УДК 658.78:004.738.5

ПРИМЕНЕНИЕ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИИ И СМАРТ-КОНТРАКТОВ ДЛЯ СО-ЗДАНИЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ И ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДСКИМИ ОСТАТКАМИ В УСЛОВИЯХ КООПЕРАЦИИ НЕСКОЛЬКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.В. Осипов, студент
Научный руководитель: Телипенко Е.В., к.т.н., доц.
Юргинский технологический институт (филиал)
Национального исследовательского Томского
политехнического университета
Россия, г. Юрга

Современное промышленное производство характеризуется глубокой глобальной кооперацией предприятий, где конечный продукт создается усилиями распределенной сети партнеров. Эффективное управление материальными потоками в такой сложной среде критически важно для общей конкурентоспособности. Традиционные централизованные подходы (ERP-системы, EDI) сталкиваются с системными проблемами при взаимодействии независимых компаний:

- Недоверие и расхождения в данных: Каждый участник ведет собственную систему учета, что приводит к постоянным расхождениям в данных об остатках и отгрузках, требующим длительных ручных сверок.
- Риск единой точки отказа: Централизованный сервер или EDI-хаб представляет собой уязвимость; его выход из строя парализует все взаимодействия в цепи.
- Низкая прозрачность и «эффект хлыста»: Ограниченная видимость реального спроса и запасов у партнеров приводит к искажению информации и неоптимальному планированию.
- Высокие транзакционные издержки: Значительные затраты на администрирование, проверку и согласование данных между организациями.

Целью данного исследования является разработка детализированной архитектуры и практическая оценка эффективности децентрализованной системы управления складскими остатками на основе блокчейн-технологии, призванной преодолеть указанные ограничения.

Архитектура системы

Предлагаемая система строится на модели разрешенного (пермиссионного) блокчейна, для реализации которой выбрана платформа Hyperledger Fabric. Этот выбор обусловлен ключевыми требованиями промышленного применения: высокая производительность транзакций, встроенные механизмы конфиденциальности и соответствие нормативным актам.

Участники сети:

- Пиры (Peers) - представляют собой узлы, принадлежащие каждому предприятию-участнику (производители, поставщики, логисты). Они хранят копию реестра и исполняют смарт-контракты;
- Упорядочивающие ноды (Ordering Service) - ответственны за формирование транзакций в блоки, их упорядочивание и рассылку пирам. Эта архитектура отделяет консенсус от исполнения, обеспечивая масштабируемость;
- Сертификационный центр (Membership Service Provider - MSP) - управляет цифровыми идентификаторами, обеспечивая аутентификацию и авторизацию всех участников сети.

Модель данных:

- Состояния активов (World State) - база данных "ключ-значение", хранящая актуальные состояния активов, что позволяет быстро получать информацию без пересчета всей истории;
- История транзакций (Blockchain) - неизменяемый журнал всех операций, обеспечивающий полный аудиторский след;
- Цифровой след (Digital Twin) материальных ресурсов - каждая единица запаса представлена в блокчейне как уникальный цифровой актив, отражающий его полный жизненный цикл от производства до конечного потребления.

Смарт-контракты:

- RegisterShipment - фиксация отгрузки от поставщика с изменением статуса актива на "в пути";
- ReceiveShipment - подтверждение получения груза, приводящее к автоматическому обновлению остатков у получателя и отправителя;
- UpdateInventoryLevel - обновление уровня остатков при внутренних операциях на складе.
- CheckAndCreateOrder - автоматическое создание и подписание заказов при достижении порогового уровня запасов, что реализует логику "just-in-time".

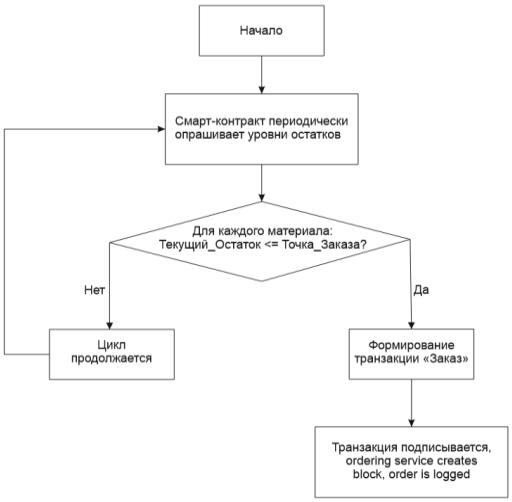

Рисунок 1 - Упрощенная логика работы смарт-контракта автоматического заказа

Оценка эффективности

Проведено сравнительное моделирование работы цепочки из 5 предприятий в двух сценариях: с традиционной системой и с предложенным блокчейн-решением.

Результаты:

- Время согласования данных: Сокращено с 4-6 часов (ручные сверки) до реального времени (0 минут) благодаря единому источнику истины;
- Время реакции на дефицит: Уменьшено с 24-48 часов до нескольких минут за счет автоматизации смарт-контрактами;
- Транзакционные издержки: Снижены на 15-20% вследствие устранения посредников и ручного труда;
- Страховые запасы: Снижены на 10-15% благодаря повышенной прозрачности и точности данных;
- Отказоустойчивость системы: Повышена за счет децентрализованной архитектуры, устраняющей единые точки отказа.

Выявленные сложности:

- Порог входа для малых предприятий: Высокие первоначальные затраты на инфраструктуру и интеграцию;
- Юридический статус смарт-контрактов: Недостаточная правовая база для признания их полной юридической силы;
- Интеграция с legacy-системами: Технические сложности подключения существующих ERP и WMS к блокчейн-сети.

Разработанная архитектура позволяет эффективно решить ключевые проблемы традиционных подходов к управлению запасами. Создание единого, доверенного и неизменяемого реестра данных устраняет недоверие и расхождения, а автоматизация процессов с помощью смарт-контрактов значительно повышает операционную эффективность. Показано существенное улучшение ключевых метрик: снижение затрат, времени реакций и объема страховых запасов. Несмотря на существующие вызовы, предложенный подход является высокоперспективным для построения отказоустойчивых, прозрачных и эффективных цепочек создания стоимости в условиях Industry 4.0.

Список литературы:

1. Андрулаки Э. Hyperledger Fabric: распределенная операционная система для разрешенных блокчейнов / Э. Андрулаки // Труды тринадцатой конференции EuroSys. - 2018. - № 13. - С. 1-15.

2. Нефедов Н., Hyperledger Fabric для Чайников [Электронный ресурс] // URL: https://habr.com/ru/companies/ibm/articles/444874/ (дата обращения: 11.11.2025).

3. Нефедов Н., Hyperledger Fabric Модульная платформа для [Электронный ресурс] // URL: https://hashrating.com/view/HPLF (дата обращения: 11.11.2025).

4. Плахов Д., Блокчейн в России: о чем говорят эксперты [Электронный ресурс] // URL: https://mindsmith.ru/insights/blockchain-experts (дата обращения: 12.11.2025).

5. Отраслевой обзор: Внедрение блокчейн-технологий в промышленности [Электронный ресурс] // Аналитический центр "Цифровой бизнес". URL: https://digitalbiz.ru/reports/blockchain-in-industry-2024 (дата обращения: 12.11.2025).

6. Иванов, А. В. Блокчейн в управлении цепями поставок: от теории к практике / А. В. Иванов, С. П. Петрова // Логистика и управление цепями поставок. – 2023. – № 4(105). – С. 45-58.

Смирнова, К. А. Смарт-контракты как инструмент автоматизации бизнес-процессов / К. А. Смирнова // Цифровая экономика. – 2024. – Т. 12, № 1. – С. 23-35.