOI 10.1007/s11633-023-1473-1. - EDN TSPUOP.
18. Aladin D. V. Model of a mivar problem-oriented control and decision-making system in state space // Modeling, Optimization and Information Technology. - 2025. - Vol. 13, No. 4(51). - DOI 10.26102/2310-6018/2025.51.4.023. - EDN YMRGHH.
19. Aladin D. V. A mivar knowledge base model for solving control problems in the state space // Neurocomputers: Development, Application. - 2025. - Vol. 27, No. 4. - pp. 66-71. - DOI 10.18127/j19998554-202504-06. - EDN WSRHDS.
20. Kotsenko A. A., Matsnev A. A., Denisov A. S. et al. Application of mivar technologies for controlling autonomous agents in a single-player computer game // Natural and technical sciences. - 2024. - No. 5(192). - Pp. 216-224. - DOI 10.25633/ETN.2024.05.18. - EDN BEXAAF.
21. Gun Sh. Mivar decision-making system for cargo distribution and transportation by a team of warehouse robots // Control Systems and Information Technologies. - 2025. - No. 2(100). - Pp. 23-29. - EDN XZHHBF.
22. Gun Sh. Mivar decision-making system for optimized cargo distribution for groups of warehouse robots // Modeling, Optimization and Information Technologies. - 2025. - Vol. 13, No. 3(50). - DOI 10.26102/2310-6018/2025.50.3.047. - EDN WJJQXB.

RESUME

Arzumanov G.V., Tatarnikov A.E., Petrov M.V., Baldin A.V., Sorokin S.A.

Mivar expert system for manufacturing plastic products on an injection machine

The article is devoted to the development of a mivar expert system (MES) to support decision-making by the staff of the workshop for the production of plastic products on an injection molding machine. The analysis of the technological process of polymer raw materials supply has been carried out, key parameters determining production risks have been identified. As part of the project, a systematic analysis of the subject area of polymer feed was carried out, and a formalized description of the automated loading process was developed in the form of a multi-step knowledge base, including 44 logical rules. The model is implemented in the CASMI Wi environment!Mi Interpreter version 2.1, which allowed for automatic logical output in real time. Special attention is paid to signal processing from load sensors and connections, control of loaders, vacuum generators, purge valves and a distribution table.

The scientific novelty lies in the creation of a new decision-making model constructed in the form of a bipartite oriented graph of a mivar network. The model covers all the key parameters of the feeding system and reflects the interrelationships between the states of injection molding machines, bunkers, silos and actuators. Testing of the system in various production scenarios has confirmed the high accuracy of logical inference and the flexibility of the developed MES. The system can be used both for operational decision support and for staff training, and the evolutionary properties of mivar networks make it easy to add or change knowledge base rules.

РЕЗЮМЕ

Арзуманов Г.В., Татарников А.Е., Петров М.В., Балдин А.В., Сорокин С.А.
Миварная экспертная система для изготовления пластиковой продукции на термопластавтомате

Статья посвящена разработке миварной экспертной системы (МЭС) для поддержки принятия решений персонала цеха производства пластиковых изделий на термопластавтомате. Проведен анализ технологического процесса подачи полимерного сырья, выявлены ключевые параметры, определяющие производственные риски.

В рамках проекта был проведен системный анализ предметной области подачи полимерного сырья, разработано формализованное описание процесса автоматизированной загрузки в виде миварной базы знаний, включающей 44 логических правила. Модель реализована в среде КЭСМИ Wi!Mi Разуматор версии 2.1, что позволило обеспечить автоматический логический вывод в реальном времени. Особое внимание уделено обработке сигналов от датчиков загруженности и подключения, управлению загрузчиками, вакуум-генераторами, продувными клапанами и распределительным столом. Научная новизна заключается в создании новой модели принятия решений, построенной в виде двудольного ориентированного графа миварной сети. Модель охватывает все ключевые параметры системы подачи и отражает взаимосвязи между состояниями термопластавтоматов, бункеров, силосов и исполнительных механизмов. Тестирование системы в различных производственных сценариях подтвердило высокую точность логического вывода и гибкость разработанной МЭС. Система может использоваться как для оперативной поддержки решений, так и для обучения персонала, а свойства эволюционности миварных сетей позволяют легко добавлять или изменять правила базы знаний.

Арзуманов Георгий Варганович, студент Института искусственного интеллекта РТУ МИРЭА, г. Москва, Россия, gog1544@mail.ru. *Область научных интересов:* искусственный интеллект, миварные технологии логического искусственного интеллекта, умные производственные системы, обработка информации, кибернетика

Татарников Антон Евгеньевич, студент Института искусственного интеллекта РТУ МИРЭА, г. Москва, Россия, teret14@mail.ru. *Область научных интересов:* искусственный интеллект, миварные технологии логического искусственного интеллекта, умные производственные системы, обработка информации, кибернетика

Петров Максим Владимирович, студент Института искусственного интеллекта РТУ МИРЭА, г. Москва, Россия, maxim.petrov.vladimirovich@gmail.com. *Область научных интересов:* искусственный интеллект, миварные технологии логического искусственного интеллекта, умные производственные системы, обработка информации, 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@niivk.ru, главный научный сотрудник АО «НИИ «Вычислительных комплексов»», 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

Arzumanov Georgiy Vartanovich, Student, Institute of Artificial Intelligence, RTU MIREA, Moscow, Russia, gog1544@mail.ru. *Research interests*: artificial intelligence, mivar technologies of logical artificial intelligence, smart manufacturing systems, information processing, cybernetics.

Tatarnikov Anton Evgenievich, Student, Institute of Artificial Intelligence, RTU MIREA, Moscow, Russia, teret14@mail.ru. *Research interests*: artificial intelligence, mivar technologies of logical artificial intelligence, smart manufacturing systems, information processing, cybernetics.

Petrov Maksim Vladimirovich, Student, Institute of Artificial Intelligence, RTU MIREA, Moscow, Russia, maxim.petrov.vladimirovich@gmail.com. *Research interests*: artificial intelligence, mivar technologies of logical artificial intelligence, smart manufacturing systems, information processing, cybernetics.

Baldin Aleksandr Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, bal@bmstu.ru. 1) Chief Researcher, JSC "Research Institute of Computing Complexes"; 2) Professor, Department of Information Processing and Control Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia. *Research interests*: artificial intelligence, databases, electronic university, expert systems, logic, mivar technologies of logical artificial intelligence, information processing, decision-making, pattern recognition, natural language understanding, cybernetics, autonomous robotic systems.

Sorokin Sergey Aleksandrovich, Doctor of Technical Sciences, sorokin@niivk.ru, Chief Researcher, JSC "Research Institute of Computing Complexes", Moscow, Russia. *Research interests*: microelectronics, computing systems, artificial intelligence, expert systems, logic, mivar technologies of logical artificial intelligence, information processing, decision-making, pattern recognition, natural language understanding, cybernetics, autonomous robotic systems.

Статья поступила в редакцию 25.02.2026