УДК 681.5

Лямин Никита Ильич, аспирант
(Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург)

Белоглазов Илья Ильич, доцент кафедры АТПП, канд. техн. наук
(Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург)

Nikita I. Lyamin, postgraduate student
(Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg)

Ilya I. Beloglazov, Associate Professor of the Department of ATPP, PhD in Engineering
(Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg)

РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО МОДУЛЯ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЦЕХА СПГ НА ОСНОВЕ AAS, OPC UA И BLOCKCHAIN GATEWAY

DEVELOPMENT OF A HYBRID INTEROPERABILITY MODULE FOR PROCESS DATA OF AN LNG UNIT BASED ON AAS, OPC UA AND A BLOCKCHAIN GATEWAY

Аннотация. Разработан лабораторный модуль передачи данных модели цеха СПГ. Параметры журнала HYSYS конфигурационно сопоставляются с путями свойств AAS и публикуются по OPC UA. Проверены контрольные значения и совпадение SHA-256 с полем Input Data транзакции Sepolia.

Abstract. A laboratory module for LNG unit data transfer is presented. HYSYS journal variables are mapped to AAS property paths and exposed through OPC UA. Control values and the equality of the SHA-256 digest with the Sepolia transaction Input Data field were verified.

Введение

Интероперабельность технологических данных необходима для совместной работы расчетной модели, средств автоматизации и информационных систем. Различия в именах, адресах и форматах затрудняют идентификацию параметров.

Для машиночитаемого описания актива применяется оболочка администрирования актива (Asset Administration Shell, AAS); ее структура установлена IEC 63278-1:2023 [1]. Возможность представления свойств компонентов Индустрии 4.0 в единой информационной модели показана в практических реализациях AAS [2].

OPC UA предоставляет адресное пространство и сервисы обмена между компонентами разных производителей [3, 4]. Для внешней фиксации отпечатков событий в приложениях Индустрии 4.0 исследуются распределенные реестры [5].

Цель работы состоит в разработке и лабораторной проверке модуля, который сопоставляет параметры журнала Aspen HYSYS со свойствами AAS и узлами OPC UA, а при превышении заданного порога формирует SHA-256 среза данных и передает его в тестовую сеть Ethereum Sepolia.

Архитектура и методика

Источником данных служит журнал динамической модели сжижения природного газа по азотному циклу расширения в Aspen HYSYS V14. На схеме присутствуют первичный и главный теплообменники, фазовый сепаратор, потоки сухого газа, азота, газовой и жидкой фракций, а также регулирующие клапаны (рисунок 1). В лабораторном модуле значения воспроизводятся из файла history.csv; подключение действующего контроллера не выполняется.

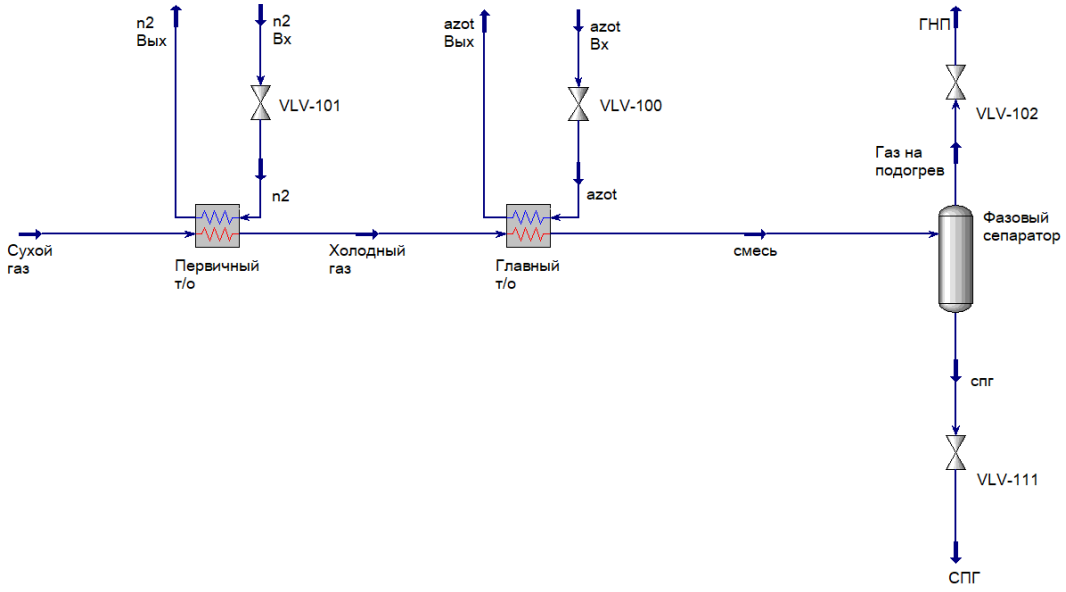

Рисунок 1 – Схема модели узла сжижения природного газа в Aspen HYSYS V14 [составлено авторами]

Архитектура включает четыре логических звена (рисунок 2): журнал HYSYS, описание путей свойств AAS, OPC UA и Blockchain Gateway. Файл mapping_table.csv связывает исходную колонку, единицу измерения, путь OPC UA, подмодель AAS и путь свойства. AAS используется как статическое семантическое описание; загрузка модели исполняющим AAS-компонентом не проверялась.

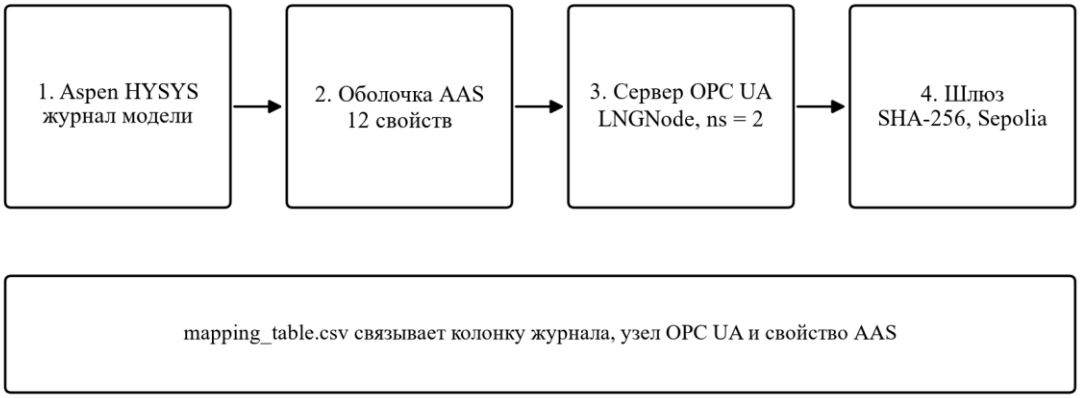

Рисунок 2 – Архитектура лабораторного модуля интероперабельности технологических данных [составлено авторами]

Файл aas.json описывает актив Natural Gas Liquefaction Unit и подмодели OperationalData и InterfaceDescription. Конфигурация содержит 12 параметров: температуры и давления потоков, давление сепаратора, открытие VLV-100, массовые расходы и отношение выхода СПГ к подаче. Адресное пространство строится программно; объект LNGNode содержит ветви Streams, Equipment, Controllers и KPI, индекс пространства имен равен 2.

Методика проверки состояла из четырех этапов. Сначала запускалось последовательное чтение строк журнала. Затем значения всех сконфигурированных параметров записывались в узлы встроенного OPC UA-сервера. Доступность и тип данных контрольных узлов проверялись клиентом UaExpert. На последнем этапе контролировалось превышение давлением смеси лабораторного порога 4850,0 кПа. Порог служил только воспроизводимым условием активации шлюза и не являлся технологической уставкой сигнализации или защиты. При выполнении условия формировалась строка из времени, давления, температуры и открытия клапана VLV-100, после чего вычислялся SHA-256. Хеш передавался в поле данных транзакции тестовой сети Sepolia; сумма перевода задавалась равной нулю.

Реализация

Модуль реализован на Python с использованием pandas, opcua-asyncio, hashlib и web3.py. Локальная конечная точка сервера: opc.tcp://127.0.0.1:4840/freeopcua/server/.

При запуске программа создает по таблице соответствия объекты и переменные Double. В цикле значение исходной колонки записывается в соответствующий узел. Механизм проверен только для файлового источника и не характеризует подключение реального контроллера.

Условием активации Blockchain Gateway служит лабораторное тестовое условие mixture_pressure > 4850.0, после чего формируется полезная

нагрузка вида TIME:...|PRESS:...|TEMP:...|VLV100:.... В распределенный реестр передается ее хеш, а не полный журнал или технологическая команда. Реестр работает параллельно каналу OPC UA и не участвует в регулировании процесса.

Результаты

Клиент UaExpert отобразил сформированную иерархию и значения контрольных узлов (рисунок 3). Для контрольного среза температура смеси составила −138,783 °C, а давление – 4850,09 кПа; обе переменные имели тип Double и код состояния Good. В журнале клиента указан пересмотренный интервал выборки 500 мс. Конфигурационный файл содержит 12 строк сопоставления, по которым сервер программно создает 12 узлов; в UaExpert выборочно проверены два контрольных значения.

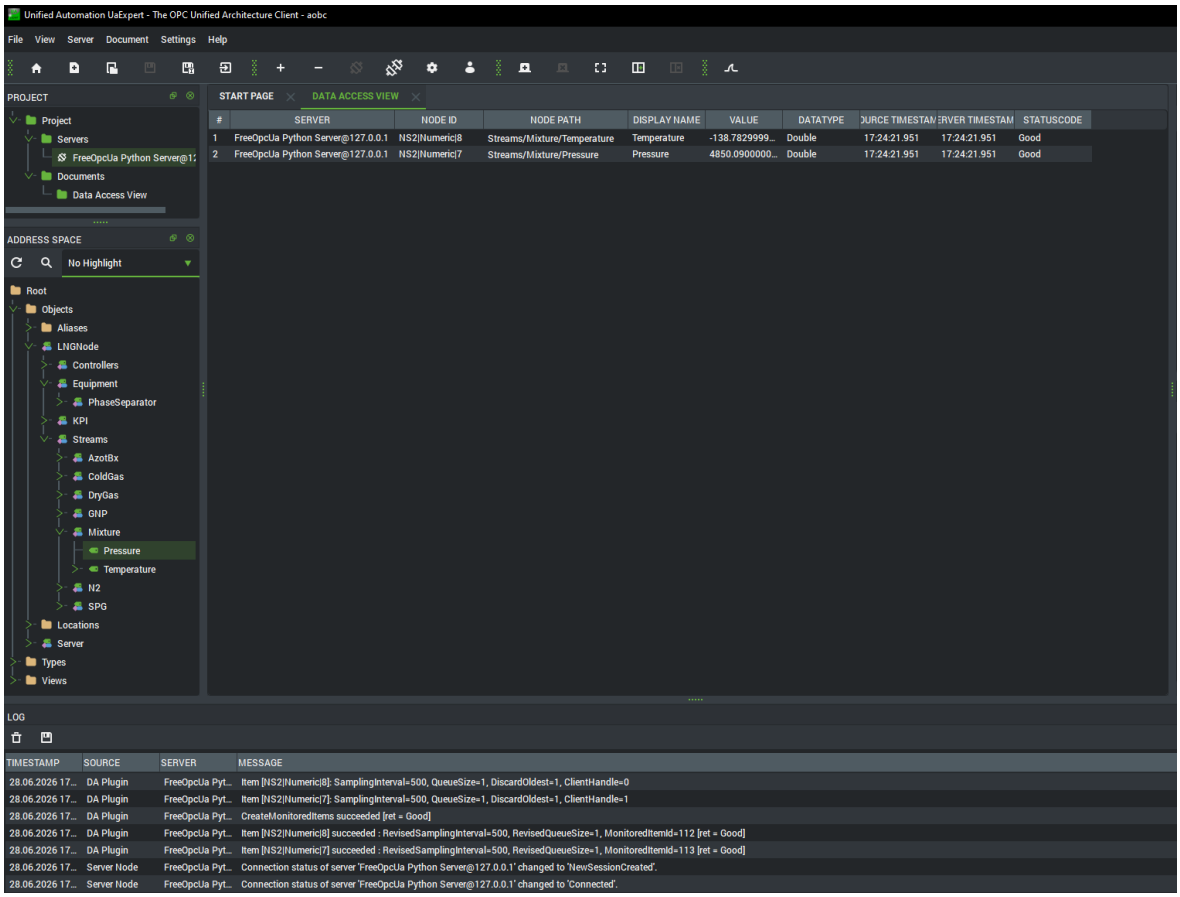

Рисунок 3 – Проверка узлов и значений лабораторного OPC UA-сервера в UaExpert [составлено авторами]

При давлении 4850,09 кПа шлюз сформировал строку TIME:1470800.0|PRESS:4850.09|TEMP:-138.783|VLV100:25.0. Ее SHA-256 равен ec487045c074eae92fa74a80e5dada9ed64b27cfd56fb2c189f87f6f1209d3b6. Консоль зафиксировала полезную нагрузку и результат хеширования, после чего транзакция была отправлена в Sepolia (рисунок 4).

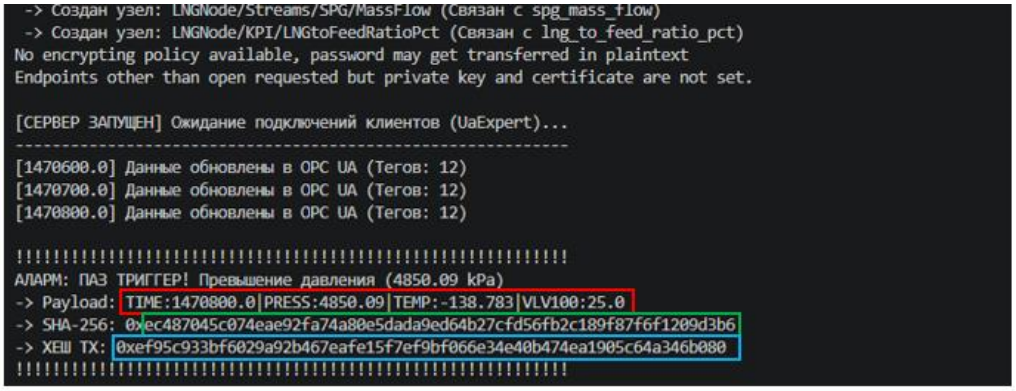

Рисунок 4 – Формирование полезной нагрузки и SHA-256 в консоли Block-chain Gateway [составлено авторами]

Обозреватель блоков присвоил транзакции статус Success и номер блока 11158864 (рисунок 5). В поле Input Data записан тот же хеш, который выведен в консоли. Хеш транзакции составил 0xef95c933bf6029a9 2b467eafe15f7ef9bf066e34e40b474ea1905c64a346b080, расход вычислительного газа Ethereum – 23 560 при установленном лимите 2 000 000, сумма перевода – 0 ETH. Повторный расчет SHA-256 для контрольной строки дал совпадающее значение.

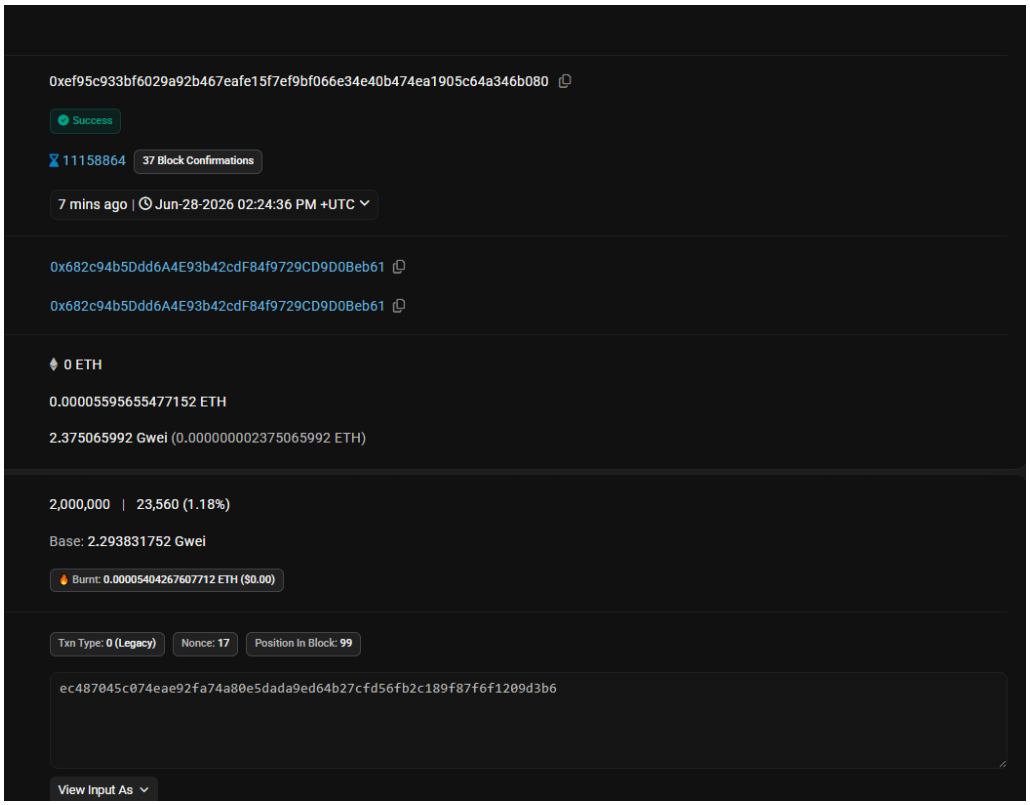

Рисунок 5 – Проверка статуса и поля Input Data транзакции в тестовой сети Sepolia [составлено авторами]

Ограничения

Модуль воспроизводит файл журнала без подключения к действующему контроллеру, поэтому частота опроса ПЛК, задержка передачи и

устойчивость к сетевым отказам не измерялись. Хеш охватывает строку из четырех полей, поэтому изменение остальной части файла не выявляется. OPC UA-сервер запущен без сертификата, а Sepolia используется как тестовая сеть; модуль не является промышленным внедрением, противоаварийной функцией или системой паспортизации партий.

Заключение

Таблица соответствия связала колонки журнала HYSYS, пути OPC UA и пути свойств AAS; сервер создал 12 узлов по строкам конфигурации, а UaExpert подтвердил доступность двух контрольных значений. При давлении 4850,09 кПа шлюз вычислил SHA-256 контрольного среза, значение которого совпало с полем Input Data транзакции со статусом Success. Следующий этап требует проверки модели исполняющим AAS-компонентом, защищенной конфигурации OPC UA и подключения реального источника данных.

Список литературы

1. IEC 63278-1:2023. Asset Administration Shell for industrial applications. Part 1: Asset Administration Shell structure : international standard. – Geneva : IEC, 2023. – 149 p. – ISBN 978-2-8322-7679-2. – Text : electronic. – URL: https://webstore.iec.ch/en/publication/65628 (дата обращения: 24.10.2026).
2. Ye, X. Toward Industry 4.0 Components: Insights Into and Implementation of Asset Administration Shells / X. Ye, S. H. Hong. – Text : electronic // IEEE Industrial Electronics Magazine. – 2019. – Vol. 13, № 1. – P. 13–25. – DOI 10.1109/MIE.2019.2893397.
3. IEC 62541-1:2025. OPC unified architecture. Part 1: Overview and concepts : international standard. – Geneva : IEC, 2025. – 60 p. – ISBN 978-2-8327-0828-6. – Text : electronic. – URL: https://webstore.iec.ch/en/publication/81513 (дата обращения: 24.10.2026).
4. Gonzalez, I. A Literature Survey on Open Platform Communications (OPC) Applied to Advanced Industrial Environments / I. Gonzalez, A. J. Calderon, J. Figueiredo, J. M. C. Sousa. – Text : electronic // Electronics. – 2019. – Vol. 8, № 5. – Art. 510. – DOI 10.3390/electronics8050510.
5. Blockchain Applications for Industry 4.0 and Industrial IoT: A Review / T. Alladi, V. Chamola, R. M. Parizi, K.-K. R. Choo. – Text : electronic // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 176935–176951. – DOI 10.1109/ACCESS.2019.2956748.