

# Реализация прототипа ИУС на основе блокчейн-технологии

Наталья Зорина, Николай Кузнецов, Леонид Шапетько (РТУ МИРЭА)

Работа направлена на проверку возможности применения гибридного блокчейна для реализации ИУС. В ходе выполнения работы были проанализированы требования к системе с учётом выбранного процесса, выбраны необходимые для реализации прототипа программные средства, реализован прототип ИУС, а также произведено его тестирование. Результатом работы стал полученный прототип, а также выводы результатов тестирования. Полученные выводы позволили ответить на актуальные вопросы и обосновать решения актуальных проблем выбранного процесса.

## Введение

Глобализация – это устоявшаяся часть современного мира, которая оказала существенное влияние на промышленность и торговлю. В условиях глобальной цифровой экономики любой процесс создания добавленной стоимости существенно трансформировался за счёт структурных изменений в экономике [1]. Современная логистика, как часть этого процесса, становится всё более сложной, с большим количеством сторон, прямо или косвенно вовлечённых в цепочку поставок [2, 3]. Эта сложность создаёт новые вызовы для всех участников цепочки создания ценности, которые связаны в первую очередь со следующими проблемами:

- проблема коммуникации между участниками процесса;
- проблема осуществления сквозной прозрачности процессов;
- проблема информационной безопасности.

Существование этих проблем делает существующие логистические процессы крайне неэффективными и небезопасными [4]. Внедрение сквозных цифровых технологий на различных этапах, в том числе и в производственные процессы, способно решить многие из этих проблем.

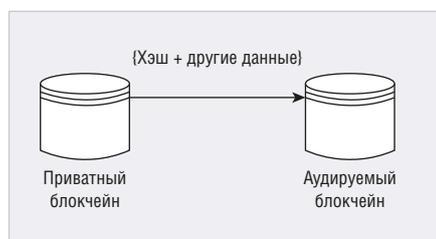


Рис. 1. Принципиальная архитектурная схема гибридного блокчейна

Технология блокчейн является одним из возможных решений. Несмотря на зрелость технологии, в докладе, опубликованном в журнале PwC, «Connected and autonomous supply chain ecosystems 2025» сообщается, что, вопреки растущему интересу к этой технологии, только «5% из всех компаний и 27% от общего числа цифровых флагманов в индустрии готовы к её внедрению в реальных проектах» [5].

В качестве успешного примера использования технологии блокчейн для логистики и управления цепочкой поставок можно привести совместный проект датской компании Maersk Global Trade Digitization (GTD) и американской IBM блокчейн-платформы TradeLens [6]. Эта платформа позволяет сэкономить большие суммы средств за счёт улучшения контроля за передачей информации и автоматизации документооборота [7]. Применяемый компанией подход предполагает использование одного из видов блокчейн – приватной блокчейн-сети – для организации коммуникации между компаниями – участниками электронного взаимодействия. Использование приватной блокчейн-сети позволяет участникам электронного взаимодействия подтвердить достоверность информации и тем самым реализует возможность использования легковесных алгоритмов достижения консенсуса. Отметим, что доверие к такой системе строится только на предположении, что большинство компаний, составляющих распределённый реестр, не вступили в сговор с целью мошенничества. В большинстве случаев этого не происходит, однако есть отрасли, которые особо чувствительны к подобного рода

проблемам. Отечественной платформы схожего типа не существует.

Основной целью проведения данного исследования было изучение возможности использования технологии гибридного блокчейна для создания прототипа логистической системы контроля перевозок. В качестве перевозимого груза нами была выбрана коллекция картин. Разрабатываемая система должна была обеспечить контейнерную транспортировку картин с учётом соблюдения температурного и влажностного режимов, кроме того, должна быть обеспечена безопасность транспортировки.

Были поставлены следующие исследовательские задачи:

- собрать и проанализировать требования к такого рода системе;
- выбрать наиболее подходящий стек ведения разработки и обосновать архитектурное решение для разработки системы;
- выполнить реализацию и тестирование прототипа системы;
- оценить полученное проектное решение с точки зрения решения проблем, существующих в настоящее время в логистике.

## Материалы и методы

К перевозке ценных грузов предъявляются особые требования: упаковка груза должна быть надёжно закрыта и зафиксирована в транспортном средстве; каждая отдельная единица должна быть взвешена и записана в документации; место с ценным грузом должно быть опломбировано, о чём делается запись в грузовой накладной; груз должен быть застрахован. В качестве объекта логистического процесса для нашего исследования были выбраны картины. Перевозка ценных грузов, таких как предметы живописи, имеет особенности, связанные с упаковкой и транспортировкой. Во время длительной перевозки на такой груз могут оказывать влияние колебания температуры, инсоляция, влажность, вибрация и другие факторы, которые могут негативно сказаться на сохранности и состоянии изделия. Поскольку такие изделия часто имеют высокую цен-

ность, то для поддержания целостности будет использоваться контейнер, в который помещается транспортируемый объект. Очевидным решением является использование «умного» контейнера с использованием IoT-технологий, оснащённого датчиками и модулями передачи.

В данной работе вместо контейнера используется модуль эмуляции данного контейнера с использованием языка программирования Rust. Выбор данного языка обусловлен его гибкостью, низкими требованиями к вычислительным ресурсам, поддержкой реального времени, строгим контролем за памятью и мультиплатформенностью.

Важным вопросом также является выбор архитектуры используемого блокчейн-хранилища. Для того чтобы исключить сговор компаний, удобно воспользоваться архитектурой гибридного блокчейна [8], предполагающего аудит записываемой в блокчейн информации. Гибридный блокчейн представляет собой связанные приватный и публичный блокчейны. Приватный блокчейн в доверительной среде работает по одному из легковесных протоколов достижения консенсуса, например, по алгоритму достижения консенсуса RAFT, и отправляет в публичный блокчейн хэши блоков и публичную информацию. Таким образом, приватный блокчейн осуществляет аудит публичного блокчейна. Принципиальная схема гибридного блокчейна представлена на рис. 1.

Также использование гибридного блокчейна сохраняет низкую стоимость транзакции, которая важна при взаимодействии с IoT-решениями. Для нашей реализации был выбран блокчейн на базе платформы Ethereum. Платформа Ethereum является блокчейн-платформой, которая позволяет разработчикам создавать децентрализованные приложения с использованием смарт-контрактов. Смарт-контракт – некоторая программа, записанная в блокчейн, выполняемая и подтверждаемая участниками блокчейн-сети. Логистический контракт, в котором описываются условия доставки, включает в себя целевые показатели приборов, время доставки и любые другие интегрируемые условия. Таким образом, осуществляется валидация логистических условий. Для аудита заключается аудиторский контракт в публичной сети. Данный контракт описывает

формат хранения и представления данных аудита.

Данная платформа была выбрана нами в силу простоты использования. В настоящий момент Ethereum является эффективной платформой для построения блокчейн-сетей, которая поддерживает смарт-контракты на Тьюринг – полном языке программирования Solidity, в отличие от, например, Bitcoin. Кроме всего прочего, использование платформы Ethereum позволит интегрироваться с её базовой криптовалютой эфиром и реализовать собственный токен на базе стандарта ERC20, обеспечивая таким образом простую интеграцию с существующим миром криптофинансов. Для реализации клиентской по отношению к блокчейну части нами был выбран стек разработки Java/Spring. Язык Java в большинстве случаев используется для создания бэкенд-части корпоративных приложений.

## Обсуждение результатов

Реализованный в результате выполнения практической части исследования прототип состоит из двух модулей: модуля эмуляции контейнера перевозки и модуля гибридного блокчейна.

Модуль эмуляции представляет собой обобщённую модель контейнера, в котором перевозится картина. Данный модуль генерирует определённые данные: показания двух датчиков температуры и показания двух датчиков влажности. Именно эти параметры непосредственно влияют на целостность и сохранность объекта транспортировки – картины.

Данные генерируются в отдельных потоках в реальном времени. В случае просрочки дедлайна эмулятор отправляет сообщение об ошибке считывания. После считывания данные отправляются на сервер при помощи POST-запроса. Как упоминалось выше, весь код эмулятора был реализован на языке программирования Rust. Преимущество использования данного подхода состоит в том, что при возникновении необходимости в использовании реального времени можно будет быстро развернуть данную программу на встроенной системе. С учётом специфики рассматриваемого процесса применение реального времени сможет улучшить показатели выполнения алгоритма.

В результате выполнения практической части нашей исследовательской работы был получен прототип

### Листинг 1 Описание абстрактного логистического контракта

```
abstract contract Transfer {
    string company;
    bool public isFailed =
false;
    string public owner;
    mapping(string => int64)
public sensors;

    function CheckIsFailed()
public virtual returns (bool);

    function put(string memory
key, int64 value) public {
    sensors[key] = value;
}

    function setOwner(string
memory newOwner) public {
    owner = newOwner;
}
}
```

информационно-управляющей системы с использованием децентрализованной распределённой базы данных. Прототип реализует функционал логистического контроля за картинами на основе технологии блокчейн. В части программной реализации нами было разработано собственное API на базе методологии REST. Вызов разработанного API со стороны внешней системы позволяет выполнить проверку данных в блокчейн посредством вызова специального метода смарт-контракта. Нами была реализована программная сущность – абстрактный контракт, который описывает интерфейс, реализуемый любым логистическим смарт-контрактом. Он называется Transfer и представлен в Листинге 1.

Фактическая реализация логистического контракта для работы с конкретным объектом транспортировки – картиной представляет собой реализацию контракта Transfer и представлена в Листинге 2.

Также нами был описан смарт-контракт аудита. Данная реализация хранит хэши блоков и поступающие данные датчиков. Реализация данного способа записи в виде смарт-контракта представлена Листингом 3.

## Тестирование

### Модуль эмуляции камеры

Данный проект был протестирован на базе персонального компьютера со следующими характеристиками:

- процессор: Quad-Core Intel Core i5;
- 8 ГБ ОЗУ с частотой 1,4 ГГц.

Для разработки применялось следующее ПО:

**Листинг 2**  
**Реализация контракта для**  
**контейнера перевозки картин**

```
contract PictureTransfer is
Transfer {

    function CheckIsFailed()
public override(Transfer)
returns (bool){
    if (!isFailed) {
        isFailed = (!((se
nsors["temperatureValue1"] < 24
&& sensors["temperatureValue1"]
> 22) ||

(sensors["temperatureValue2"]
< 24 &&
sensors["temperatureValue2"] >
22)) &&

((sensors["humidityValue1"] < 60
&& sensors["humidityValue1"] >
50) ||

(sensors["humidityValue2"] < 60
&& sensors["humidityValue2"] >
50)));
        return isFailed;
    }
    return true;
}
}
```

- операционная система macOS;
- CLion с расширением для разработ- ки на ЯП Rust;
- Node-Red.

**Модуль блокчейна**

Данный проект был протестирован на базе персонального компьютера со следующими характеристиками:

- процессор: Intel Core i7 11700KF;
- 16 ГБ ОЗУ с частотой 3200 ГГц.

Для разработки использовалось сле- дующее программное обеспечение:

- операционная система Windows 10;
- Postman;
- Intelij Idea – Community Edition;
- Docker;
- Geth.

**Результаты тестирования**  
**и выводы**

В результате тестирования разрабо- танного программного проекта нам удалось продемонстрировать эффек- тивность использования технологии блокчейн для решения трёх характер- ных для логистики проблем, связанных с коммуникациями, сквозной прозрач- ностью и информационной безопасно- стью:

- 1) проблема коммуникации между участниками процесса взаимодей- ствия успешно решается посред- ством автоматизированного вызова методов смарт-контракта при помо- щи «умного» оборудования;

**Листинг 3**  
**Реализация способа записи**  
**данных аудита для хранения**

```
contract AuditContract {
    mapping(string=>string)
public hashInfo;
    string[] public keys;

    function put(string
memory key, string memory value)
public{
    hashInfo[key]=value;
    keys.push(key);
}

    function get(string memory
key) public view returns(string
memory){
    return hashInfo[key];
}

    function keyLength()
public view returns(uint){
    return keys.length;
}
}
```

- 2) проблема осуществления сквозной прозрачности процессов решается при помощи использования ауди- торского блокчейна в рамках архи- тектуры гибридного блокчейна;
- 3) проблема информационной безо- пасности решается посредством ис- пользования архитектуры гибрид- ного блокчейна, так как она делает кибератаку в 51% случаев просто не- возможной.

Также была выявлена проблема, свя- занная с выбранным стеком разработ- ки: низкая производительность тран- закций в приватной блокчейн-сети из-за использования Ethereum. Для при- ватного блокчейна лучше использовать платформу Hyperledger. Данная плат- форма является специализированной для разработки именно корпоратив- ных приложений на основе блокчейна и предоставляет более эффективные и зрелые инструменты для работы в дове- ренной среде.

**Заключение**

В рамках работы были поставлены и решены исследовательские задачи:

- были описаны проблемы, связанные с логистикой ценных грузов, собра- ны и проанализированы требования к информационно-управляющей си- стеме для контейнера перевозки кар- тин: определены основные параме- тры и их допустимый диапазон;
- был выбран наиболее подходящий стек ведения разработки и обосно- ванное архитектурное решение для разработки системы;
- были выполнены реализация и тести- рование прототипа системы;

- было оценено полученное проект- ное решение с точки зрения реше- ния проблем, существующих в на- стоящее время в логистике.

В результате выполнения иссле- довательской работы был создан и протестирован работающий про- тотип системы, созданный на базе технологии гибридного блокчейна. Данный прототип продемонстиро- вал зрелость данной технологии для применения её в рамках разработки технологии контроля логистической цепочки поставок. Авторам представ- ляется перспективной для проведения дальнейших исследований интегра- ция данной разработки с электрон- ным документооборотом и цифровы- ми валютами, такими как цифровой рубль.

**Литература**

1. *Гудкова Т.В.* Глобальные цепочки созда- ния добавленной стоимости в условиях цифровизации экономики // Журнал экономической теории. 2020. Т. 17. № 1. С. 53–64.
2. *Казарина Л.А.* Логистика по контрак- ту // Известия ИГЭА. 2004. № 3 (40). С. 70–75 // URL: <http://izvestia.bgu.ru/reader/article.aspx?id=4492> (дата обра- щения: 03.04.2019).
3. *Колодин В.С.* Логистические системы в производственно-коммерческой деятель- ности // Известия ИГЭА. 2011. № 6 (80). С. 99–103. URL: <http://izvestia.bgu.ru/reader/article.aspx?id=14587> (дата обра- щения: 03.04.2019).
4. *Kersten W., Blecker T., Ringle C.M.* (2017) Digitalization in Supply Chain Management and Logistics: Smart and Digital Solutions for an Industry 4.0 Environment, Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL), No. 23, epubli GmbH, Berlin // URL: <https://doi.org/10.15480/882.1442>.
5. Connected and autonomous supply chain ecosystems 2025, доклад PwC 2020 // URL: <https://www.pwc.com/gx/en/industrial-manufacturing/digital-supply-chain/supply-chain-2025.pdf>.
6. TradeLens to launch in Russia with pilot in St. Petersburg, 6 июня 2019 // URL: <https://www.maersk.com/news/articles/2019/06/06/tradelens-to-launch-in-russia-with-pilot-in-st-petersburg>.
7. TradeLens // URL: <https://www.tradelens.com/>.
8. Hybrid Blockchain December 2020 Jordanian Journal of Computers and Information Technology 6(4):1.



НОВОСТИ МИРА

**Ростех создал шлем для спасателей с технологией дополненной реальности**

«Концерн Радиоэлектронные технологии» (КРЭТ) Госкорпорации Ростех разработал концепт экипировки для спасателей с применением технологии дополненной реальности. Новинка представляет собой объединённые в систему интерактивные шлемы, способные получать картинку с квадрокоптера и поддерживать связь с центром управления.

Система состоит из мобильного рабочего места, квадрокоптера и устройства оператора – шлема «Умные руки». Она может одновременно управлять командами численностью до 20 человек и не имеет ограничений по радиусу действия.

Мобильное рабочее место агрегирует всю информацию об окружающей обстановке и позволяет экипированным шлемами сотрудникам обмениваться аудио- и видеoinформацией, графическими и тепловизионными данными, схемами и технической документацией. Шлем «Умные руки» формирует для оператора видеоподсказки из встроенной базы данных и повышает безопасность ра-

боты, показывая потенциально опасные или неисправные элементы: разогретые до высоких температур поверхности, утечки электрического тока и т.д. Также встроенный тепловизор может быть использован для поиска людей под завалами.



«В момент аварий, чрезвычайных ситуаций или стихийных бедствий любая техническая помощь людям, находящимся на передовой, борющимся за спасение и безопасность людей, очень востребована. Сегодня мы представляем решение, способное повысить уровень защиты спасателей, увеличить эффективность их действий, а также скорость коммуникации с ситуационным центром. Шлем «Умные руки» будет очень полезен во время аварийно-спасательных или монтажных работ, при ликвидации последствий ЧС, вы-

явлении и устранении любого рода техногенных повреждений», – сказал исполнительный директор Ростеха Олег Евтушенко.

Взаимодействие внутри системы происходит по следующей схеме: изображение с работающего в зоне ЧС квадрокоптера проецируется на карту местности и выводится в таком виде на монитор оператора. Специалист отмечает ключевые зоны поиска и устранения неисправностей, после чего полученная информация передаётся в Ситуационный центр управления (СЦУ) для анализа и принятия решений. Команда оснащённых шлемами «Умные руки» специалистов действует «на земле» и оперативно реагирует на сигналы, поступающие из СЦУ.

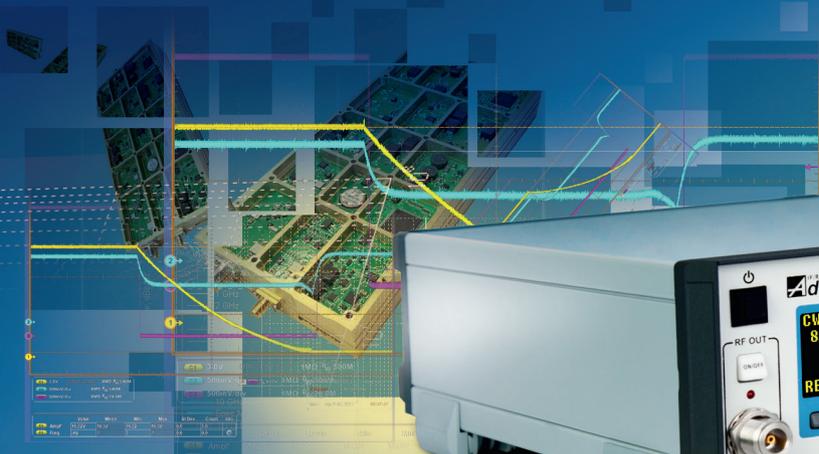
«Автоматизация рабочего процесса в зонах повышенной опасности необходима для спасения жизни и здоровья работников. Любые манипуляции с использованием проекта СЦУ проводятся быстрее и точнее, команде легче координировать свои действия, поскольку люди видят задачу комплексно, а не фрагментами», – прокомментировал заместитель генерального директора по развитию гражданской продукции АО «КРЭТ» Максим Моторин.

rostec.ru



WWW.ADVANTEX.RU

**РАЗРАБОТАНО  
И ПРОИЗВЕДЕНО  
В РОССИИ**



**ШИРОКОПОЛОСНЫЕ  
СИНТЕЗАТОРЫ ЧАСТОТ**  
с непрерывным шагом до 21 ГГц  
и контрольно-измерительные приборы

ЭЛЕКТРОННЫЙ  
КАТАЛОГ



+7(495) 721-4774 • info@advantex.ru  
Москва, ул. Красноказарменная, д.13, стр. 1

Реклама