



# **Искусственный интеллект в автоматизации химико- технологических процессов – не панацея, но серьезные выгоды**

Виктор Дозорцев, директор по развитию бизнеса

# Содержание

Пик хайпа Искусственного Интеллекта

---

Что такое ИИ? Не только машинное обучение!

---

Сверхкраткая история ИИ в ХТП

---

ИИ в высокотехнологичной автоматизации ХТП (примеры)

---

Выводы и перспективы

---

# Пик хайпа Искусственного Интеллекта<sub>1</sub>

- **Мировой рынок ИИ**  
\$200B (2023) → \$400B+ (2027) → \$1,8T (2030). Из них в B2B ~ \$600B. **Годовой рост – 37.3%**
- **Вклад ИИ в мировой ВВП: \$15,7T (2030)**
- **Рост производительности труда: 40% в 16 сегментах рынка (2030)**
- **Мировой лидер ИИ: Китай, 26% рынка (2030)**
- **87% транснациональных компаний** уверены в росте бизнеса за счет ИИ
- **75% всех компаний** опасаются закрытия из-за неспособности внедрить ИИ
- **Перерабатывающая промышленность** далека от первой десятки
- **Примеры в ТЭК:** предиктивная аналитика (BP), поиск неисправностей оборудования (Shell, добыча), управление скважинами (ADNOC)
- **Активней всего растут** машинное обучение (**МО**) и обработка естественного языка (NLP)
- **300 млн. рабочих мест под угрозой** (77% работников опасаются этого в ближайшем будущем)
- **Должны сменить профессию** от 75 до 350 млн. работников (2030)
- **97 млн. новых рабочих мест (2025)**

# Пик хайпа Искусственного Интеллекта<sub>2</sub>

- **Российский рынок ИИ. 2023: 650₽ млрд. (+18% от 2022).** По некоторым отраслевым сегментам РФ в **первой пятерке**; по участию государства – **на 7 месте**  
**Вклад в ВВП к 2028: 4.2-6.9₽ трлн. (4% ВВП)**
- **70% рынка за 6 отраслями:** ритейл, банки, металлургия, транспорт и логистика, производство потребительских товаров, ИТ
- **ТЭК и нефтехимия – далеки от лидеров**

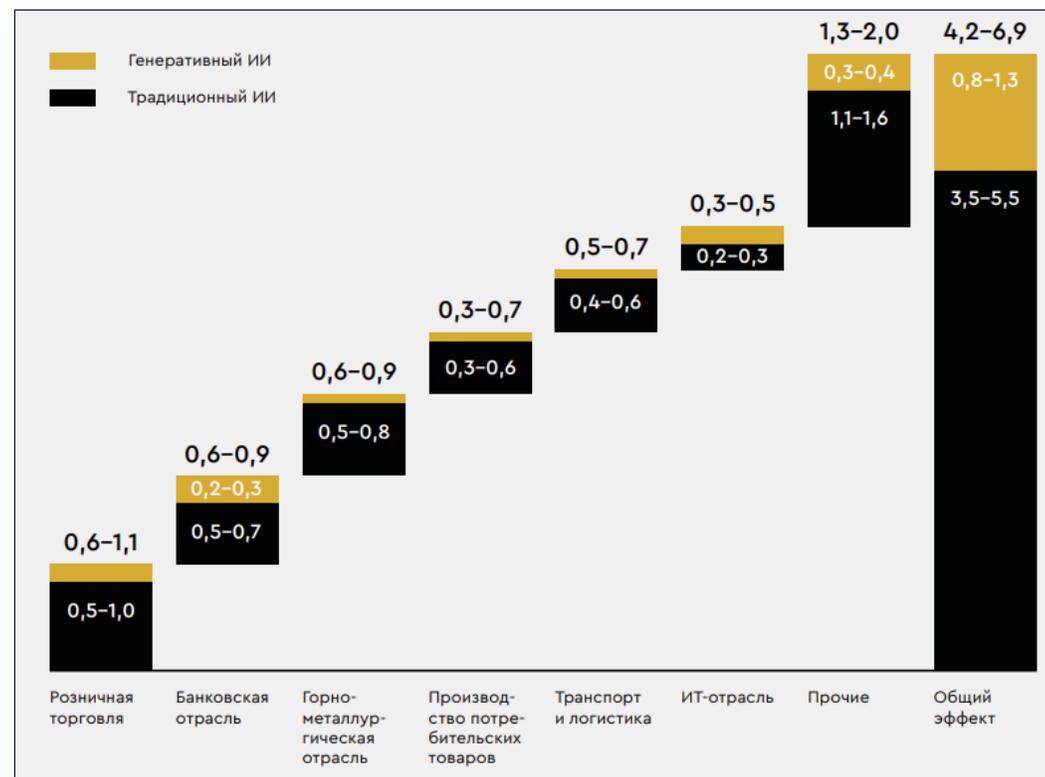
## Производство и переработка

- Используют ИИ: 25.8% (из них 54.2% - отечественный)
- Планируют начать до 2027: 23%
- Разрабатывают сами: 39%

## ТЭК и химия

- Используют ИИ: 40.6% (из них 63.2% - отечественный)
- Планируют начать до 2027: 20%
- Разрабатывают сами: 63%

ГПН – снабжение, добыча  
Роснефть – добыча



# Что такое ИИ? Не только машинное обучение!

- **ИИ** – «изучение того, как заставить компьютеры делать то, в чем на данный момент люди лучше» (Rich, 1983)
- **ИИ** – это приложение, способное обучаться. Особенно это свойственно МО и генеративному ИИ (**ГенИИ**). **Но ИИ начался раньше!**
- **Нисходящий** подход, когда «человеческие» решения реализуются с помощью машин
  - фреймовые технологии (необходимые знания представляются в форме атрибутов и их значений)
  - семантические сети (связь признаков объекта в виде ориентированного графа)
  - нечеткие вычисления (учет неточностей и неопределённостей)
  - экспертные системы – искусственный аналог коллективного интеллекта (извлечение, обработка, хранение и использование экспертных знаний)
- **Восходящий** подход, основанный на принципах живой природы
  - искусственные нейронные сети (**ИНС**) – моделирование процессов, происходящих в живом мозге
  - эволюционные и молекулярные вычисления, нейрокомпьютинг
  - генИИ (порождение данных разной модальности на основе больших языковых моделей)
- **Любая ИИ-система** построена либо на одном из указанных подходов, либо на их объединении
- **Гибридный ИИ** объединяет преимущества и нивелирует недостатки обоих подходов

# Сверхкраткая история ИИ в ХТП<sub>1</sub>

До глубокого машинного обучения и генеративного ИИ

- **1970-е: проектирование технологических систем** (синтез, планирование, оптимизация и управление рисками) – фреймовые технологии
- **1980-е: диагностика неисправностей и анализ рисков** – экспертные системы на основе семантических сетей и нечетких вычислений
- **1990-е: диагностика неисправностей на основе ИНС**
- На этих этапах прорыва не произошло
  - не было соответствующих вычислительных возможностей
  - не хватало данных: ХТП – не самый богатый источник «чистых», незашумленных данных
  - не сформировался рыночный запрос на ИИ – другие технологии обещали и давали больше
  - не прошло времени, необходимого для вызревания научно-технического направления и возникновения технологического рывка

# Сверхкраткая история ИИ в ХТП<sub>2</sub>

## Глубокое машинное обучение и гибридное моделирование

- **Середина 2000-х:** мощные компьютеры позволили обучать большие нейронные сети, появились большие наборы данных, разработаны мощные математические инструменты ИИС
- **Важный тренд** – привлечение в рамках гибридного подхода методов фундаментального моделирования (**ФМ**) ХТП
- **ФМ моделируют объект управления, а ИИ моделирует человека, управляющего объектом**
- ФМ не всегда достаточно полно описывает объект, но может восстановить данные, необходимые для ИИ, визуализировать и объяснить ИИ-решения
- **Гибридный подход** особенно перспективен в проектировании материалов, разработке катализаторов, исследовании технологических операций, диагностике неисправностей, обучении персонала ХТП

# ИИ в высокотехнологичной автоматизации ХТП<sub>1</sub>

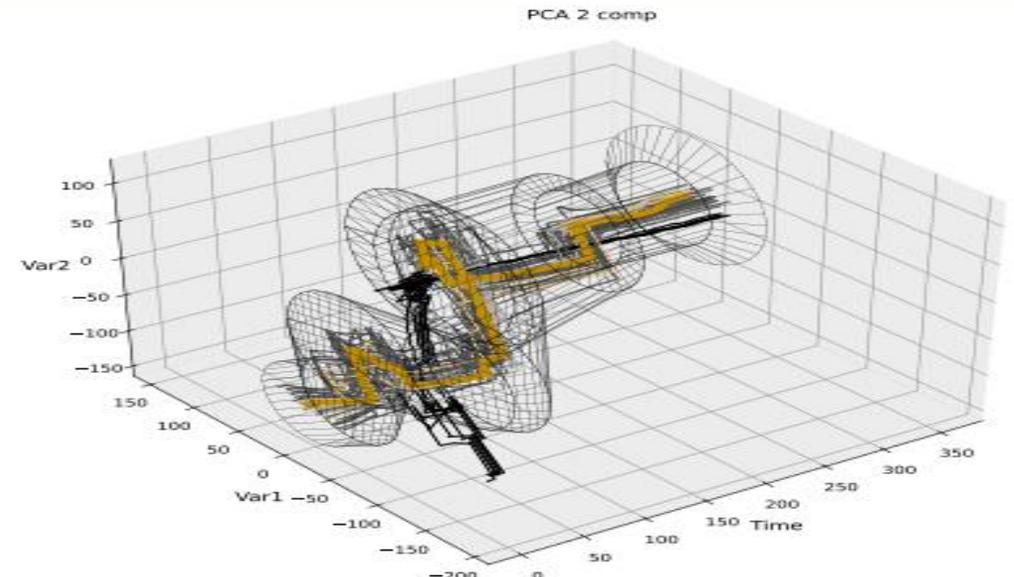
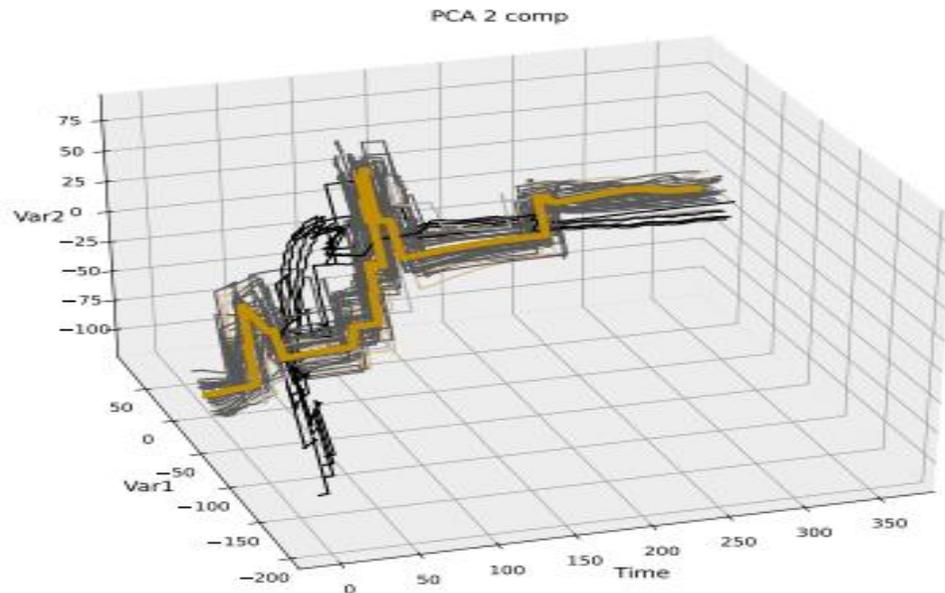
## Дополнение высокоточного моделирования: суррогатные модели

- **Трудности построения теоретической модели**
  - невозможно достоверно восстановить огромное число параметров
  - на основе дополнительных источников (системы высокоточного моделирования, пилотные пробеги, лаборатория и т.д.), можно генерировать большие массивы исходных данных для различных условий работы ХТП
  - суррогатная модель строится как модель МО с учителем (регрессионные методы или ИНС)
- **Численный расчет проблемного фрагмента ФМ занимает недопустимое время**
  - в задачах проектирования, инжиниринга, настройки и оптимизации ХТП
  - вычислительная сложность снижается за счет построения упрощенной МО-модели на данных полной ФМ

# ИИ в высокотехнологичной автоматизации ХТП<sub>2</sub>

## Автоматическое оценивание действий оператора (в тренинге и реальной работе)

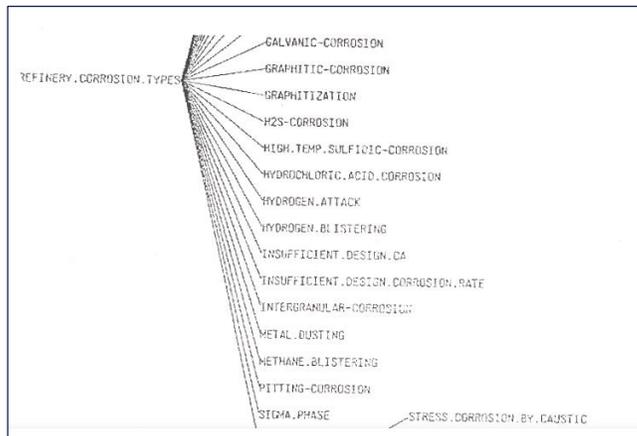
- **Надежные оценки действий** для определения профессиональной готовности и прогресса операторов, индивидуализации программы тренинга
  - нормативные оценки (на основе шаблонов правильных действий) трудны в реализации и субъективны
  - описательные оценки на основе ИИ обучаются на массиве данных, генерируемых ФМ ХТП
- **Решающее правило** (разделение действий по качеству) строится с помощью понижения размерности пространства параметров (метод главных компонент) в форме «огораживающих» тоннелей
  - точность оценивания доказана в представительных экспериментах
  - описательная оценка позволяет улучшить нормативную путем «расшивки» требований к исполнению



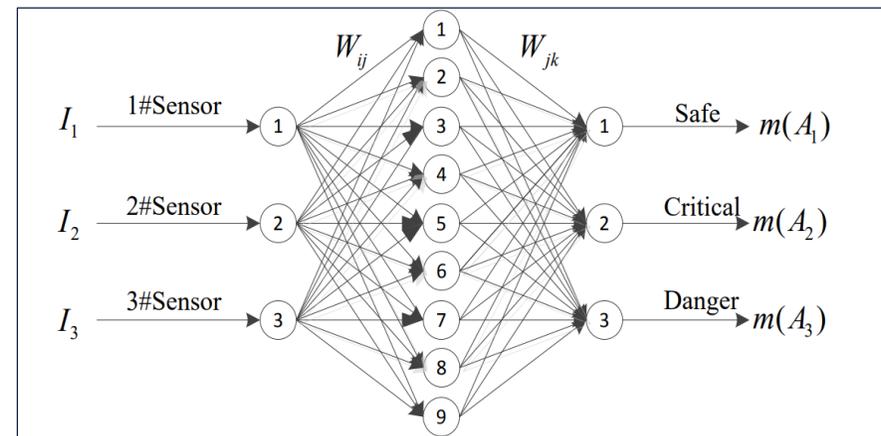
# ИИ в высокотехнологичной автоматизации ХТП<sub>3</sub>

## Интеллектуальный мониторинг ХТП

- **Мониторинг состояния критического оборудования (10-15% общего состава)**
  - **Автоматический анализ данных** о состоянии оборудования и раннее выявление потенциальных проблем и отказов
  - Снижение простоев, повышение доступности оборудования, управление надежностью, переход на обслуживание по состоянию
  - **Нисходящий ИИ:** деревья оборудования (значения параметров, симптомы отказов и неисправности, расчёты ненаблюдаемых переменных); раннее предупреждение об отказах (по ФМ оборудования)
  - **Восходящий ИИ:** МО для определения безопасных, опасных и критических состояний объекта



Bogaerts, Zheng. MPC 2014

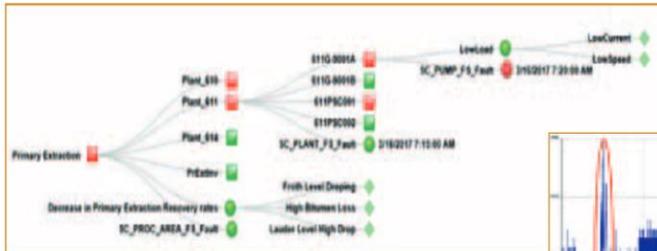


Zheng, IJHIT, 2016, V.9, No.8

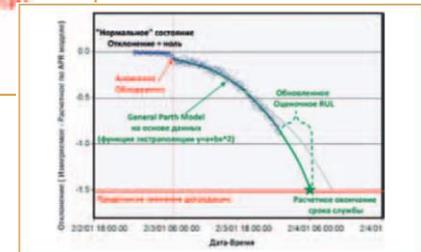
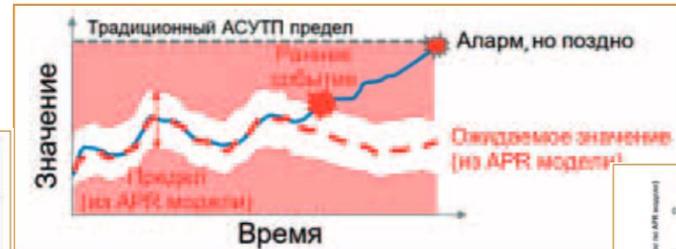
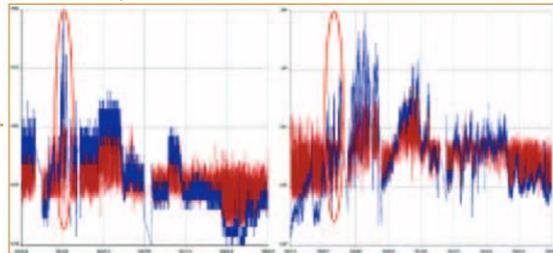
# ИИ в высокотехнологичной автоматизации ХТП<sub>4</sub>

## Предиктивная аналитика состояния ХТП

- **Предиктивная аналитика (предсказание событий)**
  - **Симптоматические** модели на основе экспертных знаний персонала, анализа причин отказов, анализа опасности и работоспособности (HAZOP), анализа причинно-следственных связей
  - **Диагностические** модели на основе распознавания образов
    - байесовские сети; предупреждение об отказах и определение их причин; зашумленность данных; недостаток данных о редких отказах; огромный парк оборудования
  - **Прогностические** модели (достоверная оценка срока службы оборудования)
    - средняя наработка на отказ, стресс-факторы (специфические условия эксплуатации), данные деградации оборудования
  - **Фундаментальные** модели ХТП для предиктивной аналитики отклонений в режиме ХТП



Владов и др., 2019



# ИИ в высокотехнологичной автоматизации ХТП<sub>5</sub>

## Усовершенствованное управление ТП

- **Важный компонент СУУТП - виртуальные анализаторы (ВА) качества**
  - выбор оптимальных управлений с учетом моделируемых прогнозных значений показателей качества
  - традиционно строятся как **регрессионные модели** (как правило, линейные), прогнозирующие показатели качества по измеряемым значениям косвенных переменных процесса
  - однако данные обучающей выборки часто принадлежат узкому режиму работы ХТП, влияние факторов трудно отличать от шума
  - бывает трудно найти измеряемые параметры, надежно связанные с искомым показателем качества
- **ФМ и МО для построения виртуальных анализаторов**
  - «инъекция» фундаментальных знаний в регрессионные модели применяются давно
  - известны попытки использования ИНС (многослойных персептроны или экстремальные обучающие машины)
  - имеются теоретические и экспериментальные исследования; практических результатов нет
  - неправильно исключать принципиальную возможность обнаружения скрытых зависимостей в данных, что позволит строить ВА там, где это не получается традиционными методами
  - ФМ может также генерировать данные (в том числе на основе нелинейных зависимостей) для классических статистических ВА

# ИИ в высокотехнологичной автоматизации ХТП<sub>6</sub>

## Планирование производства и оптимизация смешения нефтепродуктов

- Задачи **объемного планирования** решаются методами линейного программирования за приемлемое время
  - но в случае нелинейных зависимостей прибегают к **последовательному линейному программированию**; объем расчетов многократно увеличиваются, могут возникать **локальные оптимумы**
  - **выбор стартовых условий** оптимизации с помощью ИНС или генетических алгоритмов выглядит привлекательно – известны попытки таких постановок
  - в **календарном планировании** из-за огромного числа целочисленных переменных оптимизационные методы могут не работать. Для непрерывных ХТП **обнадёживающих результатов пока нет**
- В **оптимизации смешения нефтепродуктов** ключевой фактор – точность зависимостей качества смеси от соотношения и качества компонентов
  - законы смешения нелинейны и рассчитываются по приближенным зависимостям, строящимся **по данным предыдущих смешений**
  - задача схожа с построением ВА в СУУТП. Применение методов ИИ ограничивается **недостаточной информационной насыщенностью имеющихся данных**

# Выводы и перспективы

- Не следует обольщаться впечатляющими успехами ИИ в других областях.  
**ИИ применим не ко всем ХТП и работает далеко не во всех задачах**
- Несмотря на определенные успехи **ИИ пока не стал массовым и прорывным инструментом** в автоматизации ХТП
- На сегодня ИИ – конгломерат методов и моделей, работающих на «алхимическом» уровне
- Во многом это определяется **дефицитом содержательных данных**, необходимых для МО
- Представляется, что будущее ИИ в ХТП связано с **гибридными технологиями** на базе ФМ, МО, механизмов причинно-следственных объяснений, методов обнаружения, извлечения и представления знаний
- По мере проникновения ИИ в автоматизацию ХТП все серьезнее проблема **взаимной адаптации человека-оператора и ИИ**, которая призвана снять или ослабить **недоверие человека ИИ**, повысить **прозрачность и объяснимость** алгоритмов, решить проблемы **этики и мотивации** взаимодействия
- **ИИ развивается стремительно – через пару лет эти выводы могут серьезно скорректироваться!**



# Спасибо!

 +7 (495) 788 99 99

 [info@rubytech.ru](mailto:info@rubytech.ru)

 Москва, ул. Годовикова, 9, стр. 17

 [www.rubytech.ru](http://www.rubytech.ru)