

Алексей Матявин,
руководитель отдела инжиниринга
и продаж оборудования СЗАО «Филтер»

Егор Гарист,
инженер-энергетик
СЗАО «Филтер»

Максим Рынкевич,
инженер-энергетик
СЗАО «Филтер»

Инновации на службе производства. Потенциал цифровых моделей

Современные технологии стремительно меняют лицо промышленности, формируя актуальные подходы к управлению и оптимизации производственных процессов. Особое внимание уделяется цифровизации, которая открывает новые горизонты для повышения эффективности работы предприятий. Одним из самых ярких и перспективных ее инструментов стало явление цифровых двойников.

Ключевые этапы разработки цифровых моделей

Процесс создания ЦД может включать множество шагов, поскольку каждое предприятие или его узел имеет уникальные особенности работы и требования, предъявляемые к технологии. Однако для удобства выделяют три ключевых этапа (рис.), которые служат основой для формирования любого цифрового двойника.

1. Построение математической модели – создание уравнений, описывающих рассматриваемый процесс или систему в целом. На данной стадии осуществляется сбор исходных данных, их структурирование, анализ, верификация их корректности и затем уже непосредственно математическое представление. Заказчик при этом видит только верхушку айсберга в виде визуализации закономерностей, выявленных при формировании математической модели.

2. Разработка цифрового двойника – переход от математического моделирования к разработке цифровой модели. Для построения используются программные комплексы, специализирующиеся на бизнес-моделировании, моделировании логистики, моделировании технологических процессов или же их вариаций.

3. Имитационное моделирование – работа с существующими базами данных и анализ трендов. Данный этап позволяет создать «базу знаний», которая является целостным архивом имеющейся информации, прогнозов работы, отказов и аварий. Этот архив дает возможность определить достоверность созданного цифрового двойника и перейти к имитационному моделированию с глубоким анализом текущей работы, а также к моделированию различных режимов работы предприятия.



Цифровизация и цифровые модели. Общие понятия

Цифровизация в глобальном плане представляет собой концепцию экономической деятельности, основанной на цифровых технологиях, внедряемых в разные сферы жизни и производства. Цифровизация на предприятии – это процесс интеграции цифровых технологий и инструментов в бизнес-процессы компании с целью повышения ее эффективности и конкурентоспособности. И на одном из этапов цифровизации предприятия так или иначе сталкиваются с понятием «цифровой двойник» (англ. *digital twin*).

Хочется отметить достижение наших соседей: в 2021 году введен стандарт, полностью российской

разработки, ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения», где впервые в мировой практике устанавливается единое определение цифрового двойника (ЦД) изделия – это «система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями».

Цифровые двойники – это высокоточные виртуальные модели, которые ведут себя как физическая система, выглядят как она и подключаются к ней. Физические системы – это операции и процессы энергоемких промышленных предприятий и их локальных подразделений. Создание ЦД требует знаний в области не только инжиниринга, но и науки, программирования и искусственного интеллекта.

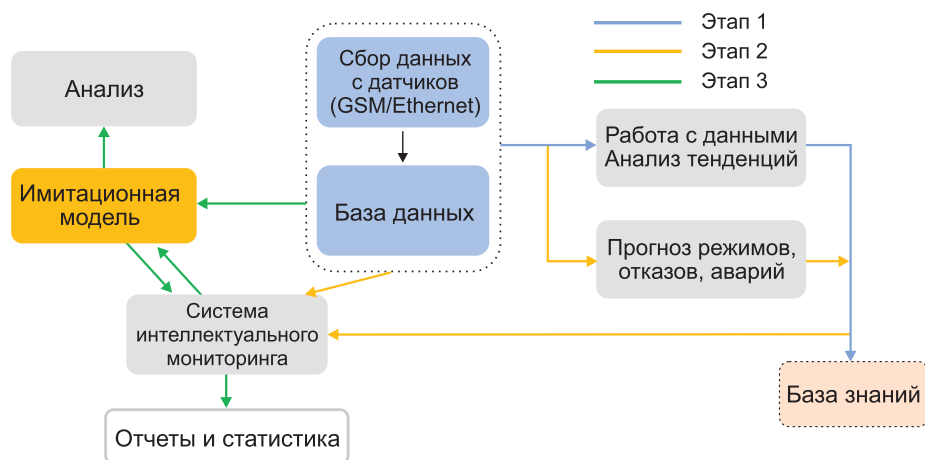


Рис. Блок-схема основных этапов

Цифровые двойники подразделяются на три основные категории в зависимости от области применения и типа данных, которые они обрабатывают.

1. Цифровые двойники технологических процессов.

Эта категория ориентирована на моделирование и анализ различных параметров, определяющих технологические процессы, в том числе теплофизические, термодинамические и химические характеристики. Применение таких цифровых двойников позволяет:

- *контролировать и оптимизировать* параметры производственных процессов. Например, в технологических системах можно анализировать и регулировать расход энергоресурсов, корректировать температуры на разных этапах обработки сырья и сверять результаты с работой существующих систем;
- *предсказывать поведение систем* в изменяющихся условиях, что особенно важно для сложных технологических процессов, таких как пастеризация или кристаллизация, где малейшие изменения температуры или давления могут существенно повлиять на конечное качество продукта;
- *управлять безопасностью*. В химической промышленности, например, необходимо учитывать возможность появления нежелательных реакций или перегрева оборудования.

2. Цифровые двойники логистических цепочек.

Данные цифровые модели сосредоточены на оптимизации всех этапов логистики – от поставки сырья до доставки готовой продукции конечному потребителю. Логистические цифровые двойники позволяют:

- *оптимизировать маршруты и процессы доставки*, что может включать минимизацию времени транспортировки, снижение затрат на топливо и повы-

шение эффективности загрузки транспортных средств;

- *улучшать управление запасами и складированием*. С их помощью можно точно рассчитывать необходимый объем хранения, избегая как дефицита, так и излишков продукции;

- *обеспечивать бесперебойность поставок*. Модели позволяют прогнозировать возможные задержки или сбои в цепочке поставок и разрабатывать превентивные меры для их недопущения.

3. Цифровые двойники бизнес-процессов.

Такой тип цифровых двойников предназначен для анализа и совершенствования стратегических и операционных аспектов предприятия. Основное внимание здесь уделяется:

- *финансовым показателям*. Модели позволяют прогнозировать доходы и расходы, оценивать рентабельность производственных линий и выявлять наиболее эффективные направления инвестиций;
- *рыночным анализам*. Цифровые двойники помогают отслеживать динамику спроса и предлагать наиболее подходящие стратегии продвижения продукции;
- *операционной эффективности*. С помощью моделей можно анализировать производительность оборудования, управлять затратами и определять общую эффективность предприятия.

Интеграция цифровых двойников

Наибольшая польза цифровых двойников наблюдается при их объединении, когда данные с различных уровней синхронизируются и можно получить целостную картину работы предприятия. Такая интеграция дает возможность:

- *в реальном времени отслеживать все аспекты производственного процесса*. Руководители и операторы могут мгновенно реагировать на отклонения от нормы и принимать решения, основываясь на точных данных;

• *управлять всеми процессами с учетом их взаимного влияния*. Например, изменение в логистике (задержка поставок сырья) автоматически учитывается в технологической модели, что позволяет скорректировать производственный график;

- *оптимизировать общую работу предприятия*. Взаимодействие всех категорий цифровых двойников помогает находить «узкие места», повышать производительность и снижать затраты на всех уровнях.

Опыт компании «Филтер» в разработке и внедрении цифровых моделей

Несмотря на значительный объем проделанной работы, созданные компанией «Филтер» модели в настоящее время остаются в рамках перечисленных выше категорий. Следует отметить, что модели явно не отображают особенности технологической обработки пищевых или нефтехимических продуктов через каждую единичную операцию, которая рассматривается как «черный ящик» с подведением потоков извне. Все действия, происходящие внутри «черного ящика», описываются уравнениями закона сохранения энергии и закона сохранения масс. Это связано с наличием в производстве пищевых продуктов многих процессов, зависящих от состава исходного сырья, рецептуры изготавливаемого товара и «работы» микроорганизмов, что затруднительно отразить системами математических уравнений без потери необходимой для работников информации. Такое упрощение ведет к тому, что производственный персонал не сможет увидеть прямых последствий своих решений при эксплуатации цифровой модели. Проблему частично сглаживает использование фактических данных по переработке сырья на предприятии, однако необходимость обработки огромного массива информации, не всегда структурированной для машинного анализа, создает определенные трудности.

На этапе более детального моделирования рассматривается модель не завода, а конкретной технологической линии или оборудования. Переход от макромоделей к более низким уровням позволяет описать изменение в ключевых теплофизических состояниях процесса, например во времени сушки, приготовления, мойки.

В настоящее время ведется разработка моделирования промышленных процессов производства молочной продукции. Балансы массы и энергии присутствуют, но основной акцент делается на химико-биологический состав продуктов. Например, при пастеризации молока его теплофизические свойства изменяются незначительно, однако обеспечивается подавление сапрофитной микрофлоры на 99,5 %.

Учитывая ключевые проблемы, с которыми сталкивается промышленность, и их взаимосвязь, будущий объединенный цифровой двойник должен поддерживать многогранное принятие решений, которое распространяется на весь цикл разработки продукта. Чтобы устранить эти проблемы, мы предлагаем многомасштабный подход к моделированию.

Объединенный цифровой двойник подразумевает охват четырех ключевых компонентов, которые можно разделить на две основные группы.

1. Потребительский аспект:

- **рынок сбыта и потребитель:** определяет общий спрос и предложение, направляет деятельность предприятия. Требования рынка задают тенденции, которые оказывают влияние на все уровни производственной цепочки от сырьевой базы до конечного продукта.

2. Производственные аспекты:

- **сырьевые ресурсы:** зависимость от доступных ингредиентов и материалов, которые влияют на качество и количество продукции;

- **энергетические аспекты:** оптимизация энергозатрат в условиях растущих требований к энергоэффективности;

- **экологические требования:** стремление к минимизации отходов и снижению углеродного следа.

Любое изменение в одном компоненте производственной системы приводит к каскадным изменениям в других. Решение о замене ингредиента для сокращения отходов затрагивает рецептуру, оборудование и расходы на изготовление. Тесная взаимосвязь сырьевых, энергетических и экологических компонентов означает, что корректировка в одном из них неизбежно отразится на других – изменение энергоэффективности скажется на сырьевых затратах и уровне отходов.

Производственные процессы ограничены также рядом факторов. «Узкие места» в технологической цепочке, например недостаточная производительность отдельных операций, могут замедлить общий выпуск продукции. Регуляторные требования к безопасности пищевых продуктов обязывают

Цифровизация играет ключевую роль в оптимизации процессов, позволяя прогнозировать каскадные эффекты и минимизировать их влияние

строго контролировать технические параметры. Изменение условий конвекции в печи, например, может повлиять на достижение необходимой температуры внутри продукта, что критически важно для его безопасности. Необходимо также учитывать качество продукции и ее органолептические свойства, такие как вкус и текстура, которые зависят от взаимодействия процессов как на макроуровне, так и на молекулярном. Изменение метода тепловой обработки может существенно повлиять на эти характеристики.

Современные системы обработки производственных процессов представляют собой сложные взаимосвязанные структуры, где изменения на одном уровне приводят к цепным реакциям на всех других. Для повышения эффективности производства, минимизации отходов и адаптации к требованиям рынка необходимо использовать многомасштабное моделирование и цифровизацию процессов. Такое моделирование помогает учитывать изменения на различных уровнях, начиная от выбора сырья и заканчивая восприятием конечного продукта потребителем, а цифровизация играет ключевую роль в оптимизации процессов, позволяя прогнозировать каскадные эффекты и минимизировать их влияние. Данный подход дает возможность обеспечить гибкость системы и стабильное качество продукции, а также улучшить управление ресурсами и повысить энергоэффективность предприятия.

Будущее цифровизации: вызовы и перспективы

В Республике Беларусь компания «Филтер» активно развивает направление по внедрению цифровых моделей в повседневную работу промышленных предприятий. Сотрудничая как с постоянными клиентами, так и с новыми партнерами, компания стремится совместно решать ключевые задачи:

повышение производственной эффективности, снижение операционных затрат и минимизация экологического воздействия. Такой подход открывает предприятиям новые возможности для оптимизации процессов и укрепления их конкурентоспособности в современных условиях.

Внедрение цифровых технологий требует значительных денежных вложений, включая расходы на программное обеспечение и обучение сотрудников. Некоторые предприятия, особенно в малом и среднем бизнесе, могут быть финансово неподготовлены к цифровой трансформации из-за ограниченности ресурсов и устаревших технологий. Кроме того, интеграция новых решений с существующими системами и медленные темпы модернизации в ряде стран СНГ создают дополнительные препятствия для широкого распространения цифровизации.

Несмотря на эти вызовы, «Филтер» предлагает вместе с заказчиками внедрять цифровизацию поэтапно, сначала вкладывая небольшие инвестиции в моделирование отдельных линий, далее, получив первые результаты, планировать переход к полномасштабным моделям. Это позволит учитывать сложные взаимодействия на всех уровнях производственного процесса. Мы активно делимся своим опытом, консультируем предприятия и демонстрируем преимущества цифровых моделей.

Обладая 20-летним опытом поставки, монтажа и обслуживания промышленного энергетического оборудования, а также необходимыми компетенциями в области цифрового моделирования, компания СЗАО «Филтер» ставит задачу занять лидирующие позиции в данной сфере на территории Республики Беларусь. Мы уверенно идем к цели благодаря прочным партнерским отношениям с нашими заказчиками и эффективному взаимодействию с ними для реализации совместных проектов. ■

FILTER POWERING INDUSTRY

Республика Беларусь,
223053, Минская область,
Минский район, с/с Боровлянский,
пересечение Логойского тракта
и МКАД, административное здание,
каб. 502

Тел.: +375 17 357-93-63

Факс: +375 17 357-93-64

Моб.: +375 29 677-72-65

www.filter.by

e-mail: filter@filter.by

УНП 690600663