

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ЗАВОДА И ВОПРОСЫ ИНФОРМАТИЗАЦИИ. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

И.Н. Чиковская (Санкт-Петербург)

Модернизация предприятия без снижения объемов производства и, тем более, без его остановки – это задача, которая под силу «современным технологиям».

Создание цифрового двойника путем формирования цифровых информационных моделей производственных цехов поможет собрать данные о состоянии оборудования, об основных и оборотных средствах, а также о производственных процессах, и проанализировать их с помощью специализированных систем. Конечно, на большом числе предприятий еще установлено и работает оборудование послевоенного периода, а сами производственные корпуса могут быть еще более возрастными. Поэтому вопросы эксплуатации производственных мощностей также, как и модернизации производства становятся приоритетными задачами.

В данной статье хочется обратить внимание на цифровые информационные модели производственных зданий и их роль при создании цифровых двойников¹ предприятий.

В Российской Федерации утверждена программа «Цифровая экономика». Частью этой программы являются программа «Индустрия 4.0» и федеральный проект «Цифровое строительство» (рис. 1).



Рисунок 1 – Индустрия 4.0 и Цифровое строительство – части «Цифровой экономики»

Обе эти части ложатся в основу единой концепции создания цифрового двойника предприятия (завода).

Что же позволит решить задачу создания цифрового двойника предприятия?

Любое предприятие является объектом капитального строительства промышленного назначения и проходит полный жизненный цикл от появления идеи до демонтажа, но в отличие от административных зданий имеет стадию модернизации. Именно модернизация производства даст в полной мере почувствовать преимущества

¹ Цифровой двойник (англ. Digital Twin) — цифровая копия физического объекта или процесса, помогающая оптимизировать эффективность бизнеса. Концепция «цифрового двойника» является частью четвертой промышленной революции и призвана помочь предприятиям быстрее обнаруживать физические проблемы, точнее предсказывать их результаты и производить более качественные продукты.

применения технологий информационного моделирования в качестве создания цифрового двойника промышленного объекта/предприятия/завода.

Ключевыми технологиями и направлениями цифрового производства в современном понимании термина являются: PLM/PDM, BigData (Большие данные), ПоТ² (Промышленный интернет вещей), Cloud Computing (Облачные вычисления), развитие области автоматизированного управления производственными процессами и другие. Добавим к ним еще GIS (Геоинформационные системы) и BIM/openBIM (технологии информационного моделирования в строительстве).

Если говорить о BIM, то сами по себе цифровые информационные модели, отображают конструктивные особенности здания завода, содержат в себе информацию о расположении производственных структур (цехи, участки, рабочие места), различных инженерных коммуникациях: электрических сетях, отоплении, вентиляции и кондиционировании, гидравлических системах подачи технических жидкостей и промышленных газов к производственному оборудованию. При этом в моделях реализуются одновременно несколько слоев информации для каждого типа элементов.

В области строительства уже разработана и утверждена серия нормативных документов, относящиеся к информационному моделированию. Документы описывают требования к составу цифровых моделей, структуре данных, уровню детализации, наполнению информацией, форматам обмена и увязывают все со стадией жизненного цикла объекта капитального строительства. Своды правил утверждены и вновь дорабатываются, в основные ГОСТы внесены или находятся в стадии внесения изменения, связанные с применением технологий информационного моделирования в строительстве. Например, СП 333.1325800.2017 «Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла». Читая этот документ, видим, что «положения настоящего свода правил содержат базовые требования к информационным моделям объектов массового строительства и их разработке на различных стадиях жизненного цикла и направлены на повышение обоснованности и качества проектных решений, повышение уровня безопасности при строительстве и эксплуатации. Общие подходы к формированию информационных моделей обеспечивают простоту их использования и повышают эффективность процесса информационного моделирования». Несмотря на оговорку о массовом строительстве эти документы вполне могут использоваться при разработке цифровых информационных моделей объектов производственного назначения. Но так как стандарт разрабатывался для объектов массового строительства, то в жизненном цикле объекта капитального строительства нет стадии «модернизация», как и среди списка моделей нет моделей технологических решений и нет описания требований к цифровым моделям технологических решений. Надеюсь на появление таких дополнений в ближайшем будущем, и определяться они будут ведомственными структурами.

Посмотрим, что происходит в области стандартизации блока Индустрия 4.0. В феврале 2021 года был представлен первый проект предварительного национального стандарта ПНСТ 431-2020 «Умное производство. Цифровые двойники производства»

² Промышленный Интернет вещей (англ. Industrial Internet of Things, ПоТ) — это система объединенных компьютерных сетей и подключенных к ним промышленных (производственных) объектов со встроенными датчиками и программным обеспечением для сбора и обмена данными, с возможностью удаленного контроля и управления в автоматизированном режиме, без участия человека. Применение Интернета вещей в промышленности создает новые возможности для развития производства и решает ряд важнейших задач: повышение производительности оборудования, снижение материальных и энергетических затрат, повышение качества, оптимизация и улучшение условий труда сотрудников, рост рентабельности производства и конкурентоспособности на мировом рынке.

(срок действия с 2021-01-01 до 2024-01-01). В настоящем стандарте определены производственные элементы, которые должны быть представлены в цифровых двойниках производства. До внедрения данного документа каждое предприятие, по сути, применяло свой индивидуальный стандарт — или же прорабатывало каждый заказ индивидуально. В серии стандартов ПНСТ «Умное производство. Двойники цифровые производства» определена структура цифровых двойников производства как виртуального представления физических элементов производственного процесса, таких как персонал, продукты производства, активы и описание процессов. Цифровой двойник производства представляет собой детальное моделирование конфигураций физических сущностей и динамическое моделирование изменений продукта, процесса и ресурсов в процессе производства.

Итак, есть утвержденные нормативные документы по цифровым моделям зданий и цифровым моделям производства в рамках федеральной программы «Цифровая экономика», но эти документы разрознены. В них нет места цифровым моделям, связанным с технологическими процессами и привязанными к зданию, цифровым информационным моделям технологических решений. А ведь именно такие цифровые информационные модели являют собой область пересечения цифровой модели производственного здания и цифрового производства, как основу цифрового двойника предприятия (завода). Именно цифровые модели технологических решений отражают технологический процесс производства через создание функциональных зон: цехи, участки, рабочие места, размещение оборудования, наборы информации каждой сущности модели.

Технологический процесс неразрывно связан с маршрутными картами, о которых говорится в ЕСТД ГОСТ 3.1118-82 «ФОРМЫ И ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ МАРШРУТНЫХ КАРТ». Настоящий стандарт устанавливает формы и правила оформления маршрутных карт, применяемых при разработке технологических процессов изготовления или ремонта изделий в основном и вспомогательном производствах. При операционном описании технологического процесса маршрутная карта выполняет роль сводного документа, в котором указывается адресная информация (номер цеха, участка, рабочего места, операции), наименование операции, перечень документов, применяемых при выполнении операции, технологическое оборудование и трудозатраты.

Маршрутные карты технологических процессов ложатся в основу имитационного (математического/виртуального) моделирования производства. С другой стороны, часть информации, размещаемая в них, неотъемлемо связана с цифровыми информационными моделями здания производственного назначения. На рисунке 2 приведен пример первого листа маршрутной карты.

Маршрутная карта
(первый или заглавный лист)

ГОСТ 3.1118-82 Форма 5																													
По ГОСТ 3.1103-82																													
По ГОСТ 3.1103-82										По ГОСТ 3.1103-82										По ГОСТ 3.1103-82									
МО1 ¹																				13									
КОД										: ЕВ : МД : ЕН : Н.РАСК : КИН : КОД ЗАГОТ. : ПРОФИЛЬ И РАЗМЕРЫ : КД : МЗ																			
МО2 ²										4 5 6 7 8 9 10										11 12									
А : ЦЕХ : УЧ : РМ : ОПЕР										: КОД, НАИМЕНОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ										: ОБОЗНАЧЕНИЕ ДОКУМЕНТА									
Б :										: КОД, НАИМЕНОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ										: СМ : ПРОФ : Р : УТ : КР : КОМД : ЕН : ОП : КШТ : ТПЗ : ТШТ									
АОЗ ¹⁴										15 16 17 18										19									
БО4 ²⁰																				21 22 23 24 25 26 6 27 28 29 30									

Рисунок 2 – Пример первого листа маршрутной карты по ЕСТД

Глядя на рисунок 2, сразу можно выделить кластер информации, которая может храниться непосредственно в цифровой модели технологических решений: цех, участок, рабочее место, операция, код и наименование оборудования. Есть мнение, что хранение такой информации в цифровой модели производственного здания является избыточным, что такая информация должна располагаться во внешней среде данных, что достаточно иметь уникальный ID элемента. Возможно, но это покажет практика. Если не хранить набор данных непосредственно в самой модели, то, во-первых, замена или перемещение оборудования на участке не будет зафиксирована в модели, а значит модель перестанет быть актуальной, во-вторых, имитационные задачи дополнительно нагружаются определением координатных данных для дискретного отображения технологических операций. При этом расположение рабочих мест может быть получено информационными системами непосредственно из цифровых моделей технологических решений.

Каким же образом это может быть реализовано? На сегодняшний день существует несколько способов построения цифровых моделей промышленных объектов. Поговорим о двух из них: лазерное сканирование и «поднятие» моделей по имеющейся проектной (исполнительной) документации (рис. 3). В чем разница?

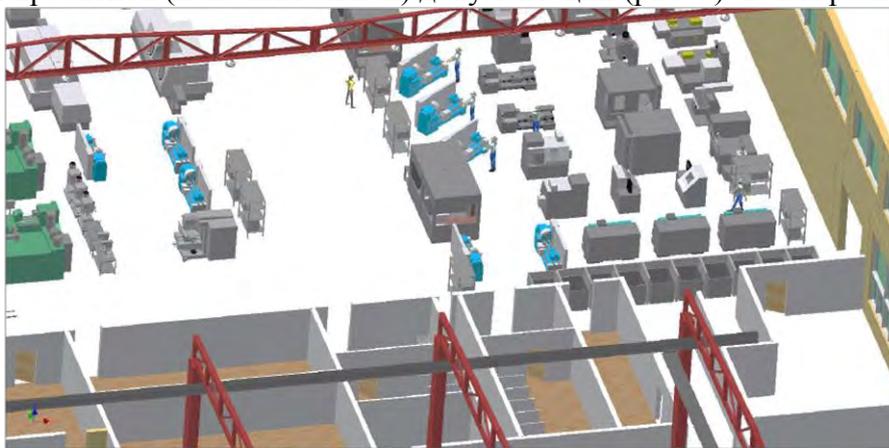


Рисунок 3 – Пример промышленной цифровой модели с размещенным оборудованием

Первый способ – лазерное сканирование – позволяет получить текущее состояние элементов модели и их положение, но не позволит получить исходные данные с точными габаритами, материалами и не предоставит механизмов по их присоединению; второй – даст более точный результат по габаритам, материалам и иным данным, которые могут и должны быть связаны с элементами цифровой модели, но может не отразить текущего положения элементов. Как правило, после лазерного сканирования необходимо выполнить работы по воссозданию цифровых моделей в векторном формате и всеми вытекающими из этой технологии работы. Если же выбрать второй способ, то все равно придется актуализировать проектную модель до текущего состояния и при этом применить метод лазерного сканирования. Следовательно, при создании цифровых двойников производств и их актуализации не получится обойтись одним способом воспроизведения (рис. 3).

У цифрового двойника предприятия, а точнее у цифровой информационной модели промышленного объекта есть еще одна реализация кроме имитационного моделирования технологических процессов и их оптимизации.

При возникновении необходимости модернизации производства любое предприятие становится заказчиком на выполнение работ по разработке проектно-сметной документации. Такие работы выполняются на договорной основе с обязательным формированием технического задания. Так вот, заказчик может передать исполнителю цифровые информационные модели зданий, подлежащих модернизации.

Это переведет работу проектировщиков на новый уровень и позволит упростить согласование проектных решений, контроль на строительной площадке, и самое главное, произвести анализ предлагаемых технологических процессов путем имитационного моделирования или виртуальной реальности.

Конечно процесс создания цифрового двойника предприятия долгий и потребует от руководства твердости, терпения, умения идти к поставленной цели и добиваться ее.



Рисунок 4 – Председатель Правления ПАО АНК «Башнефть» А. Шишкин и ВРИО Главы Респуб. Башкортостан Р. Хабиров

В 2019 году Роснефть запустила в опытно-промышленную эксплуатацию цифровой двойник своего месторождения в Башкирии – проект «Цифровое месторождение»³, выстраивая тем самым интегральную цепочку нового типа, включающую в себя «цифровое месторождение», «цифровой завод» и «цифровую АЗС» (рис. 4). Разработка и запуск проекта «Цифровое

месторождение» осуществляется в рамках стратегии «Роснефть – 2022», предусматривающей переход на качественно новый уровень управления бизнес-процессами, повышение надежности и экономичности производства, сокращение потерь. Хотя в приведенном примере есть упоминание о «цифровом заводе», но все же выполненная работа относится к управлению производственными процессами, а не промышленными объектами недвижимости.

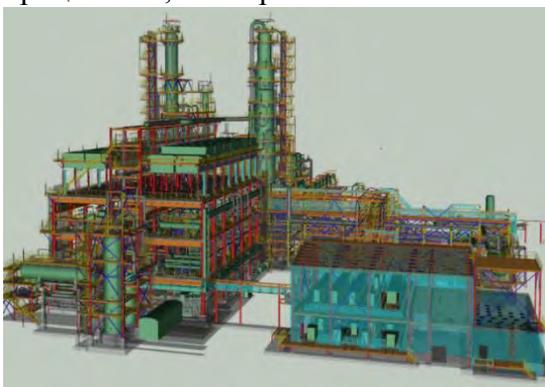


Рисунок 5 – Пример воссоздания объекта лазерным сканированием и преобразованием в цифровую модель

Экономический эффект от внедрения системы на нефтеперерабатывающих заводах оценивается более чем в 700 млн. рублей в год.

Приведенные примеры касаются производств непрерывного цикла. Но есть и иной пример. В рамках проекта «Цифровой завод» компания «2050» создала цифровой двойник производства на базе имитационной модели (рис. 6). На презентации были продемонстрированы все возможности проекта, уже успешно внедренного на Новочеркасском ЭВЗ⁵ (входит в АО «Трансмашхолдинг»).

Другой пример. Как сообщается на сайте компании «Газпром нефть»⁴ от 27 октября 2020 года, «Газпром нефть» получила патент на собственную цифровую разработку – Систему управления инженерными данными (СУПРИД). Система формирует электронные модели производственных установок – цифровые двойники, включающие в себя инженерно-техническую документацию и 3D-модель объектов. Сейчас СУПРИД охватывает

Московский и Омский НПЗ «Газпром нефти», позволяя на 20% сократить временные затраты на выполнение регламентных мероприятий по эксплуатации, ремонту и

³ Более полная информация на сайте Роснефть (www.rosneft.ru/press/news/item/195043/).

⁴ «Газпром нефть» защитила патентом собственную систему управления инженерными данными www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom_neft_zashchitila_patentom_sobstvennuyu_sistemu_upravleniya_inzhenernymi_dannymi/.

⁵ Деловой портал «Управление производством». Сайт: www.up-pro.ru.

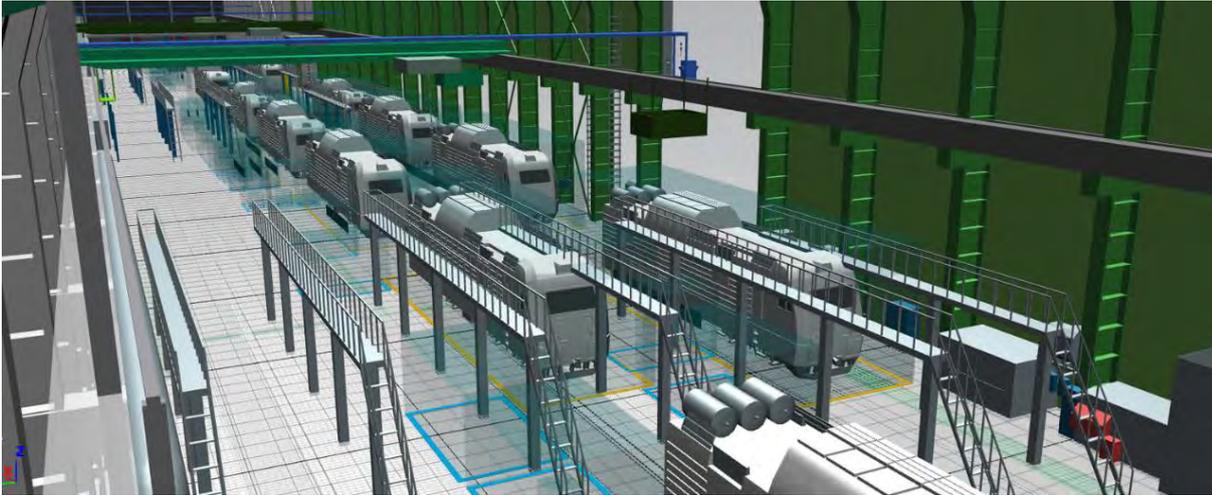


Рисунок 6 – Симуляция модели в 3D

На первом этапе анализируется деятельность сборочного производства по достижимости выполнения годового плана. Симулируя работу цеха на цифровой модели при различных объемах требуемого годового выпуска локомотивов (секций), определяется точная дата нахождения каждой секции на посту, даты выпуска локомотивов и выполнения годового плана. Кроме того, производится расчет максимального количества выпуска продукции при заданных условиях работы. Этот процесс возможен в режиме 3D визуализации, при этом используется 3D модель сборочного цеха. Таким образом, руководство предприятия может оценить эффективность каждого поста и сотрудника, определить «узкие места» и оптимальные условия работы цеха для достижения годового плана.

На втором этапе анализируется работа конкретных участков производства в цехах. Это позволяет осуществить внутрицеховое планирование с целью подтверждения возможности выполнения недельного плана при текущем плане производства. Кроме того, система позволяет оценить заводские мощности при увеличенном объеме работ с учетом «узких мест» и их детализацией (загрузка станков, нехватка материальных и трудовых ресурсов).

Именно на этих цифровых мощностях будет впервые опробована возможность замены труда штамповщиков (ручного, монотонного и очень опасного) на робота. И решение о том, где именно эффективнее всего произвести такую замену, будет принято на основе детального анализа цифровой модели.

Также на ряде предприятий «ЛокоТех» запущен соответствующий проект, и в киберпространство перенесены цеха Ярославского и Челябинского локомотиворемонтных заводов.

Хочется верить, что возможность создавать цифровые двойники предприятий со всеми производственными и логистическими процессами позволит найти узкие места, которые в жизни могут проявить себя лишь через несколько лет работы, и принять правильное стратегическое решение.

Компания ООО «Бюро ЕСГ» – это системный интегратор, который принимает активное участие в проработке правильного подхода к созданию цифровых двойников промышленных объектов. Нашими клиентами являются крупные промышленные компании в нефтегазовой, сталелитейной, судостроительной и других отраслях. «Бюро ЕСГ» имеет многолетний опыт по внедрению технологий информационного моделирования, применению технологий лазерного сканирования, созданию систем управления инженерными/проектными данными, использованию геоинформационных систем и их интеграции с цифровыми информационными моделями. Наша компания

предоставляет полный комплекс услуг по разработке технологии создания цифрового двойника предприятия с учетом его последующего использования.

За последние годы специалистами ООО «Бюро ЕСГ»⁶ выполнены и продолжают выполняться работы по созданию «цифровых двойников», как на основе лазерного сканирования, так и с использованием проектной, рабочей и исполнительной документации. ООО «Бюро ЕСГ» принимает активное участие при разработке требований заказчиков к цифровым информационным моделям в различных отраслях промышленности, в том числе для ПАО «Газпром нефть», а также в разработке методик создания цифровых информационных моделей с применением программного обеспечения разных разработчиков.

ООО «Бюро ЕСГ» принимает участие в проектах по разработке импортозамещающих систем управления инженерными данными и их интеграции с «цифровым двойником предприятия». Группой специалистов ООО «Бюро ЕСГ» по геоинформационным системам реализован ряд проектов по созданию электронного генплана, а также интеграции BIM и 3D ГИС.

Литература

1. СП 333.1325800.2017 «Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла».
2. ПНСТ 431-2020 «Умное производство. Цифровые двойники производства» (срок действия с 2021-01-01 до 2024-01-01).
3. ЕСТД ГОСТ 3.1118-82 «Формы и правила оформления маршрутных карт».
4. Сайт: https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom_neft_zashchitila_patentom_sobstvennyu_sistemu_upravleniya_inzhenernymi_dannym/.
5. Сайт: www.2050-integrator.com.
6. Деловой портал «Управление производством». Сайт: www.up-pro.ru.

⁶ Более подробно об опыте компании ООО «Бюро ЕСГ» и предоставляемых услугах можно ознакомиться на сайте <http://esg.spb.ru>.