

**Коновалов Юрий Васильевич,**

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: yrvaskon@mail.ru

**Малинин Николай Константинович,**

обучающийся гр. ЭЭ-22-1, Ангарский государственный технический университет,

**Кузнецов Максим Евгеньевич,**

обучающийся гр. ЭЭ-22-1, Ангарский государственный технический университет,

**Гусев Илья Григорьевич,**

обучающийся гр. ЭЭ-22-1, Ангарский государственный технический университет

## **КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ИСТОЧНИКОВ ГЕНЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ**

**Konovarov Yu.V., Malinin N.K., Kuznetsov M.E., Gusev I.G.**

### **INCREASING THE EFFICIENCY OF THE USE OF SOLAR PANELS**

**Аннотация.** Рассмотрена концепция управления теплоэлектростанцией с использованием гибридного цифрового двойника, а также определены препятствия, возникающие при цифровизации в энергетическом секторе.

**Ключевые слова:** управление, теплоэлектростанция, гибридный цифровой двойник.

**Abstract.** The concept of managing a thermal power plant using a hybrid digital twin is considered, as well as the obstacles that arise during digitalization in the energy sector.

**Keywords:** control, thermal power plant, hybrid digital twin.

Объекты генерации энергии имеют значительный потенциал повышения энергоэффективности и надежности [1, 2]. Возможности его реализации заложены в развитии современных автоматизированных систем управления технологических процессов (АСУ ТП) типа SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – система сбора данных и оперативного контроля, предназначенная для получения и хранения информации о текущем режиме энергосистемы и состоянии оборудования) с развитыми функциями контроля и управления, а также современными средствами диагностики и превентивной стратегией обслуживания [3, 4]. Но потенциал современной генерирующей электростанции намного больше, и это делает оправданным внедрение комплексного цифрового двойника. Цифровой двойник (ЦД) позволяет существенно повысить показатели станции и дополнить существующую систему АСУ ТП. Повышение эффективности электростанции достигается за счет оптимизации технологических режимов и повышения надежности, благодаря переходу на техническое обслуживание и ремонт оборудования по фактическому состоянию. Эти возможности цифровой двойник может реализовать за счет того, что в нем применяются эталонные верифицированные математические модели физических процессов, работающие на данных, поступающих от штатных средств автоматики. Цифровой двойник позволяет непрерывно получать инфор-

мацию о текущем состоянии объекта, для которой ранее требовалось глубокое техническое обследование.

Кроме оценки фактического технического состояния оборудования, двойник может спрогнозировать его изменение во времени и оценить его влияние на эффективность работы станции.

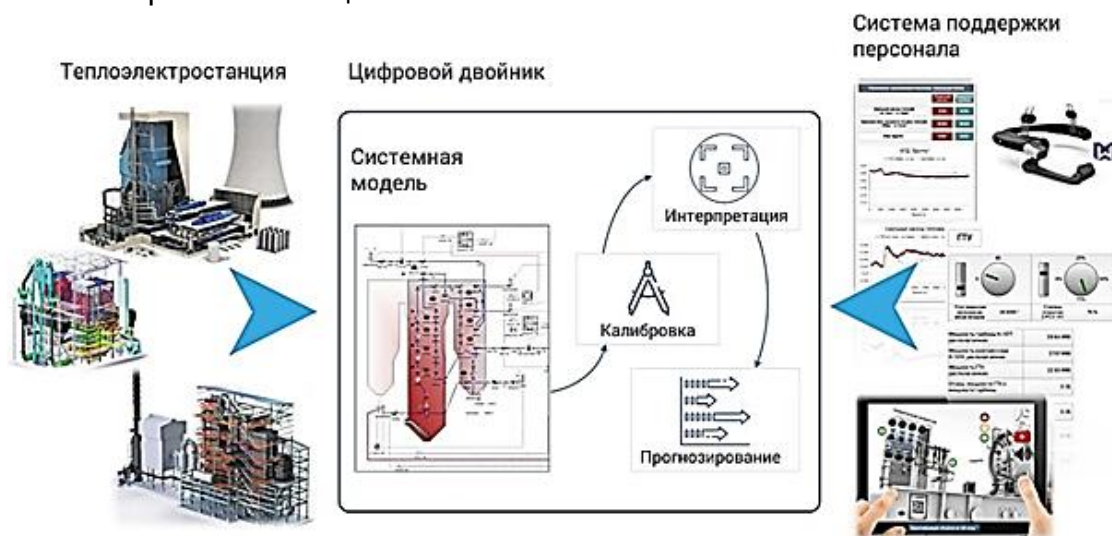


Рисунок 1 – Концепция цифрового двойника теплоэлектростанции

Более перспективным элементом цифровизации в этом направлении может стать гибридный цифровой двойник, который состоит из двух частей. Первая – это цифровой двойник, где есть модель, система калибровки, логические блоки интерпретации показаний моделей и анализатор трендов для прогнозирования. Вторая часть – это система поддержки персонала, которая имеет человеко-машинные интерфейсы (HMI) для оперативного персонала и сервисной службы, и платформа дополненной реальности (AR).

Концепция гибридного цифрового двойника, отличается по своей структуре и функционалу как от штатных АСУ, так и от систем аналитики на базе статистических или балансовых моделей. Главное отличие состоит в том, что математические модели, основанные на Ньютонской физике, в составе гибридного цифрового двойника дают больше данных о техническом состоянии объекта, чем штатные системы диагностики и прогноза. Контроль отклонений производится по динамическим уставкам с учетом данных последнего технического обслуживания. Это позволяет своевременно оповещать о негативных процессах, например, повышенной скорости загрязнения поверхностей нагрева. Благодаря этому персонал станции своевременно принимает меры для устранения возникающих проблем не допуская их развития. Таким образом, когда углубленный контроль состояния происходит периодически, упускается время между возникновением проблемы и ре-

акцией на нее. При непрерывном контроле меры по устранению принимаются мгновенно.

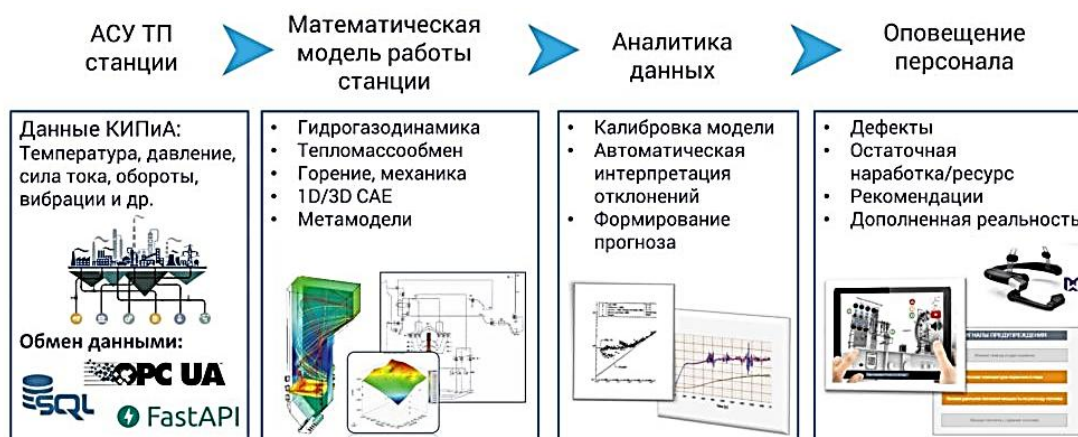


Рисунок 3 – Принцип работы цифрового двойника тепловых электростанций

Общий алгоритм работы цифрового двойника следующий. Показания физических датчиков, установленных на оборудовании, передаются через штатную АСУ ТП в цифровой двойник, реализованный в виде сервера промышленного исполнения или промышленного контроллера. Математическая модель получает эти данные и в непрерывном режиме проводит расчет остальных неизмеряемых физически параметров процесса. Эти данные она предоставляет оператору в виде виртуальных датчиков и использует для вычисления технико-экономических показателей, а также для диагностики определенных дефектов и прогнозирования. Математическая модель подвергается регулярной калибровке, чтобы соответствовать текущему состоянию оборудования. Также она позволяет определять на ранней стадии отклонения, благодаря тому, что может быть использована в качестве эталона для сравнения данных физических измерений. Прогноз строится на основе экстраполяции роста отклонений в соответствии с диагностическими критериями и правилами.

При работе энергетического блока имеет место много взаимосвязанных сложных непрерывных физических процессов. Для отдельных сложных нелинейных процессов создаются трехмерные CAE-системы. Это сложные программные продукты, позволяющие при помощи расчётных методов (метод конечных элементов, метод конечных разностей, метод конечных объёмов) оценить, как поведёт себя компьютерная модель в реальных условиях эксплуатации, помогает убедиться в работоспособности изделия, без привлечения больших затрат времени и средств. Далее эта сложная система преобразуется в модели пониженного порядка (ROM-модели Reduced Order Models) – это результат упрощения высокоточной сложной модели. Она отражает поведение исходной модели, позволяя обслужи-

вающему персоналу быстро изучить доминирующие эффекты системы с помощью минимальных вычислительных ресурсов, и далее интегрируется в единую системную модель, воспроизводящую реальную работу энергоблока.

Основой цифрового двойника является платформа промышленного интернета вещей (IIoT), выступающая в качестве фреймворка для создания пользовательских приложений, человеко-машинных интерфейсов, и включающая все необходимые средства интеграции датчиками, контроллерами, АСУ ТП, ПЛК и другими системами.

IIoT-платформа работает полностью в контуре заказчика, по локальной сети и тем самым снижает нагрузку на инфраструктуру и обеспечивает единую базу знаний по котельному агрегату, включая эксплуатацию и обслуживание.

Подсистема дополненной реальности (система поддержки персонала) обеспечивает работу оперативного и сервисного персонала, визуализируя эталонные ремонтные операции через интерактивные инструкции в дополненной реальности. При необходимости через систему можно подключить удаленного ассистента [5, 6].

Несмотря на целый ряд технологических достижений, существуют препятствия, которые необходимо преодолеть, прежде чем внедрять цифровые технологии. Ниже представлен ряд вызовов для цифровизации в энергетическом секторе:

1. Регулирование – например операции с использованием беспилотных летательных аппаратов для мониторинга технических объектов регулируются целым рядом государственных постановлений.

2. Стандартизация и обмен данными – маловероятно, что частные компании захотят делиться данными, составляющими коммерческую тайну. Это создает препятствия на пути стандартизации данных в отрасли.

3. Устаревшие системы – цифровая трансформация представляет собой революционную и болезненную перестройку методов работы организации. Однако отказ от внесения изменений в устаревшие системы ради внедрения новых технологий будет по-прежнему оставаться значительным препятствием на пути к внедрению цифровых технологий.

4. Дефицит квалифицированных специалистов – без «цифровых» специалистов, с необходимым набором «цифровых» навыков, компании будут неспособны эффективно провести цифровую трансформацию.

5. Кибербезопасность – поскольку все больше и больше информации перемещается в облако, а организации все больше полагаются на новые технологии, они должны быть способны защитить свои данные.

Тенденция цифровизации большого количества рыночных сегментов набирает обороты. Энергетическая отрасль, являясь ключевой отраслью для россий-

ской экономики, не осталась в стороне от этого процесса. Этапы развития процессов цифровизации в энергетической отрасли страны всегда были обусловлены научно-техническим прогрессом: появление новой техники и технологий сразу же затрагивало все аспекты функционирования предприятий данной отрасли. С 2010 года и по настоящее время в роли таких прорывных технологий в энергетике выступают: искусственный интеллект, продвинутая аналитика, блокчейн, цифровые двойники и др.

Осуществление цифровой трансформации является сложной и неоднозначной задачей, при которой необходимо в первую очередь минимизировать риски внеплановой остановки предприятия из-за сбоев при внедрении новых технологий. Кроме того, цифровизации отрасли сильно препятствуют дефицит «цифровых» специалистов, отсутствие целого ряда стандартов, а также киберугрозы и нестабильность рынка в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. О цифровой трансформации энергетической отрасли // Общественно-деловой научный журнал: «Энергетическая политика» [Электронный ресурс], URL: <https://energypolicy.ru/o-czifrovoj-transformaczii-energeticheskoy-otrasli/neft/2021/19/05/> (дата обращения: 13.03.2022).

2. **Мозохин А.Е., Шведенко В.Н.** Анализ направлений развития цифровизации отечественных и зарубежных энергетических систем Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 4. pp 657–672 Preprint doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-657-672.

3. **Rylov A.V., Ilyushin P.V., Kulikov A.L, Suslov K.V.** Testing Photovoltaic Power Plants for Participation in General Primary Frequency Control under Various Topology and Operating Conditions. Energies, 2021, vol. 14, issue 16, 5179

4. **Konovalov Yu.V., Zasukhina O.A.** Cloud technologies in energy. Journal of Physics: Conference Series, 1680 (2020), статья № 012024, [Электронный ресурс], URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85098553884&doi=10.1088%2f1742-6596%2f1680%2f1%2f012024&part>.

5. Новости «Цифровой экономики», [Электронный ресурс], URL: <https://data-economy.ru/news>, (дата обращения: 08.05.2023).