

Внедрение технологий инженерного анализа в условиях цифровой модернизации промышленности

А.И. Решетников,

начальник сектора, АО «НИЦЭВТ» (117587, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 125; e-mail: reshetnikov@nicevt.ru)

Г.Л. Садовский,

студент 4 курса кафедры «Предпринимательство и внешнеэкономическая деятельность», Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (117587, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 125; e-mail: sadovskiy.grigory@yandex.ru)

Аннотация. В статье анализируются процессы перехода промышленности на новые принципы цифрового производства. Предлагаются варианты внедрения технологий инженерного анализа на отечественных промышленных предприятиях, выполняется их сценарный анализ.

Abstract. The article analyzes the processes of transition of the industry to new principles of digital manufacturing. Options are proposed for the implementation of engineering analysis technologies at domestic industrial enterprises, and their scenario analysis is carried out.

Ключевые слова: *Инженерный анализ, цифровое производство, цифровая фабрика, внедрение.*

Keywords: *Engineering analysis, digital manufacturing, digital factory, implementation.*

В настоящее время в сфере наукоемкого производства наблюдается конвергенция информационных и промышленных технологий, ведущая к созданию нового технологического уклада, получившего название «Индустрия 4.0» (нем. Industrie 4.0) [1]. Этот термин был введен в оборот на Ганноверской промышленной ярмарке в 2011 году политиками, учеными и бизнесменами. Тогда были сформулированы идеи о новой стратегии развития немецкой промышленности, основанной на создании «киберфизических систем» (англ. Cyber-Physical Systems, CPS), в которых вычислительные ресурсы интегрированы в физические процессы. Согласно этой стратегии, к 2030 году Германия должна полностью перейти на новую инфраструктуру промышленного Интернета. Это означает создание сети интеллектуальных машин, в которой оборудование и продукты являются активными системными компонентами, могут автономно изменять свои производственные шаблоны, управлять своими производственными и логистическими процессами.

Аналогичные программы и промышленно развитых странах были приняты и в других европейских странах: High Value Manufacturing Catapult в Великобритании, Usine du Futur во Франции, Fabbrica del Futuro в Италии, Smart Factory в Нидерландах, Made Different в Бельгии и т.п. В США в 2014 году был создан Консорциум промышленного интернета (англ. Industrial Internet Consortium), в который компании General Electric, AT&T, Cisco, IBM и Intel.

Эти программы являются логичным развитием бизнес-информатики (нем. Wirtschaftsinformatik) как междисциплинарного подхода, объединяющего экономику, информатику и менеджмент в промышленности на базе концепции сетецентричности [2]. Интеллектуальные производственные системы принципиально изменяют существующий облик промышленности. Развитие информационных технологий дос-

тигло такого уровня, когда происходит качественный переход к новому промышленному укладу, в котором осуществляется управление производством как единым организмом, в котором все технологические и организационные элементы связаны между собой. Причем каждый из них работает в режиме взаимной синхронизации с другими, оптимизирует и подстраивает свою деятельность с учетом изменений внешней среды.

Необходимо отметить, что такую стратегию можно реализовать не только на новых предприятиях, изначально создающихся по новым принципам. Она может быть внедрена на существующих промышленных предприятиях путем их поэтапной цифровой модернизации. Уже сейчас существуют успешные примеры реализации отечественных систем управления жизненным циклом изделия (англ. Product Lifecycle Management, PLM) [3]. В отличие от существующей изначальной концепции бережливого производства (англ. Lean production) [4] технологии PLM обеспечивают сокращение потерь на всех стадиях жизненного цикла (ЖЦ) – от разработки до эксплуатации, как внутри производственного предприятия, так и за его пределами, в цепочке поставок компонентов, модулей, узлов и агрегатов.

В условиях цифрового производства в единой виртуальной информационной среде осуществляется построение 3D-модели конструкции продукта, расчет прочности и физико-химических характеристик, проведение инженерного анализа, проектирование процессов ее производства, взаимодействие с поставщиками и соисполнителями, сервисными и эксплуатирующими компаниями. Это означает формирование новой производственной системы – «цифровой фабрики» (англ. digital factory).

Под цифровой фабрикой понимают интегрированный комплекс цифровых моделей, мето-

дов и инструментов, средств моделирования и 3D-визуализации, взаимосвязанных между собой на основе унифицированных систем управления данными. Целевой задачей цифровой фабрики является интегрированное планирование, оцен-

ка и непрерывное улучшение всех основных структур, процессов и ресурсов реального производственного предприятия. Структура цифровой фабрики приведена на рисунке 1.

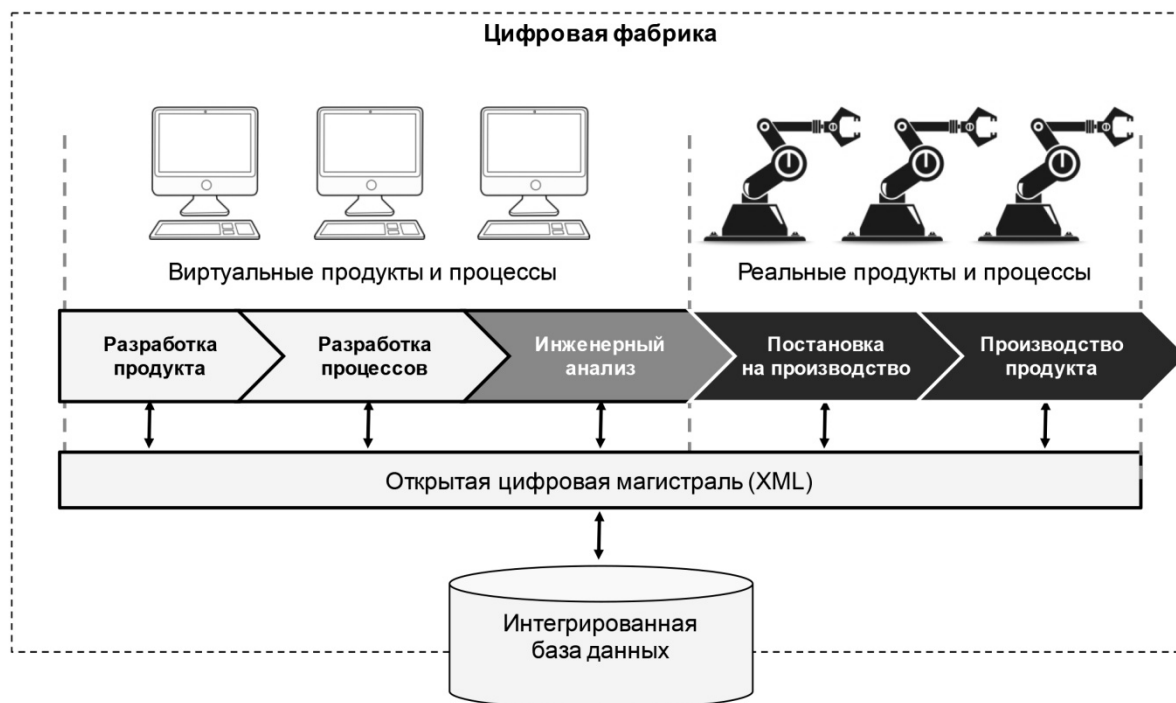


Рис. 1. Структура цифровой фабрики

Для интеграции виртуальных и реальных процессов разработки и производства продукции используется открытая цифровая магистраль, по которой осуществляется обмен данными в формате XML. Интегрированная база данных является распределенной и создается путем виртуализации информационных ресурсов на основе облачных технологий.

В условиях перехода на новые принципы цифрового производства приобретает особую актуальность внедрение технологий инженерного анализа [5]. Как видно из рисунка 1, именно они являются связующим звеном между виртуальными и реальными производственными процессами.

Для каждого предприятия, с учетом особенностей выпускаемой продукции и условий ее последующей эксплуатации, решение задач моделирования выполняется индивидуально. В данной статье, в общем виде, будут рассмотрены возможные варианты внедрения технологий инженерного анализа на этапе разработки, где ранее он не был задействован.

Первым вариантом, является **создание нового структурного подразделения в организации**, данный процесс внедрения инженерного анализа можно условно разделить на несколько этапов:

Первичная оценка доступных средств инженерного анализа. Основные крупные дист-

рибьюторы программного обеспечения, по запросу, могут провести экспертную оценку соответствия возможностей моделирования, в поставляемых ими программных пакетах, продукции разрабатываемой наукоемким предприятием. Также, в открытом доступе, на официальных сайтах, доступны материалы, отражающие возможности расчетных пакетов, особенности их применения, а также множество полезной информации. При этом особое внимание стоит уделить вопросам возможности интеграции расчетных пакетов с уже используемым конструкторским программным обеспечением.

Подбор специалистов, зачастую, оказывается наиболее сложным этапом внедрения. Пожалуй, в связи со значительным дефицитом высококвалифицированных специалистов в области инженерного анализа, особенно в узкоспециализированных областях, успешная реализация данного этапа во многом зависит от профессионализма отдела подбора персонала.

По результатам предыдущих этапов требуется **актуализация выбора средств инженерного анализа**, также перед покупкой лицензий, целесообразно **получить пробные лицензии**. Тестировать возможности выбранных программных пакетов потребуются на существующих проектах с учетом особенностей ведения разработки, соответственно, необходимо учитывать, что потребуются участие не только расчет-

чиков, но и конструкторов. Зачастую именно от реальной интеграции конструкторских и расчетных программных средств, с учетом ведения разработки, будет зависеть эффективность, точность и качество получаемых результатов анализа.

Первичное обучение сотрудников требуется провести для более продуктивного раскрытия стартового потенциала команды, с одной стороны, это позволит избежать значительного количества типовых ошибок, снизит напряженность внутри сформированного коллектива, общение с преподавателями поможет более четко выделить функционал расчетного пакета необходимый для выполнения поставленных задач перед подразделением.

Подготовка оборудования для расчетов может понадобиться в случае, если расчетные модели и, соответственно, генерируемые расчетные сетки будут значительных размеров. При подготовке аппаратных средств необходимо опираться на рекомендации разработчиков выбранных программных продуктов.

Верификация результатов на текущих, а также завершающихся проектах с задачей оценки полученных результатов моделирования в предполагаемых условиях эксплуатации с результатами испытаний. Однако, необходимое сравнение требуется проводить не по качественному признаку, а с максимально возможной детализацией. Как известно, значительное влияние на полученные результаты оказывают непосредственно средства измерения, именно поэтому рекомендуется крайне аккуратно готовить программы испытаний, а при моделировании учитывать максимальное количество воздействующих факторов на модель.

Повторное обучение сотрудников после двух-трех месяцев рекомендуется проводить с фокусировкой на углубленное освоение функционала и закрепления полученных ранее навыков. Данный этап сугубо индивидуален, в связи с этим, в каждом конкретном случае момент его проведения, продолжительность и необходимость определяется руководителем подразделения и производственной необходимостью.

Таким образом, заключительным этапом является **полноценное включение подразделения инженерного анализа в процесс проектирования продукции**, что необходимо закрепить в маршрутных картах и отразить в соответствующих бизнес-процессах предприятия.

Вторым вариантом, является **привлечение контрагентов для выполнения расчетов**, в данном случае процесс сводится к поиску надежной кампании обладающей достаточными компетенциями в моделировании, желательно выполнявшей ранее сопоставимые по сложности и физическим процессам проекты, при этом с приемлемой стоимостью выполнения работ и сроками. Желательно включить в договор сопровождение специалистами контрагента натурных

испытаний с целью возможности верификации данных, полученных при моделировании.

Принятие решения о включении инженерного анализа в цепочку разработки, основывается, в первую очередь, на оценке экономической эффективности применения. Оценку, как правило, начинают с анализа затрат, необходимо отметить, что по некоторым статьям, средства моделирования позволяют существенно сократить или не допустить расходов вовсе.

На рассмотрение предлагается следующая ситуация, к сожалению, встречающаяся повсеместно не только на российских, но и международных предприятиях.

Исходные данные для примера: разработка проводится в сжатые сроки, общий период проекта 1 год с суммой контракта 10 млн. рублей, количество разработчиков – 3 человека с заработной платой 80 т. рублей/мес., стоимость выпуска одного опытного образца 400 т. рублей с временными затратами на непосредственное изготовление 2 месяца. Существует множество сценариев, как развития проекта, так и его результатов. Однако предлагается сконцентрироваться на двух, первый оптимистичный, второй пессимистичный. В общем виде, план выполнения проектирования представлен в таблице 1.

Таблица 1

План выполнения проектирования

№ п/п	Наименование работ
1.	Изучение технического задания по проектированию
2.	Определение технических требований
3.	Определение эксплуатационных характеристик
4.	Разработка конструкции
5.	Макетирование
6.	Изготовление
7.	Разработка программы и методик испытаний
8.	Наладка опытного образца
9.	Проведение предварительных испытаний
10.	Приёмосдаточные испытания, предъявление Заказчику

Первоначально предлагается рассмотреть сценарии с точки зрения временных интервалов, а затем рассчитать плановые затраты.

Сценарий 1. В течение 6 месяцев были выполнены работы п. 1-5 по таблице 1, 2 месяца затрачено на изготовление, параллельно с изготовлением выполнялась разработка программ и методик испытаний, 2 месяца понадобилось для наладки и проведения предварительных испытаний, 2 месяца потребовалось для сдачи заказчику, проведения приёмосдаточных испытаний и оформления определенной контрактом документации. Фактически данный сценарий реализации проекта является идеализированным.

Сценарий 2. На этапе наладки и предварительных испытаний выявились функциональные сбои при эксплуатации на предельно допустимых рабочих температурах. На поиск причин возникновения данной ошибки потребовалось 2 месяца. По результатам обнаружения ошибки, выяснилось, что необходимо перепроектирование нескольких составных частей, предположим, со стоимостью перевыпуска одного комплекта 100 тыс. руб. и временем изготовления 1 месяца.

Таким образом, ориентировочное суммарное время реализации по первому сценарию составляет – 12 месяцев, по второму – 17 месяцев.

Затраты в рассматриваемом примере складываются из: основной заработной платы работников и дополнительной, включающей

премии и компенсации за переработки, отчислений (ФСС, ПФР и пр.), накладные расходы, закупки материалов на стадии макетирования, затрат на проведение испытаний, оплаты услуг смежных организаций, штрафов в случае просрочки сроков по контракту.

Таблица 2

Расчет затрат по проекту

№ п/п	Наименование затрат	Единица затрат	Сценарий 1 тыс. руб.	Сценарий 2 тыс. руб.
1.	Заработная плата	80 000 руб./мес.	2880	4080
2.	Доп. заработная плата	10% от ЗП	288	408
3.	Отчисления (ФСС, ПФР и пр.)	26% от ФОТ	823,68	1166,88
4.	Накладные расходы	10%	316,8	448,8
5.	Закупка материалов на стадии макетирования	15% от Изготовления	60	60
6.	Проведение испытаний	20% от Изготовления	80	160
7.	Изготовление	400 тыс. руб./ед.	400	500
8.	Штрафы по просрочке	1000 руб./день	–	150
9.	Прочие расходы	10% от общей суммы затрат	484,85	682,37
Итого			5333,3	7656

Таким образом, представленные расчеты показывают, что прибыль по сценарию 1 составляет 3780 тыс. руб. и по сценарию 2 – 1898,6 тыс. руб., следовательно, проект для предприятия с традиционным подходом, без внедрения средств инженерного анализа, даже с учетом срыва сроков и однократного перезапуска цикла производства остается прибыльным. Однако, такая схема применима к относительно не сложным проектам. Для проектов, где используются передовые достижения прикладной научной мысли с предельно допустимыми технологическими нормами производства, количество итераций перевыпуска опытного образца может достигать 4-х и более раз, при 80%, а в некоторых случаях и 90% стоимости относительно каждого перезапуска от первой итерации. Это автоматически переведет проект из прибыльного в глубоко убыточный.

В приведенных расчетах не учитываются затраты на проведение инженерного анализа в связи с тем, что они могут значительно отличаться в зависимости от выбранного варианта внедрения. Однако, даже на данном, достаточно типовом примере видно, что разница между конечными прибылями двух сценариев составила порядка 1881,4 тыс. руб. Очевидно, выявленная часть средств находится в зоне риска получения предприятием 50% на 50%. Применяя средства моделирования, повышается вероятность получения опытного образца, соответствующего предъявляемым требованиям по функциональному назначению и условиям эксплуатации, с первого раза, следовательно, появляется возможность существенного сокращения затрат предприятия на проект. А именно, будут сокращены затраты на зарплату сотрудников, сокращено время на поиск проблем и их решение, заказчик не предъявит штрафных санкций за нарушение сроков и репутация предприятия не только не пострадает, но и повысится, а значение этого фактора категорически нельзя недооценивать.

Таким образом, инженерный анализ – это снижение затрат, повышение надежности с возможностью управления качеством выпускаемой продукции. Внедрение моделирования на предприятии неизбежно повлечет за собой: изменения в организационно-штатной структуре с перераспределением обязанностей и ответственности, рост эффективности бизнес-процессов связанных с производственной и финансовой дисциплиной, внедрения единого информационного пространства, что поспособствует повышению достоверности и доступности хранимой информации, снижение риска принятия ошибочного управленческого решения. Одной из сложнейших задач представляется оценка эффективности внедрения инженерного анализа в связи с тем, что процессы, дисциплина, потенциал компании, управленческие приемы претерпевают изменения не столько количественно, сколько качественные.

Библиографический список:

- [1] Иванов П.Д. Инструменты оценки экономического развития промышленных кластеров в условиях цифрового производства // Аудит и финансовый анализ. 2017. № 1. С. 86-94.
- [2] Дроговоз П.А., Иванов П.Д. Перспективы развития бизнес-информатики как междисциплинарного подхода к управлению наукоемкими промышленными предприятиями // Электронное научно-техническое издание «Инженерный журнал: наука и инновации». Пер. № ФС77- 53688. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. Выпуск № 3. URL: <http://engjournal.ru/articles/654/654.pdf>
- [3] Дроговоз П.А., Ралдугин О.В. Информационно-технологические факторы развития кооперации в оборонно-промышленном комплексе и риск-ориентированный подход к ее формированию при создании системы воздушно-космической обороны // Экономические стратегии. 2016. Т. 18. № 7 (141). С. 76-89.
- [4] Grieves M. Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking. McGraw-Hill Education, 2005. 288 p.
- [5] Дроговоз П.А., Буровцев Д.М., Решетников А.И. Средства инженерного анализа и их роль в жизненном цикле продукции // Экономика и предпринимательство. 2016. № 9. С.724-729.