

ПИСЬМО-ПРЕЗЕНТАЦИЯ

Применение ИИ в АО «Зд-Металл»

Решения для 3D-печати металлом и инженерного дизайна

От: ООО «ПАРАДОКС» • ИНН 7838096134

Кому: АО «Зд-Металл» • ИНН 7811470994



ООО «ПАРАДОКС» — ИИ для производственных компаний

Российская технологическая компания, специализирующаяся на внедрении искусственного интеллекта в производственные процессы. Мы помогаем промышленным предприятиям повышать качество продукции, снижать издержки и ускорять разработку новых изделий за счёт машинного обучения, компьютерного зрения и генеративного дизайна.



Производство

CV-контроль качества,
предиктивная аналитика
оборудования, оптимизация
параметров



Инженерия

Генеративное
проектирование,
автоматизация CAD/CAE,
подбор материалов



Данные

ML-платформа, MLOps,
цифровые паспорта партий,
аналитика качества

РЕКВИЗИТЫ

ООО «ПАРАДОКС»

ИНН

7838096134

АДРЕС

190013, г. Санкт-Петербург, ул. Бронницкая, дом 36, корп. Лит. А, 14

ТЕЛЕФОН

+7 966 751 74 76

E-MAIL

sale@porodox.ru

САЙТ

<https://porodox.ru/>

Документ направлен в письме от ООО «ПАРАДОКС» ИНН
7838096134

Почему ИИ — сейчас

3D-печать металлом в России: рост спроса при сохраняющихся узких местах

Аддитивное производство металлом (SLM, EBM, MBJ) сегодня — ключевая технология для серийных деталей в аэрокосмической отрасли, машиностроении и медицине. АО «Зд-Металл» работает на растущем рынке, где каждый процент брака, каждая неделя разработки новой детали и каждый час простоя принтера напрямую влияют на маржинальность. ИИ позволяет закрыть эти узкие места системно, а не точно.

до 30%

партий с браком

доля деталей, требующих
перепечати или доработки при
отсутствии in-situ контроля

10+

параметров SLM/EBM

мощность лазера, скорость
сканирования, hatch spacing,
толщина слоя — ручная настройка
занимает итерации

2–3 нед.

цикл разработки детали

от ТЗ до валидированной CAD-
модели с механическими
испытаниями

70%

стоимости — порошок и время

основная статья себестоимости 3D-
печати металлом — материал и
машинное время

Что предлагает ПАРАДОКС

Два направления, шесть системных решений — поверх существующей инфраструктуры АО «Зд-Металл»

01 ПРОИЗВОДСТВО 3D-ПЕЧАТИ



AI-контроль качества печати

Компьютерное зрение для инспекции слоёв и готовых деталей, обнаружение пористости, трещин, деформации в реальном времени



Предиктивное обслуживание принтеров

Анализ телеметрии SLM/EBM: лазер, газ, вибрации.
Прогноз отказов за 7–14 дней до инцидента



Оптимизация параметров печати

ML-рекомендации по laser power, scan speed, hatch spacing — сокращение числа тестовых партий на 50–70%

02 ИНЖЕНЕРНЫЙ ДИЗАЙН



Генеративное проектирование

Топологическая оптимизация с ML-сюррогатами:
снижение массы детали на 25–45% при сохранении прочности



Автоматизация CAD/CAE

LLM-помощник для инженеров: генерация макросов, DfAM-проверки, техническая документация по 3D-модели



Подбор материалов и режимов

Рекомендательная система сплавов и параметров:
Ti6Al4V, Inconel 718, AlSi10Mg, 316L — по требованиям ТЗ

01 / 02

Производство 3D-печати металлом

ИИ для контроля качества, надёжности оборудования и оптимизации режимов печати

AI-контроль качества печати

Компьютерное зрение для инспекции слоёв и готовых деталей

CV-модель анализирует видеопоток с камеры, установленной в камере принтера, и изображения готовых деталей после выгрузки. In-situ мониторинг каждого слоя позволяет остановить печать при появлении дефектов — экономя машинное время и порошок.

- ✓ Обнаруживаемые дефекты
пористость, растрескивание, деформация геометрии, непровар, шлаковые включения
- ✓ Точность модели
95%+ обнаружения дефектов на ранней стадии (recall на тестовой выборке)
- ✓ Время анализа
3-5 сек на деталь vs 30+ минут ручной инспекции

– 60% БРАКА ×8 быстрее КОНТРОЛЬ 24/7 МОНИТОРИНГ

COMPUTER VISION

Industrial Cameras They Help With Inspection?

AI camera is and how it powers
on. Learn how machine vision systems
in manufacturing.



In-line инспекция: термография + высокоскоростная камера + CV-модель

Предиктивное обслуживание SLM/EBM-принтеров

ML-прогноз отказов по телеметрии оборудования

Модель анализирует поток телеметрии принтеров — мощность лазера, спектр вибраций оптики, состав газовой среды, температуру камеры, состояние фильтров — и прогнозирует остаточный ресурс критических узлов. Уведомления приходят за 7–14 дней до потенциального отказа, что позволяет планировать ремонт в окне между партиями.

30–50%

снижение незапланированных простоев

за счёт раннего обнаружения деградации лазерных диодов и recoater

20–40%

экономия на ремонте

плановое обслуживание по состоянию, а не по регламенту

7–14 дн.

заблаговременность прогноза

окно для планирования ремонта без срыва партий



Телеметрия принтера

10 Гц – 1 кГц



ML-модель

градиентный бустинг +
LSTM



Алерты

в Telegram / e-mail / SCADA



Плановый ремонт

в окне между партиями

Оптимизация параметров печати

ML-рекомендации по режимам SLM/EBM вместо матрицы экспериментов

Вместо перебора 10+ параметров (мощность лазера, скорость сканирования, hatch spacing, толщина слоя, стратегия скана) ML-модель рекомендует оптимальный рецепт под конкретную геометрию и сплав. Модель обучается на исторических партиях и результатах механических испытаний, что сокращает число тестовых прогонов в разы.

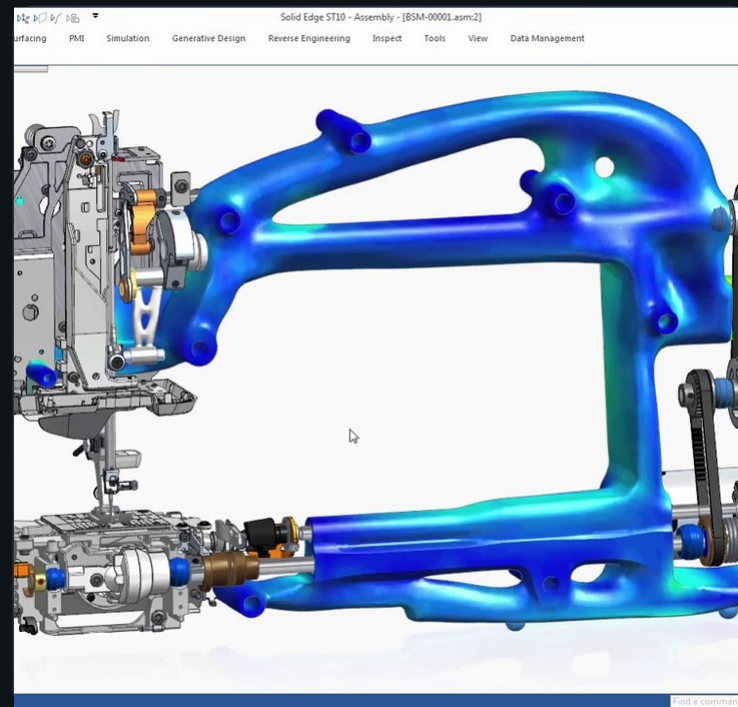
- ▶ Сокращение тестовых партий на 50–70%
модель генерирует 3–5 кандидатов вместо 20–30 экспериментов
- ▶ Стабильность механических свойств
разброс предела текучести $\pm 3\%$ вместо $\pm 12\%$ baseline
- ▶ Перенос рецептов между машинами
компенсация индивидуальных особенностей принтеров

– 65%
ТЕСТОВ

$\pm 3\%$
РАЗБРОС

5
КАНДИДАТОВ

ML / RL



Суррогатная ML-модель заменяет FEA-расчёт при поиске оптимальных режимов

02 / 02

Инженерный дизайн и R&D

ИИ для генеративного проектирования, автоматизации CAD и подбора материалов

02

Генеративное проектирование и топологическая оптимизация

ML-суррогаты FEA для итеративной оптимизации геометрии

Классическая топологическая оптимизация требует десятков FEA-расчётов на одну деталь — это дни вычислений. ML-суррогатная модель, обученная на библиотеке FEA-расчётов 3д-Металл, предсказывает напряжённо-деформированное состояние за секунды. Это позволяет исследовать тысячи вариантов геометрии и находить оптимальную под заданные нагрузки и ограничения DfAM.

- ✦ -25-45% массы детали
при сохранении или повышении прочности и жёсткости
- ✦ Итерации: 2-3 дня вместо 2-3 недель
за счёт суррогатной модели вместо full FEA
- ✦ Готовность к DfAM
генерируемая геометрия проверяется на технологичность печати

– 35%

МАССА

×7

БЫСТРЕЕ

DfAM-ready

ГЕОМЕТРИЯ

GENERATIVE DESIGN



Топологически оптимизированная деталь: –35% массы при сохранении прочности

Автоматизация CAD/CAE и инженерной документации

LLM-помощник, DfAM-валидатор и индексация исторических проектов

«Инженеры АО «Зд-Металл» тратят значительную часть времени на рутинные операции: написание макросов, проверку чертежей, подготовку ТУ и КД, поиск аналогов в архиве. LLM-интеграции в CAD-стек и индексация исторических проектов закрывают именно эти операции.»



LLM-ассистент инженера

GRASSHOPPER · NX OPEN · PYTHON

Генерация макросов и скриптов по текстовому описанию задачи, авто-документирование моделей, ответы по корпоративной базе знаний. Сокращение времени на рутину — 30–50%.



Авто-проверка DfAM

RULE ENGINE + CV

Автоматическая проверка CAD-модели на технологичность печати: угол свеса, толщины стенок, отверстия, тепловые концентраторы. Снижение количества итераций «модель → печать → доработка» в 2–3 раза.



Поиск по архиву проектов

VECTOR SEARCH · 10K+ CAD

Семантический поиск по 10 000+ исторических CAD-моделей и КТ-сканов: «показать похожие кронштейны с нагрузкой > 5 кН». Время поиска аналога — секунды вместо дней.

Подбор материалов и режимов печати

Рекомендательная система сплавов и параметров по требованиям ТЗ

«Инженер вводит требования к детали (механические свойства, температурный режим, масса, бюджет) — система ранжирует подходящие сплавы и предлагает готовый рецепт параметров печати, основанный на исторических данных и результатах испытаний. Прогноз механических свойств выполняется ML-моделью до запуска партии.»

Сплав	Применение	σв, МПа	ρ, г/см³	Рекоменд. мощность лазера, Вт	Скорость скана, мм/с
Ti6Al4V	Аэрокосмос, импланты	950	4.43	250–300	1200–1400
Inconel 718	ГТД, турбины	1240	8.19	285–320	900–1100
AlSi10Mg	Прототипы, кронштейны	460	2.67	350–400	1300–1700
316L	Медицина, химия	580	7.99	220–270	1000–1300
CuCr1Zr	Теплообменники	230	8.89	300–370	600–900

✓ Все рекомендации валидируются на тестовых образцах 3д-Металл. Прогноз механических свойств: MAE < 4% по пределу текучести, < 6% по удлинению.

Эффект для АО «Зд-Металл»

Совокупный потенциал через 18 месяцев после пилота

«Цифры основаны на бенчмарках внедрений ИИ в аддитивном производстве (EOS, SLM Solutions, Materialise) и отраслевых исследованиях. Точные значения фиксируются в пилотной фазе на данных Зд-Металл.»



– 40–60%

брака в производстве

in-situ CV-контроль + раннее
обнаружение дефектов

+15–25%

ОЕЕ оборудования

предиктивное обслуживание и
оптимизация партий

– 50–70%

времени разработки

генеративный дизайн + авто-CAD/CAE

8–14 мес.

срок окупаемости

ROI 200–300% на второй год

Как мы работаем

От пилота — к промышленной системе за 6 месяцев

«Мы предлагаем поэтапную модель: пилот на одном направлении с измеримым результатом → внедрение в продакшен → поддержка и развитие. Это снижает риск инвестиций и позволяет на каждом этапе принимать решение о продолжении на основе реальных данных, а не обещаний.»

01

ПИЛОТ

Пилотный проект

8-12 недель

Одно направление (контроль качества / генеративный дизайн / предиктивное обслуживание). Один принтер или один класс деталей. Фиксированная стоимость. Измеримый KPI в финальном отчёте.

- ✓ Демонстрация на данных 3д-Металл
- ✓ Решение go / no-go по итогам

02

ВНЕДРЕНИЕ

Промышленное внедрение

4-6 месяцев

Развёртывание выбранного решения в продакшене. Интеграция с CAD/CAM, MES, ERP. Обучение команды 3д-Металл. Передача документации и кода. Поэтапная оплата по milestone.

- ✓ MLOps-платформа и мониторинг
- ✓ SLA и регламент поддержки

03

ПОДДЕРЖКА

Развитие и поддержка

12+ месяцев

SLA 24/7, ежемесячные ревью качества моделей, дообучение на новых данных. Дорожная карта расширения на новые направления и участки производства.

- ✓ Quarterly business review
- ✓ Roadmap расширения

Следующий шаг — встреча с технической командой АО «3д-Металл»

→ sale@porodox.ru · +7 966 751 74 76

АО «ЗД-МЕТАЛЛ» × ООО «ПАРАДОКС»

Готовы обсудить пилот

Ответим на любые вопросы по решению, организации пилота и интеграции с вашими системами



ТЕЛЕФОН

+7 966 751 74 76



E-MAIL

sale@porodox.ru



САЙТ

<https://porodox.ru/>



АДРЕС

190013, г. Санкт-Петербург, ул. Бронницкая, дом 36, корп. Лит. А, 14



ИНН

7838096134