

3. Чекулаев А.В. Разработка центробежно-ударного оборудования для измельчения полимерных материалов в технологии получения RDF-топлива / А.В. Чекулаев, Э.Л. Бороха, Д.В. Душкевич, В.А. Гомалинский // Нефтегазохимия – 2023: материалы VI Междунар. науч.-техн. форума по хим. технологиям и нефтегазоперераб., Минск, 1–3 ноября 2023 г. – Минск : БГТУ, 2023. – С. 224-227.

УДК 628.3:621.3

Войтов И.В., Штепа В.Н.

(Белорусский государственный технологический университет)

Рожко В.Н.

(ООО «ВИВАЕВ групп»)

СТРУКТУРА ЦИФРОВОГО РЕСУРСНОГО ДВОЙНИКА ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ SCADA-СИСТЕМ

В международном нормативном документе ISO 23247 «Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing». «Digital Twin» (Цифровой Двойник – ЦД) определяется «цифровой моделью конкретного физического элемента или процесса с подключениями к данным, которая обеспечивает конвергенцию между физическим и виртуальным состояниями с соответствующей скоростью синхронизации». В практическом контексте внедрение на производствах таких виртуальных моделей требует очень значительных финансово-материальных затрат на формирование информационной инфраструктуры и специализированное программное обеспечение (ПО) [1].

Решение видится в использовании уже существующих, хоть, как правило, фрагментарно и разрознено работающих на предприятиях, SCADA [2] (Supervisory Control And Data Acquisition), предназначенных для функционирования в реальном времени (приблизённо к нему) с выполнением сбора, обработки, отображения и архивирования информации о производстве и его диспетчерском регулировании и контроле. При этом такую систему обосновано поэтапно, минимизируя затраты, развернуть до уровня автоматизированной системы управления (АСУ) и даже информационно-аналитической платформы [3]. Соответственно, можно будет достигнуть требований концепта «неразрушающего внедрения цифровых двойников» исходя из модернизации и реконструкции существующих схем автоматизации обеспечив:

Безаварийность работы уже существующих на предприятиях программно-аппаратных комплексов;

Объединение разнотипных платформ ПО и их аппаратных частей;

Множественное подключение и одновременное использование работающих технических средств;

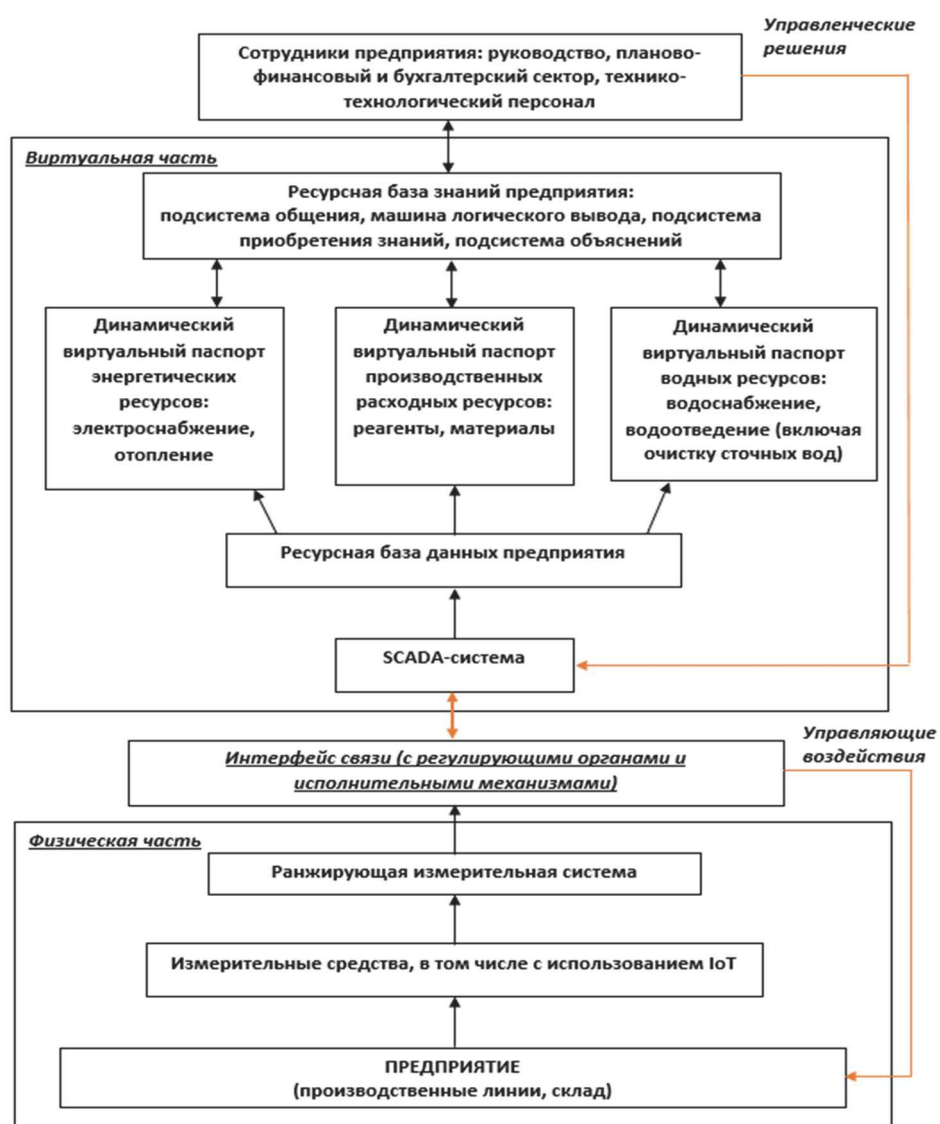


Рисунок 1 – Структура реализации ресурсного цифрового двойника предприятия на базе функционирующей SCADA-системы



Рисунок 2 – Характеристики реализации ресурсного цифрового двойника предприятия на базе функционирующей SCADA-системы

Предлагаемая схема (см. рис. 1) позволяет поэтапно создавать функциональные и востребованные специалистами предприятий продуктовые решения, которые пошагово трансформируются в ЦД:

1. Надстройка над SCADA ресурсной базы данных (визуализация информации) – с интеграцией информационных потоков от разрозненных SCADA в единый информационно-технологический канал;

2. Формирование на основе ресурсной базы данных динамических виртуальных паспортов технологических процессов (энергетического, производственно расходного, водного) [5] и обеспечение единой аналитической обработки ранее децентрализованной информации;

3. Преобразование виртуальных паспортов в ресурсную базу знаний;

4. Принятие управленческих решений на основе взаимодействия с ресурсной базой знаний и их выполнение через инфраструктуру и функционал SCADA, в том числе и в автоматическом режиме.

Общие результаты такого цифрового моделирования:

- повышение экономической эффективности производства, использующего ресурсы на разных стадиях жизненного цикла продукции;

- снижение затрат на ресурсы, улучшения качества принятия управленческих решений, оптимизация технического обслуживания и ремонта (ТОиР);

- снижение рисков возникновения антропогенных нештатных ситуаций путем прогнозирования и обнаружения мест на производстве их потенциального возникновения;

- предиктивное управление локальными сооружениями очистки сточных вод, с опережающей реакцией на поступления залповых концентраций загрязнителей;

- масштабирование ресурсных цифровых двойников на другие подсистемы;

– повышение квалификации и переподготовка специалистов предприятий с использованием ЦД без отрыва от производства (с применением технологий виртуальной и дополненной реальности).

Заключение. Внедрение цифровых двойников в рамках промышленных объектов целесообразно начать с создания динамических виртуальных ресурсных паспортов базируясь на работающих на предприятиях SCADA-решениях с поэтапной трансформацией последних в общепроизводственные цифровые модели на основе информационно-аналитических платформ. Перспективными дальнейшими исследованиями являются обоснование и синтез математических моделей мониторинга и прогноза производственного использования воды, электроэнергии, тепла, реагентов, материалов (других «расходников») и экологических (санитарно-гигиенических) рисков от потенциальных нештатных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. О задачах цифровизации систем водоотведения коммунально-промышленных объектов / И.В. Войтов [и др.] // Нефтегазохимия - 2023: материалы VI Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 1-3 ноября 2023 г. / УО «Белорусский государственный технологический университет». – Минск: БГТУ, 2023. – С. 147–151.

2. Штепа, В.Н. Структура и функционал интеллектуальной системы поддержки принятия решений в водоотведении / В.Н. Штепа // Информатика и кибернетика. – 2022. – №3 (29). – С.51-57.

3. Войтов, И.В. Использование цифровой платформы водоотведения для предупреждения технологических рисков биологической очистки сточных вод / И.В. Войтов, В.Н. Штепа // Инновационные биотехнологии для охраны окружающей среды: от теории к практике : материалы I международной научно-практической конференции, Минск, 23–25 апреля 2024 г. / Институт микробиологии НАН Беларуси; организационный комитет конференции: А.А. Шепшелев (пред.) и [др.]. – Минск: ИнМи, 2024. – С. 83–84.

4. Штепа, В.Н. Обоснование и схемы использования ранжирующих измерительных систем экологического мониторинга и интеллектуального анализа режимов водоотведения / В.Н. Штепа, Н.Ю. Золотых, С.Ю. Киреев // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки: научный журнал. – 2023. – № 1. – С. 94–103.

5. Штепа, В.Н. Экспериментальное и объектно-информационное формирование адаптивного технологического паспорта водоотведения предприятия по производству солода / В.Н. Штепа, А.Б. Шикунец //

УДК 66.021.3

**Mytsko D.Yu., Frantskevich V.S.,
Yang Ya., Zhao X., Sun Zh.**
(Belarusian State Technological University)

HYDRODYNAMICS OF LIQUID FLOW IN NOZZLES

This article introduces the classification and characteristics of common nozzles and describes their applications and research value across different industries and fields. It details the world's leading patents for centrifugal nozzles, electromagnetic nozzles, coaxial nozzles, and vortex nozzles, explaining the operating principles and innovations of various inventions while analyzing their potential for improvement [1–4]. Additionally, the article covers the theoretical foundations of the fluid dynamics characteristics of liquid flow in nozzles, including CFD simulation software, principles of fluid mechanics, components of fluid dynamics, numerical simulation methods, and nozzle principles.

The article simulates and analyzes four different centrifugal nozzles: CLN (centrifugal long nozzle), CLNH (centrifugal long nozzle with hole), CShN (centrifugal short nozzle), and CShNH (centrifugal short nozzle with hole) by controlling the water inlet speed. It calculates the nozzle outlet speed using the Bernoulli equation. The water flow speed and tangential speed within the nozzles are actively analyzed, and the pressure loss for each nozzle is calculated. Experiments are also conducted on the four nozzles to verify the accuracy of the simulations. By controlling the water inlet flow for the different nozzles and measuring the inlet and outlet cross-sectional areas, the water inlet and outlet speeds can be determined, allowing for the calculation of pressure loss. By maintaining the same water inlet flow rate for the different nozzles, the atomization spray angles of the four nozzles are compared and measured using a camera, leading to final conclusions. Using Bernoulli's equation define hydraulic pressure of nozzles (1):

$$\Delta p = k \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (1)$$

где k – resistance coefficient; ρ – density of the liquid, kg/m³; v – flow velocity, m/s.

In Figure 1, you can see the variation in hydraulic pressure of the nozzles.