

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

DESIGN AND TECHNOLOGY OF INSTRUMENTATION AND ELECTRONIC EQUIPMENT

УДК 004.89/65.011.56

doi: 10.21685/2307-5538-2025-1-5

ГЕНЕРАТИВНЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПЛАНИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВА

В. Р. Александров¹, А. А. Щеткин², А. С. Бевз³

^{1,2,3} Научно-производственное предприятие «Исток имени А. И. Шокина», Фрязино, Московская обл., Россия
¹ vrleksandrov@istokmw.ru, ² aaschetkin@istokmw.ru, ³ asbevz@istokmw.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* В современном производстве все большее значение приобретает оптимизация производственных процессов. Одним из эффективных инструментов, позволяющих достичь этой цели, является применение MES/APS-систем (*Manufacturing Execution System/Advanced Planning and Scheduling*) в сочетании с ПоТ (Industrial Internet of Things) и искусственным интеллектом (ИИ), что качественно влияет на разработку и внедрение новых методов и средств механизации, автоматизации, роботизации и цифровизации приборостроительного производства, обеспечивающих повышение производительности, снижение трудоемкости и повышение экономичности производства с учетом решения вопросов обеспечения надежности, экологической безопасности окружающей среды и возможности внедрения в цифровые информационные технологии. В данной статье мы рассмотрим перспективы и вызовы, связанные с применением этих технологий, а также обсудим возможность использования MES/APS в качестве цифрового помощника диспетчера. *Материалы и методы.* Исследования основываются на взаимодействии комплекса программных и аппаратных средств MES/APS, ИИ и отечественной платформы промышленного интернета вещей ПоТ.Istok. *Результаты.* Представлен обзор работы цифрового помощника и краткий анализ. *Выводы.* Представленное исследование использования MES/APS с ИИ в качестве цифрового помощника может повысить показатели эффективности производства путем автоматизации рабочего места диспетчера производства.

Ключевые слова: производство, машинное обучение, ТОиР, планирование, ОЕЕ, промышленный интернет вещей, нейронная сеть, оптимизация, дашборд, киберфизическая система, SCADA, big-data, умное производство, искусственный интеллект, объекты планирования, графы

Для цитирования: Александров В. Р., Щеткин А. А., Бевз А. С. Генеративный искусственный интеллект в планировании производства // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2025. № 1. С. 34–45. doi: 10.21685/2307-5538-2025-1-5

GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MANUFACTURING PLANNING

V.R. Aleksandrov¹, A.A. Shchetkin², A.S. Bevz³

^{1,2,3} Research and Production Enterprise "Istok named after A.I. Shokin", Fryazino, Moscow region, Russia
¹ vrleksandrov@istokmw.ru, ² aaschetkin@istokmw.ru, ³ asbevz@istokmw.ru

Abstract. Background. In modern manufacturing, optimization of production processes is becoming increasingly important. One of the effective tools to achieve this goal is the use of MES/APS systems (Manufacturing Execution System/Advanced Planning and Scheduling) in combination with IIoT (Industrial Internet of Things) and artificial intelligence (AI), which qualitatively affects the development and implementation of new methods and means of mechanization, automation, robotics and digitalization of instrument-making production, ensuring increased productivity, reduced labor intensity, increased cost-effectiveness of production, taking into account the solution of issues of ensuring reliability, environmental safety and the possibility of implementation in digital information technologies. In this article, we will consider the prospects and challenges associated with the use of these technologies, and discuss the possibility of using MES/APS as a digital assistant for the dispatcher. *Materials and methods.* The research is based on the interaction of a set of MES/APS software and hardware, AI and the domestic Industrial Internet of Things Platform IIoT.Istok. *Results.* The article provides an overview of the digital assistant and a brief analysis. *Conclusions.* The presented research on the use of MES/APS with AI as a digital assistant can improve production efficiency by automating the production manager's workplace.

Keywords: manufacturing, machine learning, maintenance and repair, planning, OEE, industrial Internet of Things, neural network, optimization, dashboard, cyber-physical system, SCADA, big data, smart manufacturing, artificial intelligence, planning objects, graphs

For citation: Aleksandrov V.R., Shchetkin A.A., Bezv A.S. Generative artificial intelligence in manufacturing planning. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2025;(1):34–45. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2025-1-5

Введение

Стандартный цикл управления современным предприятием, показанный на рис. 1, поддерживается различными средствами автоматизации, использующими специальные вычислительные процедуры. Как правило, они интегрированы в единую автоматизированную систему управления, основанную на стандартизованных процессах и обеспечивающую единство, целостность используемых данных. Примерами такого подхода являются различные ERP-системы [1–5], широко применяемые в промышленности.

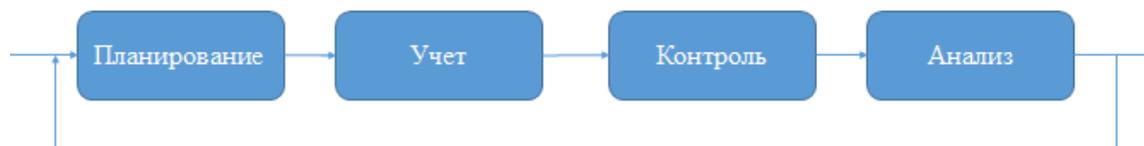


Рис. 1. Цикл управления

Важнейшими процедурами являются расчет потребности в материалах и расчет потребности в производственных мощностях.

Эти классические методы эффективны, если ассортимент продукции предприятия обеспечен гарантированным спросом и не меняется или редко меняется. Для применения расчетных процедур необходимо наличие максимально полной нормативной базы предприятия, включая нормативы складского хранения, нормативные сроки и объемы поставок, производственные и финансовые нормативы [6].

Если эти условия не выполнены или выполнены частично, то нужно искать дополнительные пути повышения эффективности управления. Один из них – совместное использование классических расчетных процедур и вычислительных методов ИИ.

Материалы и методы

MES/APS-системы представляют собой комплекс программных и аппаратных средств, предназначенных для автоматизации производственных процессов. Они позволяют контролировать работу оборудования, управлять производственными процессами и оптимизировать использование ресурсов. Применение MES/APS-систем позволяет повысить эффективность производства, снизить затраты на производство и улучшить качество продукции.

IIoT представляет собой сеть взаимосвязанных устройств, которые собирают и передают данные о производственных процессах в режиме реального времени. Эти данные могут быть использованы для обучения ИИ и разработки алгоритмов, способных анализировать большие объемы информации и принимать решения на основе полученных данных.

В качестве системы IoT рассматривалась отечественная Платформа промышленного интернета вещей IoT.Istok [7], в которую интегрированы возможности не только мониторинга оборудования, но и диспетчеризации, а также возможность работать с разными видами оборудования: технологическим и инженерным. Объединенные функции на базе одной киберфизической системы – IoT и SCADA – позволяют организовать оперативный контроль технологии производства и, в частности, контроль электронной гигиены производства. Применение IoT в сочетании с ИИ позволяет создавать интеллектуальные системы, способные адаптироваться к изменяющимся условиям производства и оптимизировать производственные процессы [8, 9].

Одной из перспективных областей применения MES/APS-систем с использованием ИИ является создание цифрового помощника диспетчера. Диспетчер, работающий в производственном цехе, отвечает за оперативное планирование и контроль за ходом производственного процесса, своевременное реагирование на нештатные ситуации и координацию работы персонала. Использование MES/APS с ИИ в качестве цифрового помощника может значительно облегчить работу диспетчера производства и повысить эффективность управления производством.

Этапы работы ИИ совместно с MES/APS:

– **сбор данных:** MES/APS-система собирает данные о ходе производственного процесса, включая информацию о работе оборудования, параметрах производственных процессов и других важных показателях;

– **анализ данных:** ИИ анализирует собранные данные и выявляет закономерности, которые могут быть использованы для оптимизации производственных процессов;

– **принятие решений:** На основе анализа данных ИИ принимает решения о том, какие меры необходимо предпринять для оптимизации производственных процессов;

– **взаимодействие с диспетчером:** MES/APS-система взаимодействует с диспетчером, предоставляя ему информацию о ходе производственного процесса и предлагая меры по его оптимизации.

Преимущества использования MES/APS в качестве цифрового помощника:

– **снижение нагрузки на диспетчера:** MES/APS-система может взять на себя часть задач, связанных с контролем за ходом производственного процесса, что позволит диспетчеру сосредоточиться на более сложных задачах;

– **повышение эффективности производства:** MES/APS-система может предложить меры по оптимизации производственных процессов, что приведет к повышению эффективности производства;

– **предотвращение нештатных ситуаций:** MES/APS-система может своевременно выявить признаки нештатных ситуаций и предложить меры по их предотвращению.

Результаты

Для проверки эффективности использования MES/APS-систем, взаимодействующих с ИИ, было проведено исследование посредством эксперимента «симуляция процесса принятия решений в рамках одного цеха».

Для симуляции был выбран абстрактный цех (далее – цех) металлообработки, симуляция выполнялась на LLM (англ. *Large Language Model* – большая языковая модель) GPT 4o Mini. В работе цеха для проведения симуляции были отобраны следующие объекты:

- 1) материал (заготовка);
- 2) деталь;
- 3) станок;
- 4) работник.

Также в симуляции принимают участие вспомогательные объекты с состоянием:

- 1) заказ;
- 2) график работы работников;
- 3) текущее выполнение плана по производству деталей;
- 4) текущее состояние склада.

В ходе исследования в первую очередь были изучены процессы, протекающие на производстве, с учетом этого была сформирована абстрактная модель производства.

Для модели производства был составлен синтетический датасет (от англ. *dataset* – набор данных), состоящий из объектов системы и переменных, которые меняются в зависимости от кейса (табл. 1).

Таблица 1

Набор данных и ответы модели

Часть структуры	Кейс № 1	Кейс № 2	Кейс № 3	Кейс № 4	Кейс № 5
1	2	3	4	5	6
Входные данные					
Определение предметной области симуляции	Ты являешься начальником производственного цеха «Фрезерной обработки», который отвечает за производство деталей в поставленные сроки на основе Заказа. Цех представляет собой систему процессов и элементов (объектов), как статических и динамических. Также есть вспомогательные процессы и элементы (объекты) системы				
Описание взаимодействия элементов (объектов) системы	<p>Склад предназначен для хранения материалов (болванок); Материал (болванка) предназначен для изготовления деталей на станках. Из каждого материала можно изготавливать разные детали; Материалы (болванки) для производства: [«Сталь», «Сплав Х», «Медь», «Железо»] Деталь (готовая) – результат обработки материалов на станках. Деталь может производиться из разных материалов. У детали есть среднее время производства; Производимые детали: [«Корпус», «Стойка», «Стакан», «Болт», «Вал», «Шпиндель», «Втулка»] Время (в часах), затрачиваемое на изготовление каждой детали: {«Корпус»: 4, «Стойка»: 2, «Стакан»: 3, «Болт»: 1, «Вал»: 2, «Шпиндель»: 1, «Втулка»: 4} Материалы, из которых изготавливаются детали (представлен словарь, где ключ – требуемый материал, а значение – список производимых деталей из этого материала): { «Сталь»: [«Корпус», «Стойка», «Вал»], «Сплав Х»: [«Корпус», «Болт», «Вал»], «Медь»: [«Стакан», «Шпиндель», «Втулка»], «Железо»: [«Корпус», «Шпиндель», «Втулка»] } Станки, которые изготавливают определенные детали (представлен словарь, где ключ – станок, а значение – список производимых деталей этим станком): { «ЧПУ станок 001»: [«Корпус», «Стойка», «Стакан»], «ЧПУ станок 002»: [«Болт», «Корпус», «Стойка»], «ЧПУ станок 003»: [«Болт», «Вал», «Шпиндель»], «ЧПУ станок 004»: [«Вал», «Шпиндель», «Втулка»], «ЧПУ станок 005»: [«Корпус», «Болт», «Втулка»] } }</p>				

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
	<p>Станок предназначен для производства деталей. За станком могут работать определенные работники. Станок может ломаться и для его починки требуется некоторая часть времени; Используются станки:</p> <p>[«ЧПУ станок 001», «ЧПУ станок 002», «ЧПУ станок 003», «ЧПУ станок 004», «ЧПУ станок 005»]</p> <p>Работник требуется для управления станком. У работника есть свой перечень станков, на которых он работает;</p> <p>Работники цеха:</p> <p>[«Иванов», «Кокорин», «Бодров», «Салотов», «Ворогов», «Самойлов», «Чайкин», «Лапин», «Широв», «Быстров»]</p> <p>Станки, на которых могут работать работники цеха:</p> <p>{</p> <p>«Иванов»: [«ЧПУ станок 001», «ЧПУ станок 002»],</p> <p>«Кокорин»: [«ЧПУ станок 001», «ЧПУ станок 002»],</p> <p>«Бодров»: [«ЧПУ станок 003», «ЧПУ станок 004»],</p> <p>«Салотов»: [«ЧПУ станок 003», «ЧПУ станок 004»],</p> <p>«Ворогов»: [«ЧПУ станок 005», «ЧПУ станок 001»],</p> <p>«Самойлов»: [«ЧПУ станок 005», «ЧПУ станок 001»],</p> <p>«Чайкин»: [«ЧПУ станок 002», «ЧПУ станок 003»],</p> <p>«Лапин»: [«ЧПУ станок 002», «ЧПУ станок 003»],</p> <p>«Широв»: [«ЧПУ станок 004», «ЧПУ станок 005»],</p> <p>«Быстров»: [«ЧПУ станок 004», «ЧПУ станок 005»],</p> <p>«Заменов»: [«ЧПУ станок 001», «ЧПУ станок 002», «ЧПУ станок 003», «ЧПУ станок 004», «ЧПУ станок 005»],</p> <p>«Подменов»: [«ЧПУ станок 002», «ЧПУ станок 003», «ЧПУ станок 004», «ЧПУ станок 005»]</p> <p>}</p>				
<p>Описание процессов</p>		<p>Цех – это производственная единица предприятия. Для каждого цеха поступает заказ на производство деталей. На основе этого заказа формируется план производства цеха, а именно составляется План-график работников (кто в какую смену работает), План производства деталей (что к какому числу требуется произвести и в каком количестве) и План закупки материалов (что и когда требуется закупить).</p> <p>План-график работников статичный, но может динамически изменяться в зависимости от нагрузки. Обычно в План-графике работников 2 смены. Первая смена с 7:00 до 15:30, вторая смена с 15:30 до 24:00. Иногда может добавляться третья смена (внештатная) с 24:00 до 7:30. Еще есть 0,5 часа на обед (не рабочее время), то есть каждый работник в смену работает 8 часов. Штатное расписание работников по схеме 5/2 (5 – рабочих дней, 2 – выходных дня):</p> <p>{</p> <p>«Смена 1»: [«Иванов», «Кокорин», «Бодров», «Салотов», «Ворогов»],</p> <p>«Смена 2»: [«Самойлов», «Чайкин», «Лапин», «Широв», «Быстров»],</p> <p>«Смена 3»: []</p> <p>}</p>			

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
<p>Базовые варианты принятия решений</p>	<p>Представлены проблема и варианты ее решения:</p>	<p>«Отсутствует работник X на своей смене по любой причине»: [</p> <p>«Если работа работника X влияет на производственный план цеха, то требуется заменить его другим работником Y на срок отсутствия работника X»,</p> <p>«Если нет оптимального решения, то требуется сдвинуть сроки сдачи заказа и потом применить какое-то одно из вышесказанных решений»</p> <p>],</p> <p>«Сломался в цеху станок X»: [</p> <p>«Отправить на починку станок X»,</p> <p>«Если работа станка X влияет на производственный план цеха и есть станок, который может заменить на время починки станка X, то требуется вызвать свободных работников в какую-либо смену или поменять приоритеты производства внутри цеха, чтобы успеть выполнить все заказы»,</p> <p>«Если работа станка X влияет на производственный план цеха и нет станка, который может заменить на время починки станка X, то требуется после починки станка X перепланировать производство, чтобы успеть вовремя выполнить заказ»,</p> <p>«Если нет оптимального решения, то требуется сдвинуть сроки сдачи заказа и потом применить какое-то одно из вышесказанных решений»</p> <p>],</p> <p>«Отсутствуют требуемые материалы для производства»: [</p> <p>«Если требуемые материалы в нужном количестве отсутствуют на Складе, то требуется материалы заказать»,</p> <p>«Если нет оптимального решения, то требуется сдвинуть сроки сдачи заказа и потом применить какое-то одно из вышесказанных решений»</p> <p>],</p> <p>«Резко изменились приоритеты заказов»: [</p> <p>«Требуется оптимально перепланировать производство и как варианты: или вызвать свободных работников в дополнительный смену, или заказать материалы, или доставить материалы с Главного склада, или сдвинуть сроки заказа(-ов)»,</p> <p>«Если нет оптимального решения, то требуется сдвинуть сроки сдачи заказа и потом применить какое-то одно из вышесказанных решений»</p> <p>],</p> <p>«Произошла чрезвычайная ситуация в масштабах цеха»: [</p> <p>«Если эта чрезвычайная ситуация влияет на производственный план, то требуется свободных работников вызвать в дополнительную смену на свободные станки, чтобы успеть выполнить заказы в срок»,</p> <p>«Если нет оптимального решения, то требуется сдвинуть сроки сдачи заказа и потом применить какое-то одно из вышесказанных решений»</p> <p>]</p>			

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
Текущее состояние цеха: Заказы	<p>Заказы (представлен словарь, где ключ – название заказа, а значение – список требуемых деталей, их Количество и Срок (через сколько часов заказ должен быть выполнен)):</p> <p>{</p> <p> «Заказ 1»: {</p> <p> «Срок (через сколько часов должно быть готово)»: 336,</p> <p> «Требуемые детали и их количество»: {</p> <p> «Корпус»: 5,</p> <p> «Стойка»: 10,</p> <p> «Болт»: 40,</p> <p> «Стакан»: 20,</p> <p> «Вал»: 5,</p> <p> «Шпиндель»: 10,</p> <p> «Втулка»: 20</p> <p> }</p> <p> }</p>				<p>Заказы (представлен словарь, где ключ – название заказа, а значение – список требуемых деталей, их Количество и Срок (через сколько часов заказ должен быть выполнен)):</p> <p>{</p> <p> «Заказ 1»: {</p> <p> «Срок (через сколько часов должно быть готово)»: 240, «Требуемые детали и их количество»:</p> <p> {</p> <p> «Корпус»: 5, «Стойка»: 10, «Болт»: 40 } ,</p> <p> «Заказ 2»:</p> <p> {</p> <p> «Срок (через сколько часов должно быть готово)»: 160, «Требуемые детали и их количество»:</p> <p> {</p> <p> «Шпиндель»: 10, «Втулка»: 20 } } ,</p> <p> «Заказ 3»:</p> <p> {</p> <p> «Срок (через сколько часов должно быть готово)»: 160, «Требуемые детали и их количество»:</p> <p> {</p> <p> «Стакан»: 20, «Вал»: 5 } } }</p>
Текущее состояние цеха: Готовые детали	<p>Готовые детали на данный момент (представлен словарь, где ключ – название готовой детали, а значение – количество изготовленных деталей):</p> <p>{</p> <p> «Корпус»: 2,</p> <p> «Стойка»: 3,</p> <p> «Стакан»: 4,</p> <p> «Болт»: 10,</p> <p> «Вал»: 3,</p> <p> «Шпиндель»: 10,</p> <p> «Втулка»: 5</p> <p>}</p>				<p>Готовые детали на данный момент (представлен словарь, где ключ – название готовой детали, а значение – количество изготовленных деталей):</p> <p>{</p> <p> «Корпус»: 0,</p> <p> «Стойка»: 0,</p> <p> «Стакан»: 0,</p> <p> «Болт»: 0,</p> <p> «Вал»: 0,</p> <p> «Шпиндель»: 0,</p> <p> «Втулка»: 0</p> <p>}</p>

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
<p>Текущее состояние: Доступные материалы</p>	<p>Доступные материалы на складе (представлен словарь, где ключ – материал (болванка), а значение – количество этого материала (болванок)):</p> <p>{</p> <p>«Сталь»: 100,</p> <p>«Сшлав Х»: 100,</p> <p>«Медь»: 100,</p> <p>«Железо»: 100</p> <p>}</p>	<p>Доступные материалы на складе (представлен словарь, где ключ – материал (болванка), а значение – количество этого материала (болванок)):</p> <p>{</p> <p>«Сталь»: 20,</p> <p>«Сшлав Х»: 20,</p> <p>«Медь»: 20,</p> <p>«Железо»: 20</p> <p>}</p> <p>Изменений не было.</p>	<p>Доступные материалы на складе (представлен словарь, где ключ – материал (болванка), а значение – количество этого материала (болванок)):</p> <p>{</p> <p>«Сталь»: 100,</p> <p>«Сшлав Х»: 100,</p> <p>«Медь»: 100,</p> <p>«Железо»: 100</p> <p>}</p>	<p>Доступные материалы на складе (представлен словарь, где ключ – материал (болванка), а значение – количество этого материала (болванок)):</p> <p>{</p> <p>«Сталь»: 30,</p> <p>«Сшлав Х»: 50,</p> <p>«Медь»: 25,</p> <p>«Железо»: 60</p> <p>}</p>	<p>Доступные материалы на складе (представлен словарь, где ключ – материал (болванка), а значение – количество этого материала (болванок)):</p> <p>{</p> <p>«Сталь»: 30,</p> <p>«Сшлав Х»: 50,</p> <p>«Медь»: 25,</p> <p>«Железо»: 60</p> <p>}</p>
<p>Критичные изменения в работе цеха за прошлый день</p>	<p>Изменений не было.</p>	<p>Изменений не было.</p>	<p>[«Заболел работник Иванов (отсутствует 480 часов)», «Вышел из строя ЧПУ станок 004 (отсутствует 500 часов)»]</p>	<p>[«Заболел работник Иванов (отсутствует 100 часов)», «Вышел из строя ЧПУ станок 001 (отсутствует 200 часов)»]</p>	<p>[«Требуется поменять приоритеты заказов. Заказ 1 и Заказ 2 были отменены. Заказ 3 требуется выполнить в 4 раза быстрее.»]</p>
<p>Примечание</p>	<p>1. Деталь не является Материалом (болванкой) 2. Деталь производится из Материала (болванки)</p>				
<p>Постановка ключевых задач</p>	<p>Ответ на следующие вопросы (также используйте «Базовые и дополнительные варианты принятия решений»):</p> <p>1. Успевают ли цех выполнить заказы в срок (требуется произвести расчет исходя из количества часов до выполнения заказа и суммарным количеством времени для производства недостающих деталей)? Если нет, то почему не успевают и надо предпринять действия.</p> <p>2. Сколько и каких требуется еще произвести деталей, чтобы успеть выполнить все заказы? Пиши конкретно, сколько и каких деталей.</p> <p>3. Хватает ли материалов (болванок) на складе для производства деталей? Если нет, то надо предпринять действия. Пиши конкретно, сколько и каких материалов (болванок).</p> <p>4. Требуется ли привлечь дополнительных работников в дополнительную смену для того, чтобы успеть выполнить заказы в срок?</p> <p>Если да, то надо предпринять действия. Пиши конкретно, кого и в какую смену.</p>				
<p>Шаблон ответа</p>	<p>Тебе требуется писать только конкретные вещи, когда они требуются. Если ничего не требуется предпринимать, то пиши «Штатно.».</p> <p>Свой ответ выдавай по следующему шаблону:</p> <p>1. (ответ);</p> <p>2. (ответ); ... (...); n. (ответ)</p>				

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
Выходные данные и комментарий					
Ответ ГРП	<p>1. Цех не успевает выполнить заказ в срок, так как на данный момент осталось 336 ч до выполнения заказа, а требуется 194 ч на производство недостающих деталей. С учетом неперевиденных ситуаций и возможных проблем необходимо принять действия по оптимизации рабочего процесса.</p> <p>2. Требуется произвести следующие детали:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Корпус: 3 (всего 5, готово 2) – Стойка: 7 (всего 10, готово 3) – Болт: 30 (всего 40, готово 10) – Стакан: 16 (всего 20, готово 4) – Вал: 2 (всего 5, готово 3) – Шпindel: 0 (всего 10, готово 10) – Втулка: 15 (всего 20, готово 5) <p>3. На складе хватает всех необходимых материалов (болванок) для производства деталей. Штатно.</p>	<p>1. Цех не успевает выполнить заказы в срок, так как необходимо произвести 13 деталей, а времени остается только 336 ч. Однако необходимо рассчитать общее время производства недостающих деталей, чтобы определить, требуется ли предпринимать действия.</p> <p>2. Требуется произвести следующие детали:</p> <ul style="list-style-type: none"> Корпус: 3 (всего 5 по заказу – 2 готовых) Стойка: 7 (всего 10 по заказу – 3 готовых) Болт: 30 (всего 40 по заказу – 10 готовых) Стакан: 16 (всего 20 по заказу – 4 готовых) Вал: 2 (всего 5 по заказу – 3 готовых) Шпindel: 0 (всего 10 по заказу – 10 готовых) <p>3. Хватает материалов на складе для производства деталей.</p> <p>Расчет:</p> <ul style="list-style-type: none"> Корпус: 3 из Стали (есть 20) Стойка: 7 из Стали (есть 20) Болт: 30 из Сплава Х (есть 20, требуется дополнительно) Стакан: 16 из Меди (есть 20) Вал: 2 из Стали (есть 20) 	<p>1. Цех не успевает выполнить заказы в срок, так как требуется произвести 48 деталей, включая 3 Корпуса, 7 Стойки, 30 Болтов, 16 Стаканов, 2 Вала, 0 Шпindelей и 15 Втулок. Время производства всех недостающих деталей составляет 202 ч, а времени до выполнения заказа осталось 336 ч. Нужно предпринять действия по перепланировке производства.</p> <p>2. Требуется произвести еще:</p> <ul style="list-style-type: none"> Корпусы: 3 Стойки: 7 Болты: 30 Стаканы: 16 Валы: 2 Шпindelи: 0 Втулки: 15 <p>3. Материалов (болванок) на складе хватает для производства деталей. Необходимо материалы следующие:</p> <ul style="list-style-type: none"> Сталь: 3 Корпуса + 7 Стойка + 2 Вала = 12 (хватает, всего 100 на складе) Сплав Х: 3 Корпуса + 30 Болтов + 2 Вала = 35 (хватает, всего 100 на складе) Медь: 16 Стаканов + 0 Шпindelей + 15 Втулок = 31 (хватает, всего 100 на складе) 	<p>1. Цех не успевает выполнить заказы в срок. Поскольку рабочее время составляет 8 ч в смену, а заказы требуют общего времени 310 ч для завершения (подсчет осложняется отсутствием работников и поломкой станка).</p> <p>2. Необходимо произвести:</p> <ul style="list-style-type: none"> Корпус: 5 штук Стойка: 10 штук Болт: 40 штук Шпindel: 10 штук Втулка: 20 штук Стакан: 20 штук Вал: 5 штук. <p>3. На складе хватает материалов для производства деталей.</p> <p>Остаток:</p> <ul style="list-style-type: none"> Сталь: 30 (для 10 корпусов и 5 стоек) Сплав Х: 50 (для 40 болтов) Медь: 25 (для 20 стаканов и 10 шпindelей) Железо: 60 (для 20 втулок) <p>4. Требуется привлечь дополнительных работников в дополнительную смену. Необходимо пригласить: Работника Заменова для работы на ЧПУ станок 001</p>	<p>1. Цех не успевает выполнить заказы в срок. Заказ 3 теперь нужно выполнить за 40 ч, а необходимо произвести детали: 20 стаканов и 5 валов. Время на их производство составит: $20 * 3 (\text{стакан}) + 5 * 2 (\text{вал}) = 60 \text{ ч}$. При текущем состоянии достижения заказа в 40 ч не может быть выполнено;</p> <p>2. Требуется произвести: 20 стаканов и 5 валов;</p> <p>3. Материалов на складе хватает для производства недостающих деталей. Для 20 стаканов требуются 20 болванок меди, для 5 валов требуется 5 болванок стали или сплав Х. На складе достаточно;</p> <p>4. Дополнительные работники не требуются. Штатно</p>

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
<p>Наблюдение</p>	<p>4. Дополнительно привлечь работников в смену не требуется, так как штатные работники могут справиться с производством в рамках имеющегося времени. Штатно</p>	<p>Шпindelь: 0 из Меди (есть 20) Втулка: 15 из Меди (есть 20) Для производства Болгов (30) из Сплава Х не хватает 10 болванок (можно закупить). 4. Требуется привлечь дополнительных работников в дополнительную смену (Смена 3) для того, чтобы успеть выполнить заказы в срок. Необходимо привлечь: Бодров Салюттов Заменов Подменов</p>	<p>Железо: 3 Корпуса + 0 Шпindelей + 15 Втулок = 18 (хватает, всего 100 на складе) 4. Да, требуется привлечь дополнительных работников в дополнительную смену (Смена 3) для того, чтобы успеть выполнить заказы в срок. Необходимо привлечь: Бодров Салюттов Заменов Подменов</p>	<p>Работника Подменова для работы на ЧПУ станок 002</p>	<p>В целом ИИ работает нормально, но опять считает, что заказы в срок не получаются выполнить</p>
<p>Наблюдение</p>	<p>Для первого кейса были даны данные, которые не требуют перепланирования на производстве. Но модель посчитала, что требуется предпринимать какие-нибудь действия. Парадоксально то, что по другим пунктам она ответила все верно. Скорее всего надо описывать промт более подробно, а также раздробить на много подпромиттов и результаты каждого подпромитта агрегировать во что-то итоговое результирующие</p>	<p>В этом кейсе было рассмотрено состояние, когда не хватает материалов для производства. Языковая модель опять ошиблась в 1 пункте, а также ошиблась и в 3 пункте, так как Меди не хватает на самом деле, но модель почему-то посчитала потребности в материалах по отдельности для каждой детали (что является неверным). На удивление, модель решила вызвать в дополнительную смену двух работников, но не понятно с какой целью. Возможно, она посчитала, что придется ждать новые детали, и время, в которое можно было их производить, надо как-то компенсировать доп. сменой</p>	<p>В данной симуляции были добавлены Критичные изменения, которые напрямую влияют на производственный план цеха. Опять были допущены банальные ошибки в математике, но стоит признать, что языковая модель решила вызвать в дополнительную смену сотрудников, чтобы, видимо, наверстать потенциальное отставание от графика</p>	<p>В данном кейсе разбиты заказы и были критичные изменения. Модель довольно-таки хорошо восприняла сложную ситуацию и дала почти корректный ответ. Она ошиблась в двух местах: 1. Цех успеет все сделать в срок, но модель так не считает, так как она не понимает, что время нужно считать параллельно на всех станках, а модель просто суммирует время производства каждой детали. 2. Количество материалов на самом деле не хватает, а именно 5 меди. 3. Еще почему-то станок стал материалом, что очень удивительно. Помимо прошлых рекомендаций, также можно попробовать построить полноценную симуляцию производства для проверки еще одной гипотезы. Если получится построить симуляцию, то можно будет решить полностью задачу планирования производства с помощью генетических алгоритмов</p>	<p>В целом ИИ работает нормально, но опять считает, что заказы в срок не получаются выполнить</p>

В исследовании был сформирован шаблонный промпт (от англ. *prompt* – запрос, подсказка) для языковой модели, а также генератор промптов, который принимает различные переменные (изменения или состояния) и на выходе дает небольшой отчет с данными кейса. Подготовлен список кейсов, которые задают различные состояния и поведения, таким образом исследование становится объективнее. Через генератор промптов были пропущены все кейсы, полученные исходные промпты были предоставлены языковой модели. Языковая модель выдала ответы на каждый промпт, результаты ответов LLM приведены в табл. 1.

С учетом проведенного исследования применения MES/APS в качестве цифрового помощника авторы столкнулись с рядом вызовов, таких как:

- 1) **сложность разработки:** разработка алгоритмов для MES/APS-системы является сложной задачей, требующей глубоких знаний в области математики, статистики и программирования;
- 2) **необходимость обучения:** MES/APS-система требует обучения на больших объемах данных, что может быть затруднительно в условиях производства;
- 3) **этические аспекты:** применение MES/APS в производстве может вызвать этические вопросы, связанные с безопасностью и конфиденциальностью данных.

Заключение

Применение искусственного интеллекта в виде языковых моделей в MES/APS-системах представляет собой перспективное направление, способное повысить эффективность производства и оптимизировать производственные процессы. Одним из перспективных применений MES/APS-систем является создание цифрового помощника диспетчера, который может значительно автоматизировать работу диспетчера, повысив эффективность производства за счет подготовки вариантов решений на основе полученных данных из различных информационных систем предприятия, включая ERP, IIoT, АСУ ТП, SCADA, MDC. Однако для успешного применения MES/APS в качестве цифрового помощника необходимо преодолеть ряд вызовов, связанных с разработкой алгоритмов, обучением системы и этическими аспектами. В будущем ожидается дальнейшее развитие технологий MES/APS и их применение в качестве цифровых помощников диспетчеров, что позволит создать интеллектуальные системы, способные адаптироваться к изменяющимся условиям производства и оптимизировать производственные процессы.

Список литературы

1. Александров В. Р., Щеткин А. А., Борисов А. А. [и др.]. Искусственный интеллект в задачах планирования производства // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2022. Т. 5, № 2. С. 196–208.
2. Гаврилов Д. А. Управление производством на базе стандарта MRP II. СПб. : Питер, 2008. 416 с.
3. Гайфуллин Б. Н., Обухов И. А. Автоматизация систем управления предприятиями стандарта ERP/MRP II. М. : Богородский печатник, 2000. 104 с.
4. Питеркин С. В., Оладов Н. А., Исаев Д. В. Точно вовремя для России. Практика применения ERP-систем. М. : Альпина Паблишерз, 2010. 368 с.
5. Шваб К. Четвертая промышленная революция : пер. с англ. М. : Эксмо, 2023. 208 с.
6. Особенности планирования производственных ресурсов, стратегия MRP II. URL: <https://iaas-saaspraas.ru/rating/ibp/ibp-in-hse/strategiyamrpii/>
7. Платформа промышленного интернета вещей. URL: <https://istokmw.ru/iiot/>
8. Российский рынок IoT и анализ технологических IoT-платформ для перспективных рынков : пресс релиз. URL: <https://avtprom.ru/news/2016/02/15/rossiiskii-rynok-iot-i-a>
9. Industrial Internet of Things – IIoT. Промышленный интернет вещей. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Industrial_Internet_of_Things_-_IIoT_\(промышленный_интернет_вещей\)_в_России](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Industrial_Internet_of_Things_-_IIoT_(промышленный_интернет_вещей)_в_России)

References

1. Aleksandrov V.R., Shchetkin A.A., Borisov A.A. et al. Artificial intelligence in production planning tasks. *Infokommunikatsionnye i radioelektronnye tekhnologii = Infocommunication and radioelectronic technologies*. 2022;5(2):196–208. (In Russ.)
2. Gavrilov D.A. *Upravlenie proizvodstvom na baze standart MRP II = Production management based on the MRP II standard*. Saint Petersburg: Piter, 2008:416. (In Russ.)
3. Gayfullin B.N., Obukhov I.A. *Avtomatizatsiya sistem upravleniya predpriyatiyami standart ERP/MRP II = Automation of enterprise management systems of the ERP/MRP II standard*. Moscow: Bogorodskiy pechatnik, 2000:104. (In Russ.)

4. Piterkin S.V., Oladov N.A., Isaev D.V. *Tochno vovremya dlya Rossii. Praktika primeneniya ERP-sistem = Just in time for Russia. The practice of using ERP systems.* Moscow: Al'pina Pablisherz, 2010:368. (In Russ.)
5. Shvab K. *Chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya: per. s angl. = The Fourth Industrial Revolution : translated from English.* Moscow: Eksmo, 2023:208. (In Russ.)
6. *Osobennosti planirovaniya proizvodstvennykh resursov, strategiya MRP II = Features of production resource planning, MRP strategy II.* (In Russ.). Available at: <https://iaassaaspaas.ru/rating/ibp/ibp-in-hse/strategiyamrpii/>
7. *Platforma promyshlennogo interneta veshchey = The industrial Internet of Things platform.* (In Russ.). Available at: <https://istokmw.ru/iiot/>
8. *Rossiyskiy rynek IoT i analiz tekhnologicheskikh IoT-platform dlya perspektivnykh rynkov: press reliz = The Russian IoT market and the analysis of technological IoT platforms for promising markets : press release.* (In Russ.). Available at: <https://avtprom.ru/news/2016/02/15/rossiiskii-rynok-iot-i-a>
9. *Industrial Internet of Things – IIoT. Promyshlenny internet veshchey = Industrial Internet of Things.* (In Russ.). Available at: [https://www.tadviser.ru/index.php/Stat'ya:Industrial_Internet_of_Things_-_IIoT_\(promyshlenny_internet_veshchey\)_v_Rossii](https://www.tadviser.ru/index.php/Stat'ya:Industrial_Internet_of_Things_-_IIoT_(promyshlenny_internet_veshchey)_v_Rossii)

Информация об авторах / Information about the authors

Виталий Романович Александров

директор по цифровой трансформации,
Научно-производственное предприятие
«Исток имени А. И. Шокина»
(Россия, Московская обл., г. Фрязино,
ул. Вокзальная, 2а)
E-mail: vr Aleksandrov@istokmw.ru

Vitaly R. Aleksandrov

Director of digital transformation,
Research and Production Enterprise
"Istok named after A.I. Shokin"
(2a Vokzalnaya street, Fryazino,
Moscow region, Russia)

Алексей Алексеевич Щеткин

начальник отдела,
Научно-производственное предприятие
«Исток имени А. И. Шокина»
(Россия, Московская обл., г. Фрязино,
ул. Вокзальная, 2а)
E-mail: aaschetkin@istokmw.ru

Aleksey A. Shchetkin

Head of the department,
Research and Production Enterprise
"Istok named after A.I. Shokin"
(2a Vokzalnaya street, Fryazino,
Moscow region, Russia)

Александр Сергеевич Бевз

программист,
Научно-производственное предприятие
«Исток имени А. И. Шокина»
(Россия, Московская обл., г. Фрязино,
ул. Вокзальная, 2а)
E-mail: asbevz@istokmw.ru

Aleksandr S. Bevz

Programmer,
Research and Production Enterprise
"Istok named after A.I. Shokin"
(2a Vokzalnaya street, Fryazino,
Moscow region, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 19.12.2024

Поступила после рецензирования/Revised 13.01.2025

Принята к публикации/Accepted 05.02.2025