

Применение ИИ и цифровых инструментов в целлюлозно-бумажной промышленности

Обзор зарубежных практик и российских решений

Сергей Земелькин



БУДУЩЕЕ ОТРАСЛИ —
В ТЕХНОЛОГИЯХ И
ДАННЫХ



Отрасль сталкивается с четырьмя вызовами: энергоёмкость, кадры, маржа, износ оборудования

Энергоемкость

Производство ЦБП потребляет до 30% всей промышленной энергии в России. Рост тарифов снижает маржинальность.

Износ оборудования и инфраструктурные ограничения

Средний возраст основных производственных активов 25–35 лет. Высокие капитальные затраты на модернизацию, логистические ограничения (ж/д, порты) снижают конкурентоспособность.



Кадровый дефицит

Нехватка квалифицированного персонала, средний возраст сотрудников > 45 лет, сложности с привлечением молодых специалистов в регионах присутствия.

Давление на маржу

Глобальная конкуренция и волатильность цен снижают EBITDA маржу с ~20% (2019) до ~12–15% (2023). Компании должны оптимизировать затраты.

- ЦБП остаётся одной из ключевых отраслей, но сталкивается с вызовами, требующими инновационных решений и цифровизации.

Цифровая трансформация меняет бизнес-модели, а не только технологии

Ручная работа



- Бизнес-процессы выполняются вручную

Автоматизация



- Устраняется ручной труд из бизнес-процессов
- Технологии не меняются радикально

Цифровизация



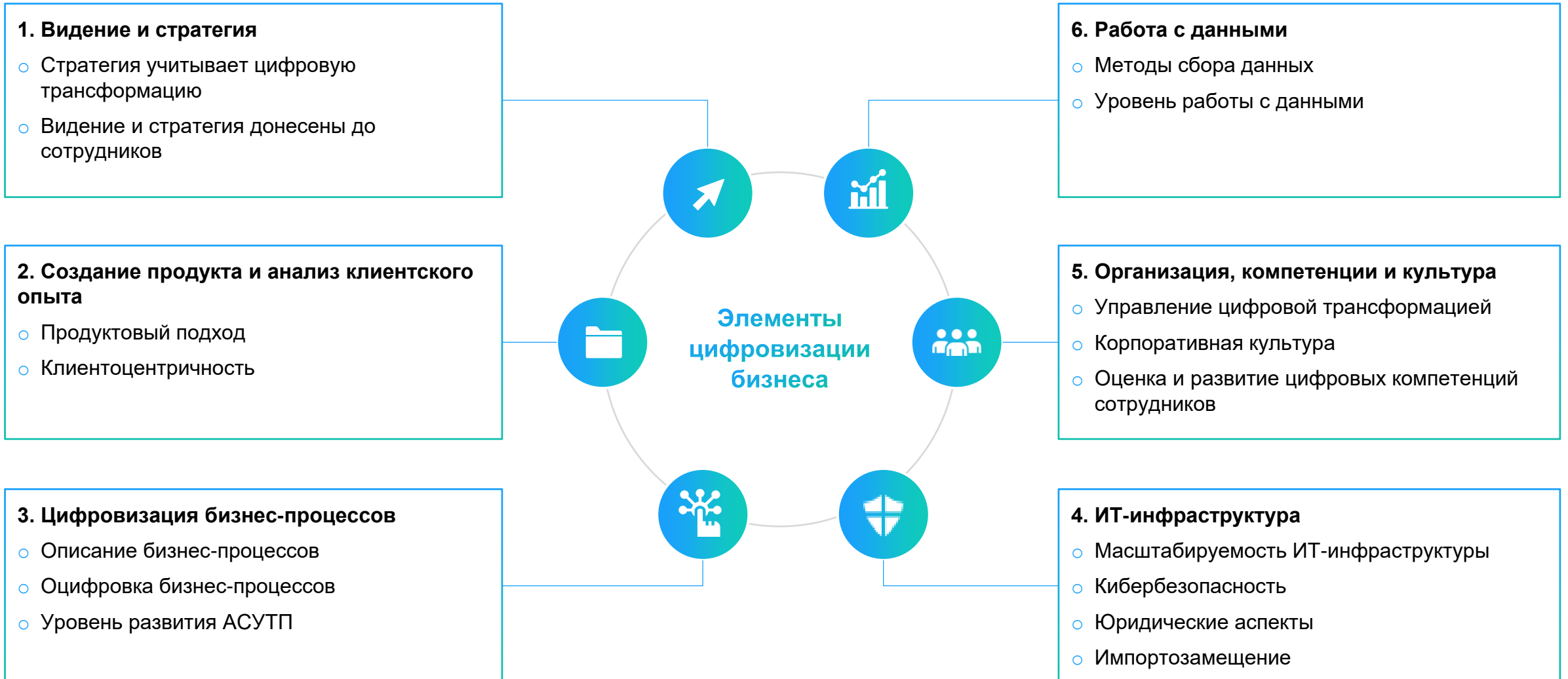
- Бизнес-процессы становятся цифровыми

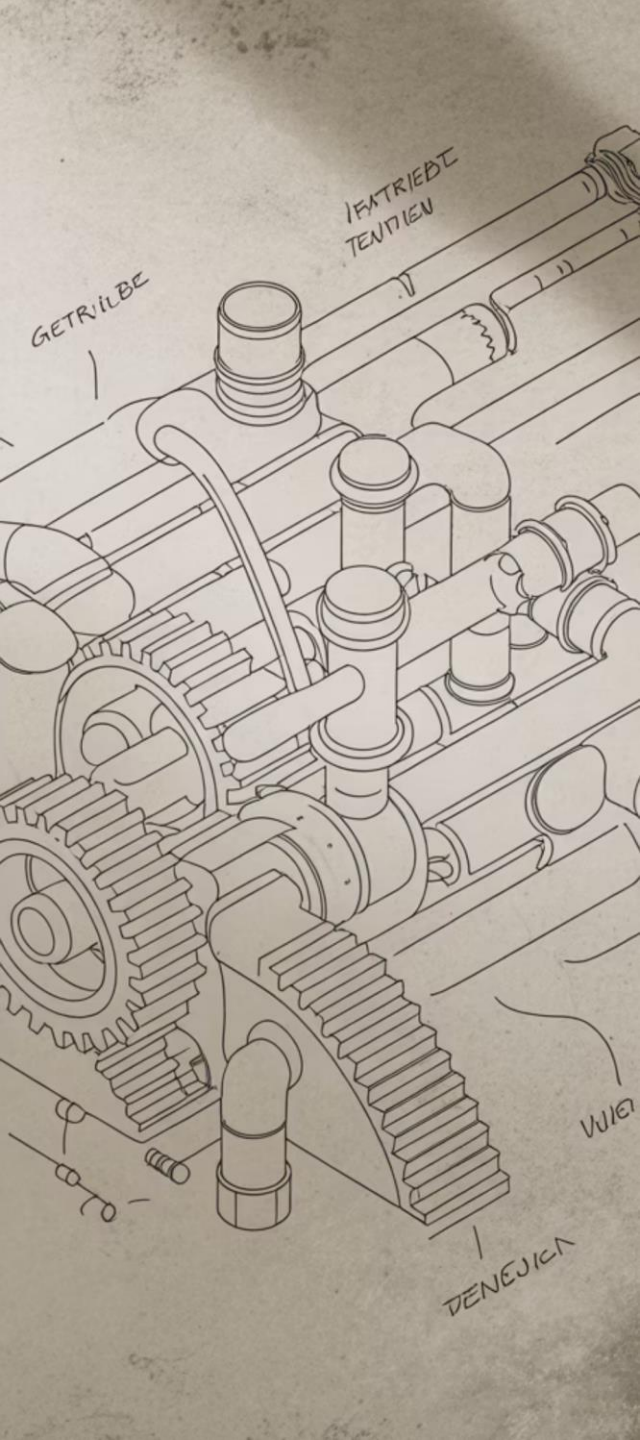
Цифровая трансформация



- Бизнес-процессы изменяются под влиянием новых технологий
- Появляются новые бизнес-модели

Цифровая трансформация – охватывает все аспекты работы компании



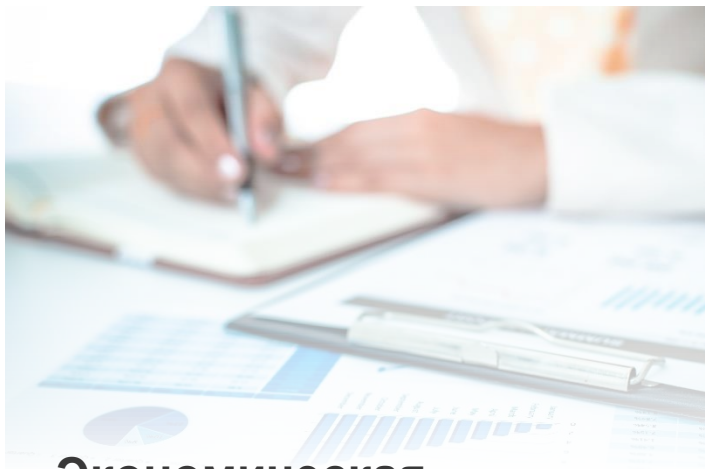


Нет единого определения ИИ, но для ЦБП он – практический инструмент эффективности и снижения рисков

Источник	Определение
ГОСТ Р 43.1.1—2023	ИИ — способность технической системы выполнять задачи, которые требуют человеческого интеллекта: анализ, прогнозирование, принятие решений, обучение.
Европейская комиссия (EU AI Act, 2021)	ИИ-система — программное обеспечение, разработанное с использованием одной или нескольких техник (ML, логика, статистика), которое может, по заданной цели, генерировать выводы, рекомендации или решения , влияющие на физическую или цифровую среду.
McKinsey & Company	ИИ — это набор технологий , которые позволяют машинам воспринимать, интерпретировать, учиться и действовать , приближаясь к человеческому мышлению в узких задачах.
OpenAI	ИИ — это системы, которые принимают решения и делают выводы на основе данных , и могут адаптироваться при поступлении новой информации.
Стэнфордская энциклопедия философии	ИИ — область исследований, целью которой является создание систем, способных к разумному поведению .
ISO/IEC 22989	Способность системы приобретать, обрабатывать и применять знания для достижения целей

- Для ЦБП мы используем прикладное определение: ИИ – это комплекс инструментов для повышения эффективности, устойчивости и снижения рисков.

Компании внедряют ИИ ради трёх целей: экономика, необходимость, управление рисками



Экономическая эффективность

- Рост выручки
- Снижение затрат
- Повышение качества работы с персоналом



Производственная необходимость

- Передача знаний о работе установок (цифровые двойники)
- Сложнодостижимые для мониторинга объекты



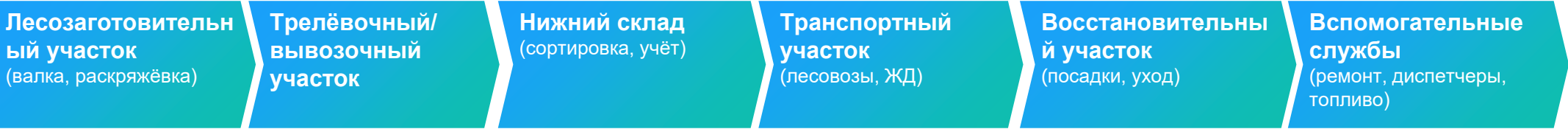
Снижение рисков

- Снижение рисков возникновения аварий (карта рисков)

**ЛЕСОЗАГОТОВКА:
ГДЕ ИИ РАБОТАЕТ
УЖЕ СЕГОДНЯ**



В лесозаготовке наибольший потенциал у транспортировки и валки



Маржинальность

• Средняя (базовый этап, стоимость за м³ формируется здесь, но маржа ограничена)	• Низкая (чистая логистика, ценность не добавляет)	• Средне-низкая (добавка за сортировку и контроль качества, но небольшая)	• Низкая (не увеличивает стоимость, только доставляет)	• Отрицательная • (чистые расходы, прямой прибыли не приносит)	• Косвенная (не создают прибыль, но снижают риски и простои)
--	--	---	--	--	--

Ресурсоемкость

• Высокая (дорогие харвестеры, топливо, ремонт, операторы)	• Очень высокая (форвардеры, топливо, дороги)	• Средняя (техника, персонал, иногда дробилка для щепы)	• Очень высокая (ГСМ, амортизация, дороги, тарифы ЖД/порт)	• Средняя (саженцы, техника, дроны, персонал)	• Высокая (ГСМ-база, сервис техники, IT)
--	---	---	--	---	--

Особенности

• «Сердце» бизнеса, но капиталоемкий.	• Одно из самых затратных звеньев.	• Может увеличить цену сырья за счёт правильной сортировки.	• Влияет на финальную себестоимость сильнее всего.	• Обязателен для арендатора леса, даёт ESG-эффект и «пропуск» к новым вырубкам.	• Если здесь экономить, то ломается вся цепочка.
---------------------------------------	------------------------------------	---	--	---	--

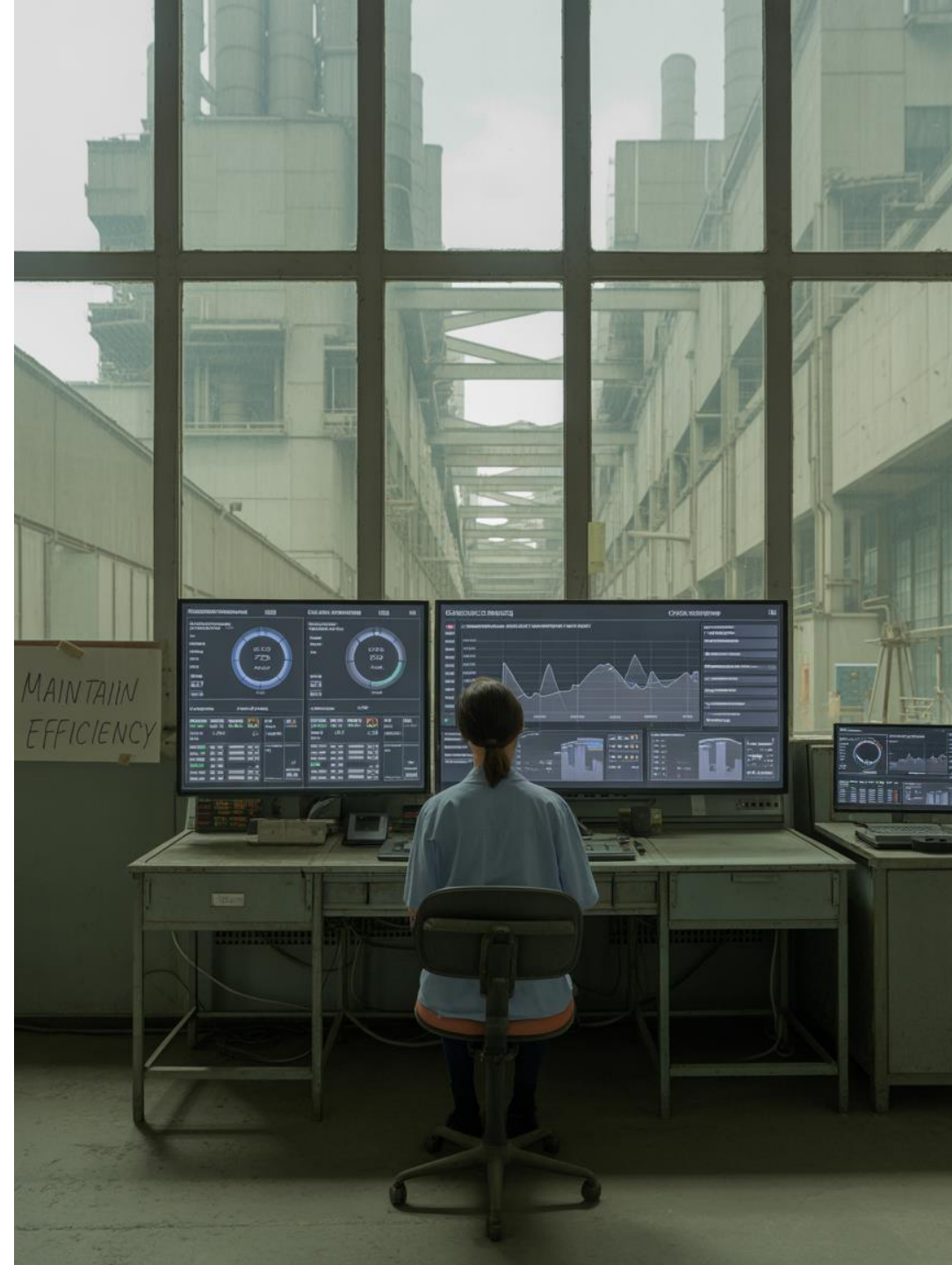
ИИ решает ключевые проблемы лесозаготовки — от износа техники до воровства древесины

	Лесозаготовительный участок (валка, раскряжёвка)	Трелёвочный/вывозочный участок	Нижний склад (сортировка, учёт)	Транспортный участок (лесовозы, ЖД)	Восстановительный участок (посадки, уход)	Вспомогательные службы (ремонт, диспетчеры, топливо)
Основные проблемы	• Износ и простои техники. • Ошибки операторов (недоруб, перерасход топлива). • Нестабильное качество сортиментов.	• Высокие затраты топлива • Сложность оптимизации маршрутов • Опасные условия труда.	• Ошибки в сортировке (смешение пород, размеров) • Потери при хранении • Ручной учёт древесины.	• Высокая стоимость логистики • Разрушение дорог и сезонная непроходимость • Сложность контроля перевозок (воровство, потери).	• Низкая приживаемость посадок. • Дорогой ручной труд • Сложный контроль за площадями.	• Простой техники из-за несвоевременного ремонта • Сложный учёт топлива (воровство, перерасход) • Неэффективная диспетчеризация
Решения с помощью ИИ и цифровых технологий	• IoT-сенсоры + предиктивное ТО (AI прогноз отказов харвестеров) • Машинное зрение для контроля точности реза • AR/VR-симуляторы для обучения операторов.	• GPS/AI-маршрутизация для оптимизации трелёвки • Алгоритмы контроля загрузки форвардеров • Дроны для мониторинга движения и состояния площадок.	• Компьютерное зрение для автоматической сортировки брёвен • RFID/QR-метки для учёта древесины • BI-дашборды для складской аналитики.	• AI-оптимизация маршрутов (учёт погоды, сезонности) • GPS-трекеры и телематика на лесовозах • Блокчейн для прозрачности цепочки поставок (например, ForesTrust, FSC Trace)	• Дроны и роботы для посева семян (DroneSeed, AirSeed) • AI-модели для прогнозирования роста леса • Спутниковый мониторинг для контроля возобновления леса.	• IoT-датчики для мониторинга топлива и техники • AI-аналитика для оптимизации графиков ремонтов • ERP + мобильные приложения для учёта ресурсов и выездных бригад.

Зарубежные и российские кейсы показывают: цифровизация уже работает в лесозаготовке

	Лесозаготовительный участок (валка, раскряжёвка)	Трелёвочный/вывозочный участок	Нижний склад (сортировка, учёт)	Транспортный участок (лесовозы, ЖД)	Восстановительный участок (посадки, уход)	Вспомогательные службы (ремонт, диспетчеры, топливо)
Зарубежные кейсы	John Deere (США/глобально) TimberMatic Maps: система для планирования рубок и визуализации лесосек в реальном времени. Ponsse (Финляндия) Интеллектуальные харвестеры с автоматическим подбором режимов резки.	Komatsu Forest (Швеция) Автоматизация логистики внутри лесосек, мониторинг загрузки машин.	Stora Enso (Финляндия) Компьютерное зрение для автоматической сортировки и измерения брёвен.	ForesTrust (Канада) Блокчейн-платформа для прозрачности цепочки поставок древесины. FSC Trace (международная инициатива) Система цифровой сертификации и отслеживания древесины.	DroneSeed (США) Дроны-сеялки для автоматического посева семян на вырубках. AirSeed (Австралия) Использование ИИ-дронов для точечного посева и мониторинга роста леса.	Komatsu + Ponsse (глобально) Цифровые сервис-платформы для предиктивного обслуживания лесных машин.
Российские кейсы	Segezha Group (РФ) Харвестеры с IoT-датчиками, предиктивное ТО, ERP-учёт древесины.	Илим Групп (РФ) GPS-системы и телематика на форвардерах для оптимизации вывозки.	Архангельский ЛПК (РФ) Внедрение RFID-меток для учёта брёвен.	ULK Group (РФ) GPS-слежение за лесовозами, онлайн-контроль маршрутов.	Segezha Group (РФ) Спутниковый мониторинг выполнения лесовосстановительных работ.	Илим Групп (РФ) IoT-системы учёта топлива и мониторинга техники.
Эффекты	- Рост производительности на 5–15% за счёт оптимизации маршрутов и автоматизации режимов резки. - Снижение простоев техники благодаря предиктивному обслуживанию и IoT-мониторингу. - Повышение прозрачности учёта древесины в ERP и минимизация ошибок.	- Сокращение времени простоев машин на 10–15% через телематику и IoT-управление. - Экономия топлива до 10% за счёт оптимизации маршрутов вывозки. - Повышение загрузки техники и снижение холостых рейсов.	- Снижение ошибок учёта древесины на 10–20% благодаря RFID и 3D-сканерам. - Ускорение сортировки и обработки древесины (рост скорости на 15–25%). - Повышение прозрачности поставок через интеграцию данных в ERP.	- Прозрачность всей цепочки поставок благодаря блокчейн-системам. - Минимизация рисков нелегальной древесины и сертификационные преимущества. - Снижение логистических затрат (ГСМ, простой вагонов/лесовозов) до 10–15%.	- Снижение стоимости лесовосстановления на 50–70% благодаря дронам и спутниковому контролю. - Ускорение темпов посадки (в 5–6 раз быстрее ручной работы). - Повышение приживаемости леса на 20–30% за счёт ИИ-анализа почвы и подбора семян.	- Снижение простоев техники за счёт предиктивного ТО. - Экономия ГСМ на 7–10% и предотвращение хищений через IoT-системы. - Продление срока службы машин и сокращение затрат на ремонты.

ПЕРЕРАБОТКА: ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ



В ЦБК максимальная ценность цифровизации сосредоточена в варке, отбелке и бумагоделательных цехах

	Древоподготовка	Варочный цех	Отбеливающий цех	Бумагоделательный цех	Картонный / гофроцех	Энергетический цех (ТЭЦ)	Очистные сооружения
Маржинальность	• Низкая (только подготовка сырья).	• Средняя (базовый этап получения целлюлозы).	• Средняя (не даёт прямой прибыли, но влияет на качество конечного продукта).	• Очень высокая (основной продукт с добавленной стоимостью).	• Высокая (но ниже бумаги, зависит от сегмента).	• Нейтральная (экономия/затраты).	• Отрицательная (чистые расходы).
Ресурсоемкость	• Средняя (техника, дробилки, персонал).	• Очень высокая (пар, щёлоч, химикаты, энергия).	• Высокая (химия, вода, энергия).	• Высокая (оборудование, энергия, вода).	• Низкая (процесс менее энергоёмкий).	• Высокая (топливо, энергия, котлы).	• Высокая (оборудование, реагенты, вода, электроэнергия).
Особенности	• Влияет на качество щепы, а значит — на весь дальнейший процесс.	• «Сердце производства», основной драйвер себестоимости.	• Влияет на белизну, качество и конкурентоспособность; зона оптимизации расхода реагентов.	• Даёт основную прибыль, критичен к качеству сырья и стабильности работы.	• Спрос устойчивый, но маржа чувствительна к ценам на бумагу.	• Ключевая зона для энергоэффективности, цифровые двойники дают большой эффект.	• Обязательный блок для экологии и лицензий; точка для ESG и цифрового мониторинга.

ИИ помогает ЦБК снижать издержки и повышать качество на всех стадиях производства

	Древоподготовка	Варочный цех	Отбеливающий цех	Бумагоделательный цех	Картонный / гофроцех	Энергетический цех (ТЭЦ)	Очистные сооружения
Основные проблемы	• Непостоянное качество щепы (размер, влажность). • Потери сырья при корчёвке и дроблении • Сложно контролировать запасы и логистику древесины.	• Перепады качества целлюлозы (недовар/перевар) • Высокое потребление химикатов и пара • Риск аварий в варочных котлах.	• Большие расходы реагентов • Высокая нагрузка на очистные сооружения (стоки) • Опасные химикаты (хлор, ClO₂).	• Частые обрывы полотна • Большие энергозатраты на сушку • Сложный контроль качества полотна (дефекты незаметны оператору).	• Неравномерное склеивание слоёв • Брак при печати и резке • Сложная логистика заказов (много SKU).	• Износ оборудования (котлы, турбины) • Нестабильность теплового и электрического баланса • Высокие выбросы.	• Высокая нагрузка стоков (органика, химия) • Неустойчивость биологических процессов • Риски экологических штрафов.
Решения с помощью ИИ и цифровых технологий	• Компьютерное зрение для контроля качества щепы в реальном времени • IoT-сенсоры на окорочных барабанах и щепорезах для оптимизации режимов • Дроны и системы учёта складов (автоматическая инвентаризация).	• Цифровой двойник варочного котла (моделирование режимов) • AI-анализ данных датчиков для оптимизации расхода химии и энергии • Предиктивная аналитика отказов оборудования.	• AI-оптимизация дозировок реагентов (снижение на 10–15%) • Модели прогнозирования качества отбелки (белизна, вязкость) • Автоматизированный контроль выбросов и сбросов.	• Компьютерное зрение для обнаружения дефектов бумаги в онлайн • AI-алгоритмы прогнозирования обрывов по вибрации/давлению • Оптимизация сушильных режимов с помощью цифрового двойника.	• Машинное зрение для контроля клеевого шва • AI для оптимизации параметров печати/резки • BI-системы для управления заказами и прогнозирования спроса.	• Предиктивная аналитика на базе датчиков вибрации/температуры • Цифровые двойники котлов и турбин • AI-модели оптимизации сжигания «чёрного щёлока» для снижения выбросов..	• Онлайн-сенсоры качества воды (pH, ХПК, БПК) • AI-прогнозирование пиковых нагрузок • Автоматическая регулировка подачи кислорода и реагентов.

Кейсы Stora Enso, UPM, Mondi и российских лидеров доказывают экономический эффект цифровизации

	Древоподготовка	Варочный цех	Отбеливающий цех	Бумагоделательный цех	Картонный / гофроцех	Энергетический цех (ТЭЦ)	Очистные сооружения
Зарубежные кейсы	Stora Enso (Финляндия) Компьютерное зрение для контроля качества брёвен и щепы.	Mondi (Австрия/Россия) Автоматизация контроля варочных котлов и химического баланса.	UPM (Финляндия) Интеллектуальные системы отбели (снижение реагентов на 10–15%).	Stora Enso (Финляндия) Компьютерное зрение + предиктивная аналитика для предотвращения обрывов. Valmet (Финляндия) Цифровые двойники бумагоделательных машин, управление сушкой и энергией.	Mondi (Словакия) Машинное зрение для контроля клеевого слоя и печати на упаковке.	Stora Enso (Финляндия) AI-системы оптимизации энергопотребления на заводах.	Mondi (Австрия) AI-модели для прогнозирования нагрузок на очистные сооружения.
Российские кейсы	Илим Групп (РФ) Автоматизированные системы сортировки щепы, ERP для учёта древесины.	Илим Групп (РФ) Цифровой двойник содорегенерационного котла, AI для оптимизации режима варки.	Архангельский ЦБК (РФ) AI-модели для оптимизации расхода ClO ₂ .	Segezha Group (РФ) Машинное зрение для онлайн-контроля полотна, BI для производственных KPI.	Илим Групп (РФ) BI-системы для прогнозирования спроса на картон, цифровизация гофрозаводов.	Илим Групп (РФ) Цифровой двойник ТЭЦ (энергетический баланс), AI для оптимизации сжигания щёлока.	Segezha Group (РФ) Система онлайн-мониторинга качества сточных вод, автоматизация подачи реагентов.
Эффекты	- Повышение качества щепы за счёт компьютерного зрения и автоматизированной сортировки. - Снижение брака на следующих стадиях (варка, отбелка). - Прозрачный учёт древесины в ERP..	- Экономия топлива и реагентов за счёт цифровых двойников и автоматизации котлов. - Снижение отклонений в химическом балансе и более стабильное качество целлюлозы. - Рост эффективности за счёт оптимизации режимов варки.	- Снижение расхода реагентов на 8–15% благодаря AI-оптимизации. - Снижение нагрузки на очистные сооружения и экологического воздействия. - Повышение стабильности качества продукции.	- Снижение числа обрывов полотна через предиктивную аналитику и машинное зрение. - Рост производительности машин на 5–10%. - Экономия энергии за счёт цифровых двойников и оптимизации сушки.	- Снижение брака и рекламаций за счёт контроля качества упаковки. - Повышение точности прогнозов спроса и оптимизация производства. - Снижение складских и логистических издержек	- Снижение энергопотребления и выбросов CO₂ через AI-оптимизацию. - Экономия топлива при сжигании щёлока. - Повышение КПД энергобаланса завода.	- Экономия реагентов за счёт AI-моделей и онлайн-мониторинга. - Стабильное качество очистки и соответствие нормативам. - Снижение затрат на эксплуатацию очистных систем.

ИИ в ЦБП — это стратегическая необходимость, а не мода



ROI большинства решений < 1–2 лет



Россия догоняет мир в базовых решениях (IoT, телематика), но отстаёт в «глубокой» цифровизации (цифровые двойники, блокчейн, дроны).

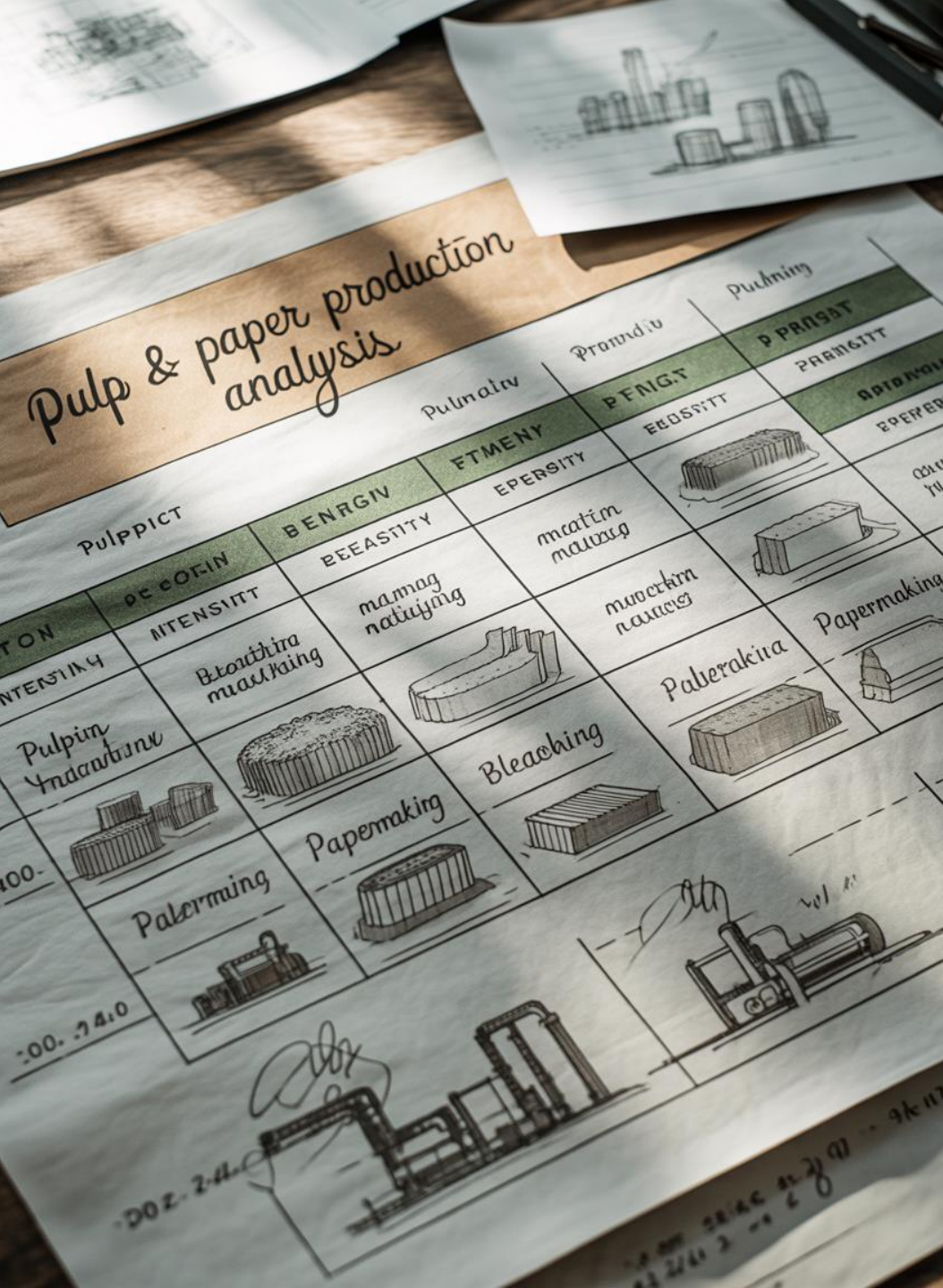


Наибольший эффект достигается в энергоёмких и маржинальных точках процесса: транспорт, варка, отбелка, бумагоделание.



Масштабирование успешных пилотов и переход от точечных проектов к системной цифровой стратегии создадут устойчивое конкурентное преимущество.





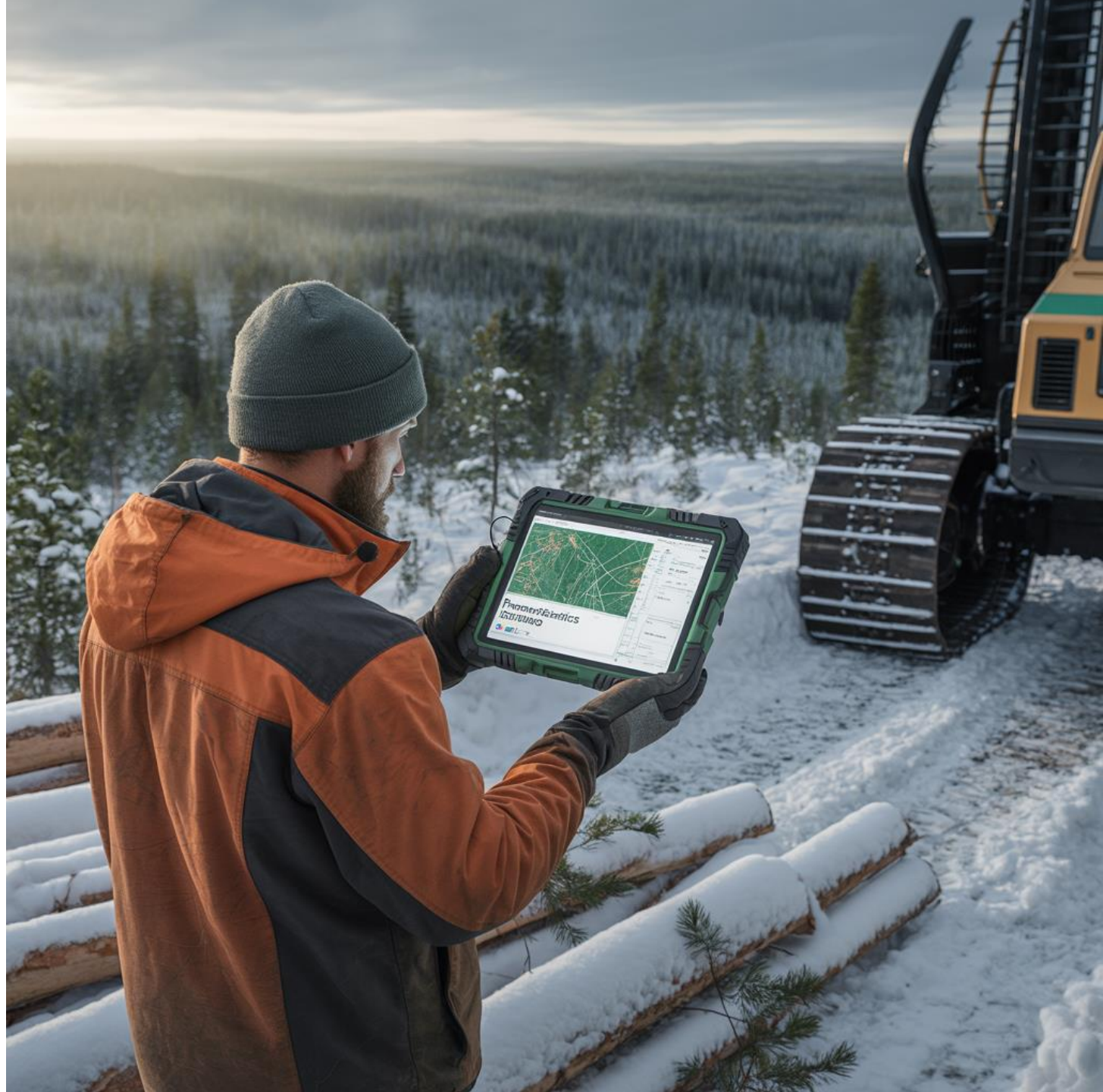
Сергей Земелькин

+7 903 720 4252

szemelkin@gmail.com

@cifravdele

ПРИЛОЖЕНИЕ



Лесозаготовка. Зарубежные кейсы

Компания	Отрасль	Название	Описание	Эффект	Источник
John Deere	Лесозаготовка	TimberMatic Maps + TimberManager	Интегрированная система планирования и мониторинга лесосек. Операторы получают цифровую карту с маршрутами и заданиями, данные синхронизируются между машинами и диспетчером в реальном времени.	Повышение прозрачности операций, сокращение времени простоя, оптимизация маршрутов → рост производительности.	John Deere Forestry product materials (TimberMatic Maps).
Ponsse	Лесозаготовка	Интеллектуальные харвестеры	Машины оснащены системой автоматического подбора режима распила и сортиментов под заказы. Оператор получает рекомендации в реальном времени, а часть операций автоматизирована.	Повышение точности сортиментов, рост производительности на 5–10%, снижение ошибок оператора.	Ponsse corporate brochures.
Komatsu Forest	Лесозаготовка (трелёвка и логистика)	MaxiFleet — цифровая экосистема для управления парком	Платформа IoT для сбора данных о загрузке, топливе, времени простоя. Аналитика сравнивает операторов, прогнозирует обслуживание и оптимизирует маршруты трелёвки.	Сокращение простоев на 10–15%, повышение загрузки техники, экономия топлива.	Komatsu Forest product portfolio.
Stora Enso	Лесозаготовка (нижний склад)	Автоматизированные системы измерения древесины	Внедрение 3D-сканеров и датчиков для автоматического измерения объёма и сортировки брёвен на нижних складах. Данные поступают в ERP в реальном времени.	Снижение ошибок учёта и сортировки, ускорение обработки древесины, повышение прозрачности поставок.	Stora Enso annual reports, sustainability disclosures.
ForesTrust	Лесная логистика и сертификация	Permissioned blockchain for timber supply chain	Цифровая блокчейн-платформа для отслеживания происхождения древесины. Обеспечивает сквозную трассируемость от лесовладельца до переработчика.	Прозрачность поставок, снижение транзакционных издержек на сертификацию, минимизация риска нелегальной древесины.	ForesTrust initiative (US Endowment for Forestry & Communities).
FSC Trace	Транспорт / сертификация	FSC Blockchain Traceability System	Система цифровой сертификации и отслеживания древесины в цепочке поставок. Основана на блокчейн-реестре, доступна сертификационным органам и потребителям.	Минимизация рисков подлога и подмены древесины, соответствие международным стандартам FSC.	FSC Trace public materials.
DroneSeed	Лесовосстановление	Drone-based Reforestation Service	Автономные дроны высевают капсулированные семена на участках вырубki и после пожаров. ИИ рассчитывает схему посадки, тип семян и плотность.	Снижение стоимости восстановления на 70%, скорость посадки в 5–6 раз выше ручной, возможность работать в труднодоступных местах.	DroneSeed project publications (Oregon wildfire reforestation).
AirSeed	Лесовосстановление	AI-driven Reforestation Drones	Дроны с компьютерным зрением анализируют почву и рельеф, высаживают семена с оптимальной плотностью и составом пород. Система мониторинга отслеживает рост растений.	Стоимость восстановления снижена в 4 раза, приживаемость выше на 20–30% по сравнению с традиционными методами.	AirSeed Technologies pilot projects (Australia).
Komatsu + Ponsse	Вспомогательные службы (сервис)	Digital service platforms for predictive maintenance	Совместное использование сервисных платформ для мониторинга состояния техники, предиктивной аналитики и планирования ТО.	Снижение простоев, продление срока службы машин, экономия на ремонтах.	Product/service portfolios of Komatsu Forest & Ponsse.

Лесозаготовка. Российские кейсы

Компания	Отрасль	Название	Описание	Эффект	Источник
Segezha Group	Лесозаготовка	IoT и предиктивная аналитика в парке харвестеров	Лесозаготовительные машины оснащены IoT-датчиками, данные собираются в ERP. Внедрены алгоритмы предиктивного ТО для выявления потенциальных поломок, интегрирован электронный учёт древесины в цепочку поставок.	Снижение простоев техники на 10–15%, рост прозрачности учёта древесины и контроль лесных ресурсов.	Публичные материалы Segezha Group о цифровизации (2022–2023).
Илим Групп	Лесозаготовка (трелёвка / транспорт)	GPS-системы и телематика для управления вывозкой	На технику установлены телематические модули с GPS. Система контролирует маршруты движения и фактический объём вывезенной древесины, интегрируется в транспортную ERP.	Оптимизация логистики, снижение затрат на топливо (до 10%), сокращение холостых рейсов.	Пресс-релизы Илим Групп, отраслевые обзоры по цифровизации.
Архангельский ЛПК	Лесозаготовка (нижний склад)	RFID-учёт брёвен	Внедрение RFID-меток на нижних складах: каждая партия древесины маркируется, информация передаётся в учётную систему. Автоматизирован контроль приёмки и сортировки.	Снижение ошибок при сортировке и учёте, ускорение обработки древесины на складе.	Материалы Архангельского ЛПК, отраслевые СМИ.
ULK Group (Устьянский ЛПК)	Лесозаготовка (транспорт)	Телематика и GPS-мониторинг автотранспорта	Внедрены системы спутникового контроля маршрутов лесовозов, данных о пробеге и расходе топлива. Интеграция с ERP для управления вывозкой.	Повышение эффективности логистики, снижение затрат на ГСМ и холостых пробегов.	ULK Group, публикации в деловой прессе о цифровизации.
Segezha Group	Лесовосстановление	Спутниковый мониторинг лесовосстановительных работ	Использование спутниковых снимков и дронов для контроля выполнения обязательств по восстановлению леса. Система анализирует площадь, динамику и качество посадок.	Контроль выполнения обязательств перед регуляторами, снижение затрат на инспекции в полевых условиях.	ESG-отчёты Segezha Group, 2022–2023.
Илим Групп	Вспомогательные службы (ГСМ, техника)	IoT-системы контроля топлива и состояния машин	Датчики на технике фиксируют уровень топлива, пробег и ключевые параметры работы. Информация передаётся в центр управления, где алгоритмы выявляют аномалии и подозрительные списания.	Экономия ГСМ до 7–10%, предотвращение хищений и недобросовестного использования техники.	Публичные выступления менеджмента Илим Групп, отраслевые издания.

ЦБП. Зарубежные кейсы

Компания	Отрасль	Название	Описание	Эффект	Источник
Stora Enso	ЦБП (древоподготовка)	Computer Vision for Wood Quality Control	Внедрены системы компьютерного зрения для контроля качества брёвен и щепы. Камеры и алгоритмы автоматически определяют размеры, дефекты и сорт, что исключает субъективность ручного контроля.	Повышение точности сортировки, сокращение отходов, ускорение производственного цикла.	Stora Enso R&D reports, отраслевые публикации
Mondi	ЦБП (варочный цех)	Automated Digester Control	Автоматизированные системы управления варочными котлами: датчики + алгоритмы контролируют химический баланс, температуру и давление, позволяя оптимизировать процесс варки целлюлозы.	Повышение стабильности качества целлюлозы, снижение потребления реагентов и энергозатрат.	Mondi corporate sustainability reports
UPM (Финляндия)	ЦБП (отбеливающий цех)	AI-Driven Bleaching Optimization	Интеллектуальные системы оптимизации дозирования химических реагентов при отбелке. Использование предиктивных алгоритмов и моделей качества целлюлозы.	Снижение расхода реагентов на 10–15%, сокращение издержек и экологической нагрузки.	UPM Annual Reports, отраслевые публикации
Stora Enso	ЦБП (бумагоделательный цех)	Predictive Analytics for Paper Machines	Система компьютерного зрения и предиктивной аналитики для предотвращения обрывов полотна. Модели прогнозируют риск дефекта и автоматически корректируют режимы работы.	Снижение простоев машин, рост производительности, экономия на браке.	Stora Enso smart factory program
Valmet (Финляндия)	ЦБП (бумагоделательный цех)	Digital Twins for Paper Machines	Внедрение цифровых двойников бумагоделательных машин для моделирования режимов работы, управления сушкой и энергопотреблением.	Экономия энергии, повышение выхода продукции, сокращение времени простоев.	Valmet industrial IoT portfolio
Mondi (Словакия)	ЦБП (картонный/гофроцех)	Computer Vision for Packaging Quality	Система машинного зрения для контроля клеевого слоя и печати на упаковке. Автоматическая сортировка дефектных партий.	Снижение брака, повышение качества печати и упаковки, сокращение рекламаций.	Mondi Slovakia production cases
Stora Enso	ЦБП (энергетический цех)	AI Energy Optimization	Внедрение AI-систем для оптимизации энергопотребления на заводах. Алгоритмы анализируют нагрузку в реальном времени и управляют генерацией и распределением энергии.	Снижение энергопотребления, сокращение углеродного следа.	Stora Enso sustainability disclosures
Mondi (Австрия)	ЦБП (очистные сооружения)	AI Models for Effluent Treatment Plants	Модели машинного обучения прогнозируют нагрузку на очистные сооружения и регулируют подачу реагентов для стабильного качества сточных вод.	Экономия реагентов, снижение экологических рисков, стабильность работы очистных систем.	Mondi Austria ESG reports

ЦБП. Российские кейсы

Компания	Отрасль	Название	Описание	Эффект	Источник
Илим Групп (РФ)	ЦБП (древоподготовка)	Automated Chip Sorting + ERP Integration	Автоматизированные системы сортировки щепы с интеграцией в ERP. Датчики и алгоритмы контролируют качество щепы и распределяют её по партиям в реальном времени.	Повышение качества полуфабриката, снижение брака в дальнейших стадиях, прозрачный учёт древесины.	Публичные выступления менеджмента Илим Групп, отраслевые обзоры
Илим Групп (РФ)	ЦБП (варочный цех)	Digital Twin of Recovery Boiler	Внедрён цифровой двойник содорегенерационного котла. AI-модели управляют режимом варки, оптимизируют химический баланс и загрузку.	Снижение расхода топлива, улучшение стабильности варки, экономия на реагентах.	Совместные проекты Илим Групп и Andritz Metris
Архангельский ЦБК (РФ)	ЦБП (отбеливающий цех)	AI Optimization of ClO ₂ Consumption	Внедрены AI-модели для расчёта оптимальной дозировки диоксида хлора (ClO ₂) в процессе отбелки. Алгоритмы учитывают состав щепы и параметры пульпы.	Экономия реагентов (до 8–10%), снижение нагрузки на очистные сооружения, рост экологической эффективности.	Архангельский ЦБК, упоминания в отраслевых СМИ
Segezha Group (РФ)	ЦБП (бумагоделательный цех)	Computer Vision + BI for Paper Machines	Машинное зрение для онлайн-контроля полотна, BI-система мониторинга KPI (скорость, обрывы, качество). Алгоритмы выявляют дефекты и корректируют работу машин.	Снижение числа обрывов, рост производительности, уменьшение брака.	ESG-отчёты Segezha Group
Илим Групп (РФ)	ЦБП (картонный/гофроцех)	BI Systems for Demand Forecasting	BI-платформы для прогнозирования спроса на картон и управления цифровым грузооборотом. Система интегрирует данные заказов, логистики и складских запасов.	Оптимизация производства и складских запасов, сокращение логистических издержек.	Публичные материалы Илим Групп
Илим Групп (РФ)	ЦБП (энергетический цех, ТЭЦ)	Digital Twin of Power Plant	Создан цифровой двойник ТЭЦ. AI управляет сжиганием чёрного щёлока, оптимизирует баланс пара и электроэнергии.	Экономия топлива, повышение КПД, снижение выбросов CO ₂ .	Совместные проекты Илим Групп и ANDRITZ
Segezha Group (РФ)	ЦБП (очистные сооружения)	AI-Driven Effluent Monitoring	Система онлайн-мониторинга качества сточных вод. Алгоритмы управляют подачей реагентов, корректируя процесс очистки в реальном времени.	Снижение расходов на реагенты, более стабильное качество очистки, соответствие экологическим нормативам.	ESG-отчёты Segezha Group