



ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

В работе исследуется влияние инициативы Industrie 4.0 и отражение программного документа «Цифровая экономика Российской Федерации» на ход развития промышленного кластера Вологодской области. Рассмотрены практические примеры внедрения высокотехнологичных программных систем как в промышленном кластере, так и в машиностроительном секторе малых предприятий, а также в области услуг.

Цифровые технологии, PLM и SCADA платформы, 3D проектирование, технологическая подготовка, инженерный анализ.

В академическом исследовании «*Industrie 4.0 Maturity Index – Managing the Digital Transformation of Companies*» (Индустрия 4.0 Индекс зрелости – Управление цифровой трансформацией компаний) [1] сформулирована шестиуровневая модель, в которой анализируются требования политики в области ресурсов, в сфере информационных систем, культуры и организации производства. Основные ступени в развитии предприятия на пути к Industrie 4.0 формулируются в следующей последовательности:

1. Компьютеризация (*Computerisation*).

Компьютеризация предполагает обеспечение цифровыми средствами управления всех подразделений производства.

2. Сетевое взаимодействие (*Connectivity*).

В рамках этой ступени отдельные технологии соединяются в общую информационную среду. Сетевое взаимодействие обеспечивает объединение процедур автоматизированного проектирования и производства CAD/CAM/CAPP/CAE со средствами управления технологическими процессами MES (Manufacturing Execution System) и позволяет построить логику взаимодействия подразделений и дистанционного обслуживания.

3. Обозримость (*Visibility*).

Условие предполагает создание виртуального двойника предприятия. Наличие цифрового отображения, связанного с системами PLM (Product Lifecycle Management), ERP (Enterprise Resource Planning) и MES, позволяет контролировать деятельность предприятия в реальном времени и принимать логически обоснованные решения в условиях быстро изменяющейся ситуации. Реализация этого этапа сопровождается проблемой сбора большого объема достоверных данных.

4. Прозрачность (*Transparency*).

Это требование предусматривает связь цифрового отображения с аналитическими системами, оперирующими большими данными, и получение новых знаний.

5. Прогнозирование (*Predictive capacity*).

В этом разделе используются адаптированные к производству технологии математического и имитационного моделирования, прогноз-корректорная аналитика.

6. Адаптивность (*Adaptability*).

Ступень предполагает способность к прогнозированию, что открывает пути по автоматизации функций, связанных с адаптацией производства к изменяющимся внешним условиям.

Достижения каждой ступени позволяют получить конкурентные преимущества в области производства товаров и услуг для предприятий, работающих в цифровой среде. Чтобы приобрести эти качества, необходимо создать многофункциональные, постоянно расширяющиеся базы данных.

Инициатива Industrie 4.0 затрагивает интересы общества в целом, поэтому должна рассматриваться в техническом и социокультурном аспектах, а также с учетом демографических и других вызываемых ею изменений.

Промышленность 4.0, базирующаяся на цифровых технологиях, дает эффект ускорения процессов в разработке, производстве и маркетинге, а также способна реализовать разнообразные экономические модели. Быстрые изменения в реальном времени являются основными стратегическими атрибутами предприятий в Industrie 4.0. Интеграция информационно-коммуникационных технологий в промышленном производстве дает толчок к новым видам и способам работ, требует преобразования организации и культуры производства.

Государственная Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», отражая мировые тренды, предусматривает реализацию ускоренной политики по созданию необходимых условий для развития цифровой экономики. Новые вызовы являются ключевым фактором производства во всех сферах социально-экономической деятельности, повышают конкурентоспособность, качество жизни, обеспечивают экономический рост и национальный суверенитет [2].

Все направления развития цифровой среды и ключевых институтов опираются на поддержку развития уже существующих условий для возникновения прорывных и перспективных сквозных цифровых платформ и технологий, а также ориентированы на создание условий для возникновения новых продуктов. К числу сквозных цифровых технологий, входя-

щих в рамки Программы, относятся: большие данные; новые производственные технологии; промышленный интернет; компоненты робототехники и сенсорики.

С учетом целей и задач развития цифровой экономики в РФ формируется система управления, которая включает представителей всех социальных и общественных групп. Одной из сторон системы управления является поддержка «стартапов» и субъектов малого и среднего предпринимательства в области разработки и внедрения цифровых технологий путем их информационного насыщения (обучения новым бизнес-моделям, навигации в системе управления, координации с другими участниками и т.д.) и инвестиционной политики (финансовой поддержки, создания специальных правовых и налоговых условий, переориентации институтов развития, создания новых способов поддержки и др.).

В перечне условий по достижению запланированных характеристик цифровой экономики к 2024 году указан такой показатель, как успешное функционирование не менее 500 малых и средних предприятий в сфере создания цифровых технологий и платформ, а также оказания цифровых услуг. Предусмотрены меры по реформированию системы профессионального образования и подготовке компетентных специалистов для цифровой экономики.

Для управления развитием цифровой экономики формируется «дорожная карта», в которой выделены три этапа развития по основным направлениям. Она включает описание целей, ключевых этапов и задач Программы, а также сроков их достижения. План содержит описание мероприятий, необходимых для достижения конкретных ступеней Программы и предполагает его ежегодное обновление. По итогам разделов предусмотрено достижение целевого состояния по каждому из направлений.

Управление развитием цифровой экономики невозможно без согласования интересов всех заинтересованных в развитии сторон и объединения организационных, трудовых, финансовых ресурсов государства и бизнеса.

Отражением Программы «Цифровая экономика Российской Федерации» на региональном уровне являются сформулированные в основных задачах департамента экономического развития Вологодской области положения:

- разработка и обеспечение реализации мер поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства на территории области;

- обеспечение развития научной, научно-технической деятельности на территории области в целях совершенствования форм интеграции науки и производства, реализации достижений науки и техники.

Промышленный кластер Вологодской области активно реализует высокотехнологичные цифровые продукты как в сфере управления, так и непосредственно в производственном секторе и услугах. Среди примеров можно отметить внедрение аппаратно-цифровой платформы на базе концепции SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) в промышленную эксплуатацию при работе доменной печи №5 (ПАО «Северсталь», г. Череповец) и автоматизацию технологических процессов (АСУТП) контроля уста-

новки придоменной грануляции шлака, осуществляющей мониторинг технологического процесса грануляции продукта доменного производства. В рамках модернизации домны № 2 ПАО «Северсталь» реконструирована система контроля охлаждения доменной печи и блока воздухонагревателей. АСУТП контролирует температуру кожуха доменной печи, температуру кожухов четырех воздухонагревателей и штуцеров горячего дутья, температуру кожуха печи в районе лётки, вырабатывает аварийную сигнализацию по превышению температурных границ на световое табло и на контроллер управления работой доменной печи. На предприятии «Северсталь-Метиз» (г. Череповец) внедрена АСУТП мельниц сухого размола силикокальция, в компании ООО «Теплоэнергоавтоматика» (г. Вологда) – для системы телеметрии объектов МУП «Вологдагортеплосеть».

Аппаратная составляющая АСУТП представлена датчиками физических величин, контроллерами нижнего и верхнего уровней, станциями управления и сервером. В качестве средств связи выступают оптоволоконные кабели, либо Интернет. Программная часть поддерживается управляющей SCADA-платформой, в качестве которой могут выступать такие оболочки, как TRACE MODE, In Touch и др. Последние представляют интегрированный инструмент для программирования контроллеров (Softlogic), разработки операторского интерфейса, управления производственными заданиями (MES), управления персоналом (HRM – Human Resources Management) и основными фондами (EAM – Enterprise Asset Management).

Идеология SCADA ориентирована АСУТП в широком спектре управления и требований. Информационная часть платформы позволяет:

- принимать в реальном времени и архивировать информацию о теплотехнических параметрах и нагрузках;

- контролировать значения уставок защиты;
- реализовать защиты и блокировки технологического оборудования;

- вести отчет тревог о достижении текущими значениями параметров регламентных и аварийных границ;

- реализовывать сложные алгоритмы управления;

- контролировать и оповещать о сроках регламентных работ и о наступлении предельных сроков эксплуатации;

- визуализировать ход технологического процесса предприятия в реальном времени.

Внедрение системы телеметрии на основе SCADA позволяет вести мониторинг удаленных объектов и проводить управление их режимом из диспетчерских пунктов.

Машиностроительный сектор Северо-Западного региона последовательно реализует внедрение цифровых технологий на основе САПР продуктов. Комплексное применение идеологии CAD/CAM/CAPP/CAE находится в стадии становления, хотя отдельные его компоненты нашли широкое применение на предприятиях всех уровней.

Основным содержанием цифрового конструкторско-технологического направления являются: проектирование в 3D формате, автоматизированная техно-

логическая подготовка, инженерный анализ конструкции.

На этапе конструкторской подготовки уточняется общая компоновка, кинематические связи и состав будущего изделия из условия унификации и максимального использования стандартных узлов. В рамках этого раздела САД-платформа дает возможности создать и редактировать 3D модели всех деталей и в ито-

ге сформировать рабочие чертежи с изображением необходимых проекций, сечений, разрезов, а также сборочные единицы [3].

Примеры использования САД-технологии в формате 3D при проектировании низкопольного троллейбуса представлены на рис. 1–3, при проектировании установки обеззараживания воды – на рис. 4.

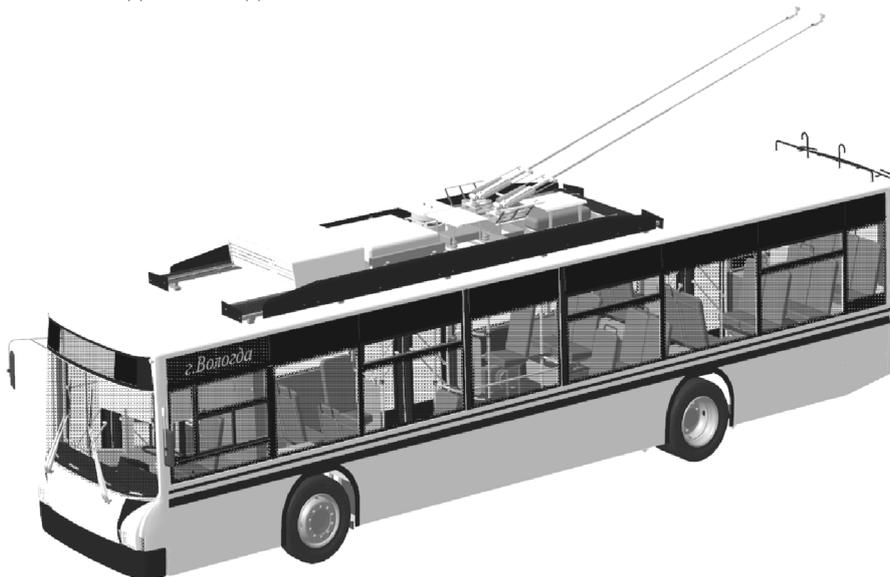


Рис. 1. Цифровая модель низкопольного троллейбуса

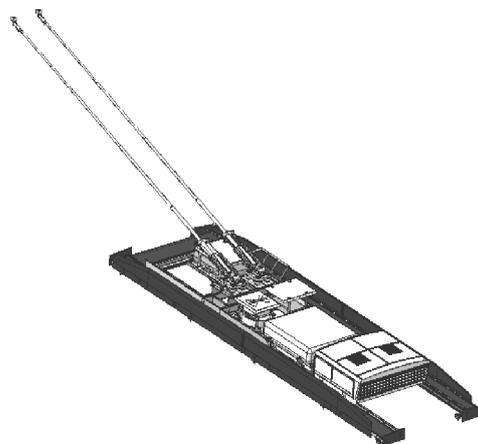
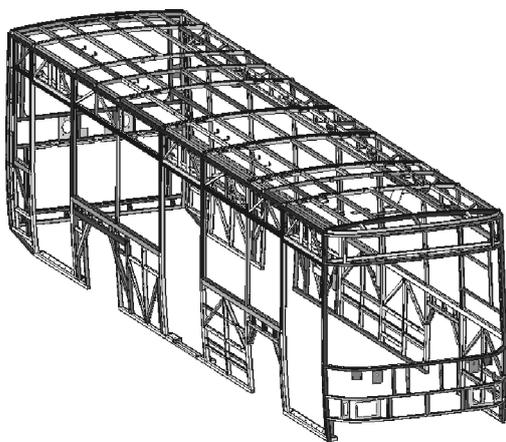


Рис. 2. Цифровые модели сборочных единиц «Каркас» и «Крыша» низкопольного троллейбуса

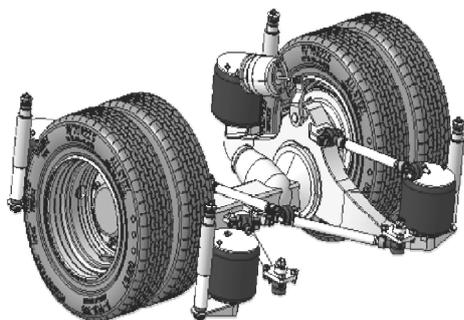


Рис. 3. Цифровая модель сборочной единицы «Шасси заднее» низкопольного троллейбуса

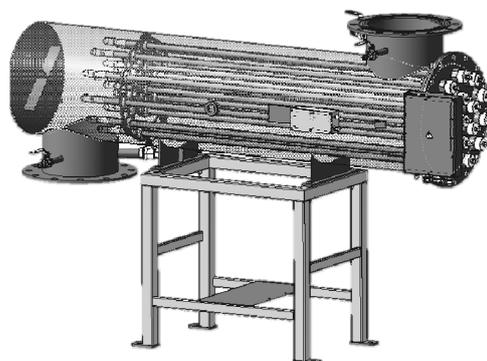


Рис. 4. Цифровая модель установки обеззараживания воды

Программный функционал дает возможность увидеть будущее изделие в объеме и в различных проекциях, придать ему реалистичное изображение в соответствии с заданным материалом для предварительной оценки конструкторских и дизайнерских решений.

Второй этап подготовки производства состоит в разработке на базе САПР ТП технологических процессов. В функции единой системы технологической подготовки производства входит обеспечение технологичности деталей и конструкции изделия в целом [4]. В ходе работы САПР ТП поддерживает связь с групповыми и типовыми технологическими процессами. На этой основе модернизируются технологии изготовления деталей и разрабатываются новые под возможности имеющегося оборудования, назначаются инструментальные средства, выбираются материал и вид заготовок, рассчитываются трудовые нормативы.

Разработка программ ЧПУ для металлообрабатывающих станков и центров осуществляется в специализированных приложениях. Работа с САМ платформой предполагает выбор инструмента, назначенного в базах данных САПР ТП, и, задавая траекторию режущего инструмента, получение требуемого продукта. Функционал платформы позволяет оценить время, затраченное на станочные операции, и выйти на итоговое время металлообработки.

Визуализация процесса механообработки в форме имитации траектории режущего инструмента с учетом перемещений всех исполнительных и вспомогательных органов дает возможность выявить ошибки и коллизии. Постпроцессорная обработка позволяет получить готовую программу обработки детали для конкретной стойки станка ЧПУ. На рис. 5 показана имитация траектории режущего инструмента при обработке детали «Оправа».

Инженерный анализ опирается на компьютерное моделирование и позволяет спрогнозировать поведение отдельных деталей и конструкции в целом как в рабочем режиме, так и в экстремальных условиях. Полный объем исследований, предоставляемых пользователю в САЕ модулях, достаточно широк, однако, как правило, в качестве первоначального этапа выполняется статический расчет. В перечень возможных видов анализа входят

следующие опции: статический расчет деталей и сборок, устойчивость и тепловые явления.

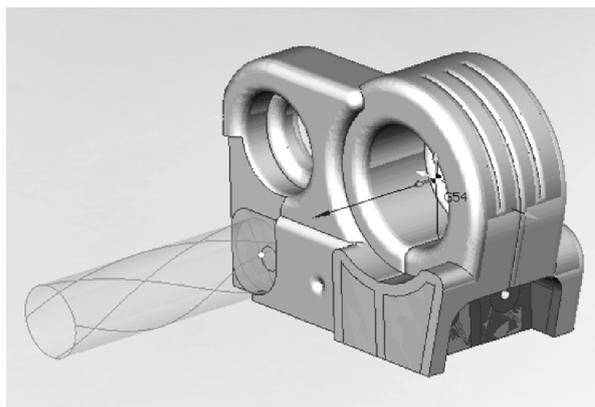


Рис. 5. Визуализация процесса обработки на ЧПУ детали «Оправа»

На рис. 6 представлен результат моделирования движения потока воды при нестационарном заполнении резервуара ультрафиолетовой обработки.

Результатом расчета является графический отчет с изображением формы детали после эксперимента, распределения сил и перемещений, дополненных цветовой шкалой со значениями параметров. Цветовая легенда позволяет определить зоны максимальных значений параметров исследования и сделать выводы о прочностных характеристиках конструкции (рис. 6) [4, 5].

Взаимосвязь цифровых машиностроительных продуктов отражается в PLM платформе [6], где формируется состав дерева изделия. Структура содержит модели, чертежи, описания технологий, сопровождающие документы, а также атрибутивную информацию. В созданной базе данных спроектированное изделие сохраняется как виртуальный прототип, с которым связаны детали и узлы, присутствующие в разработке. Цифровой набор документов является основой дальнейших модификаций изделия, условием организации коллективной работы над проектом [6], а также выступает средством согласования всех звеньев в цепи: заказчик – разработчики – производитель – поставщики – потребители.

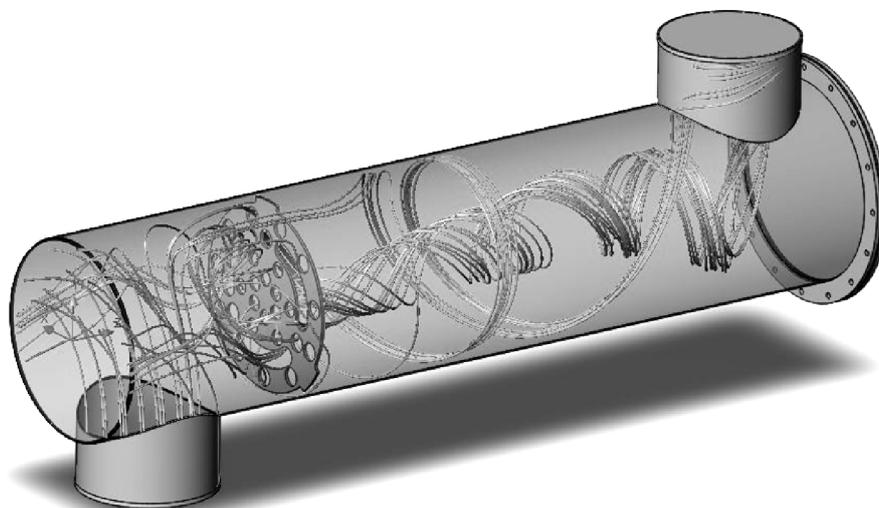


Рис. 6. Визуализация движения потока при нестационарном заполнении резервуара ультрафиолетовой обработки воды

Выводы

Проникновение цифровых технологий в деятельность предприятий находит отражение во внедрении и активном использовании SCADA и PLM систем. Это позволяет обнаружить влияние инициативы Industrie 4.0 и выполнение требований документа «Цифровая экономика Российской Федерации» на развитие промышленного кластера Вологодской области. Использование высокотехнологичных программных платформ отражает направление в развитии предприятий нового типа.

Реализация программы импортозамещения дает дополнительный импульс в развитии и продвижении отечественных высокотехнологичных программных продуктов, а также созданных на базе совместных фирм.

Атрибутом повседневной практики стали цифровые технологии в сфере услуг и быта. В среднем по стране 37,7% оборота розничной торговли и услуг населения проходит по банковским картам. В категорию услуг входят такие виды обслуживания, как транспортные услуги, связь, ЖКХ и др. В 2017 году по картам, эмитированным в РФ, было оплачено товаров и услуг на 16,067 трлн рублей. Политика цифровизации находит отражение на всех уровнях взаимодействия личность–социум–материальное производство.

Литература

1. The National Academy of Science and Engineering of Germany [Электронный ресурс]: Industrie 4.0 Maturity Index – Managing the Digital Transformation of Companies / Günther Schuh, Reiner

Anderl, Jürgen Gausemeier, Michael ten Hompel, Wolfgang Wahlster [eds.]. – Режим доступа: https://en.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Projektberichte/acatech_STUDIE_Maturity_Index_eng_WEB.pdf.

2. Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р // Техэксперт: инф.-справ. система / Консорциум «Кодекс».

3. Булавин, В. Ф. Валидация CAD-продуктов в малых предприятиях машиностроительного сектора / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, В. В. Яхричев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2017. – № 5 (325). – С. 64–75.

4. Булавин, В. Ф. Цифровые технологии в малом бизнесе машиностроительной отрасли / В. Ф. Булавин, В. В. Яхричев // САПР и графика. – 2018. – № 6. – С. 52–55.

5. Булавин, В. Ф. Инженерный анализ и новые технологии в методе конечных элементов / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, В. В. Яхричев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – № 2 (328). – С. 109–120.

6. Булавин, В. Ф. PLM-стратегия в мелкосерийном производстве машиностроительной отрасли / В. Ф. Булавин, В. В. Яхричев, В. А. Глазков // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2018. – № 8. – С. 37–49. – DOI: 10.18698/0536-1044-2018-8-37-49.

V.F. Bulavin, A.S. Stepanov, V.V. Yakhrichiev
Vologda State University

DIGITAL TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING

The paper examines the impact of the Industry 4.0 initiative and “Digital Economy of the Russian Federation” program document on the development of the industrial cluster of Vologda region. Practical examples of the introduction of high-tech software systems both in the industrial cluster and in the machine-building sector of small enterprises, as well as in the sphere of services are considered.

Digital technologies, PLM and SCADA platform, 3D design, technological preparation, engineering analysis.