

А.Ю. Чесалов

Интеллектуальные системы для промышленных предприятий

**Технологии умных фабрик
и прогнозируемое обслуживание**



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО

МГТУ им. Н.Э. Баумана

2 0 2 6

УДК 004.91
ББК 32.97
Ч-51

Издание доступно в электронном виде по адресу
<https://press.bmstu.ru/catalog/item/8655/>

Рецензенты:

заместитель директора по научной работе Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН, д-р техн. наук, чл.-корр. РАН *В.В. Грибова*;
профессор кафедры «Вычислительная техника» филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, Президент Российской ассоциации искусственного интеллекта, д-р техн. наук *В.В. Борисов*;
профессор кафедры «Технологии приборостроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана, д-р техн. наук *А.Г. Гудков*;
профессор кафедры «Автоматизированные системы управления» РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р техн. наук *Ю.П. Степин*

Чесалов, А. Ю.

Ч-51 Интеллектуальные системы для промышленных предприятий. Технологии умных фабрик и прогнозируемое обслуживание : монография / А. Ю. Чесалов. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2026. — 233, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-6747-1

Приведен комплексный анализ ключевых мировых трендов, определяющих траекторию цифровой трансформации промышленности на ближайшее десятилетие; сформирован перечень приоритетных производственных задач автоматизации во взаимосвязи с современными технологиями и технологиями искусственного интеллекта в условиях перехода от концепции цифровой экономики к экономике данных. Выполнен анализ возможности интеграции искусственного интеллекта с системами управления производством, управления активами предприятия, планирования ресурсов, управления качеством продукции, управления техническим обслуживанием.

Представлены базовая математическая модель снижения неопределенности данных, поступающих с периферийных устройств (датчиков, шлюзов и др.) промышленного Интернета вещей и обрабатываемых в системах прогнозируемого обслуживания и пример программы машинного обучения «EUS Model 1 PdM/Exp», реализующей базовый алгоритм поддержки принятия решений для промышленных автоматизированных систем прогнозируемого обслуживания.

Для широкого круга читателей; будет также полезна руководителям предприятий.

УДК 004.91

ББК 32.97

В оформлении обложки использована иллюстрация, предоставленная автором.



Уважаемые читатели! Пожелания, предложения, а также сообщения о замеченных опечатках и неточностях Издательство просит направлять по электронной почте: press@bmstu.ru

© Чесалов А.Ю., 2026

© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026

ISBN 978-5-7038-6747-1

Оглавление

От автора	5
Благодарности	10
Предисловие	12
Глава 1. Основные технологические направления цифровой трансформации промышленности Российской Федерации до 2035 года	18
Глава 2. Роль современных технологий искусственного интеллекта в создании и развитии автоматизированных систем прогнозируемого обслуживания	27
Глава 3. Базовый подход к созданию автоматизированных систем прогнозируемого обслуживания в промышленности	38
Глава 4. Концептуальная архитектура автоматизированной системы прогнозируемого обслуживания с использованием перспективных технологий ИИ	52
Глава 5. Тенденции развития технологий периферийного ИИ при автоматизации технологических процессов	72
Глава 6. Решение задачи снижения неопределенности данных на уровне сбора данных автоматизированной системы прогнозируемого обслуживания	84
Глава 7. Математическая модель диагностики технического состояния промышленного оборудования	97
Глава 8. Анализ возможности применения больших языковых моделей в автоматизированных системах прогнозируемого обслуживания на примере OpenThinker2-32B	117
Глава 9. Применение ИИ для реализации алгоритмов потенциала негативности рассогласования в промышленных автоматизированных системах	132
Глава 10. Этические аспекты использования искусственного интеллекта в промышленности	142
Глава 11. Как предсказать поломку и сэкономить миллионы	153
Литература	164
Приложение 1. Исходные тексты программ на языке программирования Python	183
Исходный текст программы «EUS Model 1 PdM/DST», реализующей математическую модель снижения неопределенности данных на основе теории свидетельств Демпстера — Шафера	183

Исходный текст программы «EUS Model 1 PdM / Exp», реализующей алгоритм поддержки принятия решений	197
Исходный текст программы «EUS Model 1 PdM/MMN», реализующей базовый MMN-алгоритм	206
Приложение 2. Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.	210
Приложение 3. Сертификат.	215
Приложение 4. Рецензии	216

ОТ АВТОРА

Наука должна заниматься тем, чего «не может быть», а то, что «может быть», — это уже не наука, а технология.

П.Л. Капица, советский физик, инженер и инноватор, академик АН СССР, нобелевский лауреат

Уважаемые читатели!

Представляю вашему вниманию свою новую научно-исследовательскую работу на тему «Интеллектуальные системы на службе заводов: как предсказать поломку и сэкономить миллионы».

В 2024–2025 годах я побил все личные рекорды по посещению мероприятий и публичным выступлениям на конференциях по искусственному интеллекту (ИИ): по моим подсчетам, их было более тридцати. Должен отметить, что большинство тем моих докладов были тесно связаны с задачами промышленной автоматизации и внедрением новых технологий ИИ в промышленности, англ. Artificial Intelligence, АТ. И это было совсем не случайно...

На тот момент времени я закончил работу над проектом «Создание интеллектуальной платформы и цифровых сервисов передачи, обработки и верификации гетерогенных данных «умного» оборудования неразрушающего контроля в режиме реального времени для устройств промышленного Интернета вещей», который делал для АО «Научно-исследовательский институт интроскопии МНПО «СПЕКТР» (НИИИН МНПО «СПЕКТР»). Он реализовывался в рамках федерального проекта «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» (паспорт программы утвержден протоколом заседания Президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 04.06.2019 № 7). Источник финансирования проекта — грант Российского фонда развития информационных технологий (РФРИТ) в счет субсидии из федерального бюджета, согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 03.05.2019 № 550 «Об утверждении Правил предоставления субсидии из федерального бюджета Российскому фонду развития информационных технологий на поддержку проектов по разработке и внедрению российских решений в сфере информационных технологий» (данная информация будет полезна тем, кто захочет сделать большой проект в области информационных технологий (ИТ), но не обладает достаточными возможностями и финансовыми ресурсами).



Выступление на Всероссийском промышленно-энергетическом форуме
в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва, 2025 год

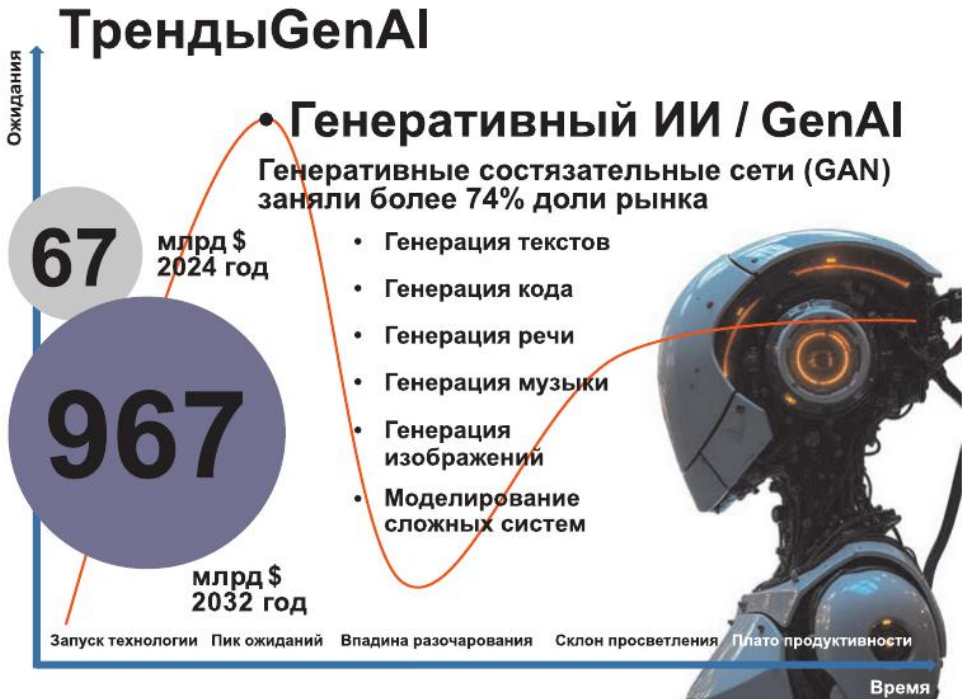
Должен отметить, что это был уникальный опыт, который позволил мне совместно с талантливыми коллегами из НИИИН МНПО «СПЕКТР» превратить идею цифровизации института в концепцию его цифровой трансформации. Это повлекло за собой рождение нового проекта (о котором пойдет речь). В ходе его реализации была проведена огромная работа по анализу рынка, разработке новой архитектуры платформы, подбору отечественной компонентной базы для производства программно-аппаратного комплекса, определены пути модернизации «умных» устройств неразрушающего контроля, разработаны план развития платформы, стратегия ее продвижения на рынок и многое, многое другое. И, наконец, проект был представлен более чем в восьмидесяти организациях. Нужно отметить, что его поддержали основные лидеры рынка и разработчики устройств неразрушающего контроля. В результате к нам присоединились двенадцать технологических партнеров, а девять крупных промышленных заказчиков выразили свою заинтересованность в пилотировании решения и его покупке.

После завершения этого проекта, которому было отдано без малого полтора года, я решил начать работу над своей новой книгой «Генеративный искусственный интеллект #Forge&flux».

Все, возможно, сталкивались с тем, что когда собираешь материал для книги или статьи, приходится читать и анализировать огромное количество информации. И в результате изучения очередного аналитического отчета у меня окончательно сформировалось устойчивое мнение, что наиболее

перспективным с точки зрения инвестиций и темпов развития технологий на тот момент (2024 г.) являлся рынок генеративного искусственного интеллекта (англ. GenAI).

Этот факт дополнительно укрепил мое желание продолжить работу над книгой, которая подробно рассказывала бы читателю о принципах работы системы генеративного ИИ Stable Diffusion WebUI Forge и о том, как с ее помощью можно создавать невероятно красивые изображения.



Оценка мирового рынка генеративного искусственного интеллекта к 2032 году
(слайд из доклада на One AI Forum, Минск, Беларусь, 2024 год)

Продолжая свои исследования и углубляясь в поиск перспективных направлений развития и применения ИИ, я пришел еще к одному интересному для себя выводу: в ближайшие десять лет рынок ИИ в промышленности догонит, а возможно, и обгонит рынок генеративного ИИ. По моему мнению, это произойдет в основном по двум причинам. Первая заключается в том, что перспективнее направления, чем промышленность (вне зависимости от отрасли экономики) нет, и есть огромная потребность в решении, условно говоря, бесчисленного количества прикладных задач автоматизации. Вторая причина заключается в том, что в ближайшие годы произойдет синергетический эффект от интеграции технологий генеративного ИИ в промышленный ИИ. Этот процесс вызовет целый ряд непростых технологических, технических и этических проблем. Резко возрастут риски, связанные

Оглавление

От автора	5
Благодарности	10
Предисловие	12
Глава 1. Основные технологические направления цифровой трансформации промышленности Российской Федерации до 2035 года	18
Глава 2. Роль современных технологий искусственного интеллекта в создании и развитии автоматизированных систем прогнозируемого обслуживания	27
Глава 3. Базовый подход к созданию автоматизированных систем прогнозируемого обслуживания в промышленности	38
Глава 4. Концептуальная архитектура автоматизированной системы прогнозируемого обслуживания с использованием перспективных технологий ИИ	52
Глава 5. Тенденции развития технологий периферийного ИИ при автоматизации технологических процессов	72
Глава 6. Решение задачи снижения неопределенности данных на уровне сбора данных автоматизированной системы прогнозируемого обслуживания	84
Глава 7. Математическая модель диагностики технического состояния промышленного оборудования	97
Глава 8. Анализ возможности применения больших языковых моделей в автоматизированных системах прогнозируемого обслуживания на примере OpenThinker2-32B	117
Глава 9. Применение ИИ для реализации алгоритмов потенциала негативности рассогласования в промышленных автоматизированных системах	132
Глава 10. Этические аспекты использования искусственного интеллекта в промышленности	142
Глава 11. Как предсказать поломку и сэкономить миллионы	153
Литература	164
Приложение 1. Исходные тексты программ на языке программирования Python	183
Исходный текст программы «EUS Model 1 PdM/DST», реализующей математическую модель снижения неопределенности данных на основе теории свидетельств Демпстера — Шафера	183

Исходный текст программы «EUS Model 1 PdM / Exp», реализующей алгоритм поддержки принятия решений	197
Исходный текст программы «EUS Model 1 PdM/MMN», реализующей базовый MMN-алгоритм	206
Приложение 2. Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.	210
Приложение 3. Сертификат.	215
Приложение 4. Рецензии	216