

*Солодилова Наталья Алексеевна*<sup>1</sup>,  
канд. техн. наук, доцент;  
*Уба Софья Сергеевна*<sup>2</sup>,  
студент;  
*Емельянов Александр Андреевич*<sup>3</sup>,  
студент

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

<sup>1, 2, 3</sup>Россия, Санкт-Петербург,  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;  
<sup>1</sup> solodilova\_na@spbstu.ru, <sup>2</sup> annaxmell@mail.ru,  
<sup>3</sup> alexander.emelyanov@gmail.com

**Аннотация.** В работе рассматриваются основные аспекты системного подхода, его преимущества и роли в успешной реализации цифровых технологий в машиностроительной отрасли. Также рассматриваются ключевые направления цифровых технологий в машиностроении.

**Ключевые слова:** системный подход, цифровые технологии, машиностроение, разработка, проектирование, производство, качество, контроль, оптимизация, компьютерное моделирование, симуляция, сквозная технология.

*Natalia A. Solodilova*<sup>1</sup>,  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor;  
*Sofia S. Uba*<sup>2</sup>,  
Student;  
*Alexander A. Emelyanov*<sup>3</sup>,  
Student

## SYSTEMATIC APPROACH TO THE IMPLEMENTATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING

<sup>1, 2, 3</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
St. Petersburg, Russia;  
<sup>1</sup> solodilova\_na@spbstu.ru, <sup>2</sup> annaxmell@mail.ru,  
<sup>3</sup> alexander.emelyanov@gmail.com

**Abstract.** The work examines the main aspects of the systems approach, its advantages and roles in the successful implementation of digital technologies in the engineering industry. The key areas of digital technologies in mechanical engineering are also discussed.

**Keywords:** system approach, digital technologies, mechanical engineering, development, design, production, quality, control, optimization, computer modeling, simulation, end-to-end technology.

## **Введение**

В настоящее время мы наблюдаем быстро изменяющееся цифровое пространство, которое оказывает значительное влияние на различные отрасли, в том числе и машиностроение. Внедрение цифровых технологий в процессы машиностроительного производства и другие высокотехнологичные отрасли важно для экономического развития страны [2, 3, 5]. Однако, чтобы успешно осуществить эту трансформацию, необходим системный подход.

В контексте внедрения цифровых технологий в машиностроении системный подход, как методология, ориентированная на анализ и описание системы как целостного объекта, состоящего из взаимосвязанных частей, позволяет рассмотреть все аспекты жизненного цикла изделия: от разработки и производства до эксплуатации и обслуживания.

Преимущества системного подхода во внедрении цифровых технологий в машиностроении:

1. Улучшение проектирования: использование данного подхода к управлению проектом позволяет рационально структурировать процессы проектирования, оптимизировать взаимодействие различных отделов и специалистов, а также минимизировать возможные ошибки и конфликты.

2. Оптимизация производства: данная методология позволяет автоматизировать и интегрировать производственные процессы, снизить затраты на производство и повысить его эффективность [2].

3. Улучшение качества продукции: благодаря системному ведению проекта можно контролировать качество продукции на каждом этапе жизненного цикла, а также быстро обнаруживать и исправлять возможные дефекты или несоответствия.

4. Улучшение обслуживания и эксплуатации: системный подход позволяет создавать инновационные системы мониторинга и диагностики, обеспечивать оперативное техническое обслуживание и устранение неполадок.

## **Цифровые технологии, применяемые в машиностроении**

### **1. Компьютерное моделирование и симуляция**

Компьютерное моделирование и симуляция играют важную роль в машиностроительной индустрии. Они позволяют инженерам и проектировщикам создавать и проверять виртуальные модели и прототипы различных механизмов, устройств и систем перед физической реализацией [1, 3].

Вот некоторые аспекты компьютерного моделирования и симуляции в машиностроении:

1) Виртуальное моделирование: с использованием специального программного обеспечения, инженеры создают трехмерные виртуальные модели машин, деталей и сборок. Эти модели содержат информацию о геометрии, материалах, физических свойствах и поведении системы.

2) Стресс-анализ и прочность: компьютерные модели позволяют оценивать и предсказывать поведение деталей и конструкций под различными условиями нагрузки [1]. С помощью методов конечных элементов (МКЭ) проводятся расчеты на прочность, выносливость и деформации материалов.

3) Динамическая симуляция: симуляции движения и динамики машин позволяют исследовать и оптимизировать их работу. Инженеры могут изучать поведение системы при различных режимах работы, обнаруживать возможные проблемы и находить оптимальные настройки [1, 2].

4) Оптимизация и анализ производительности: компьютерное моделирование и симуляция помогают оптимизировать различные параметры механизмов и систем, такие как эффективность, энергопотребление, рабочий цикл и т. д. [2].

Компьютерное моделирование и симуляция в машиностроении значительно сокращают время и ресурсы, затрачиваемые на разработку и тестирование новых машин и устройств. Это повышает качество и надежность продукции и способствует улучшению инженерных решений [3].

## **2. Интернет вещей (IoT)**

Интернет вещей (IoT) представляет собой концепцию, согласно которой физические устройства и объекты могут быть подключены к интернету и обмениваться данными и командами. В машиностроении IoT находит широкое применение, превращая обычные машины в умные и автоматизированные системы.

Вот некоторые примеры применения интернета вещей в машиностроении:

1) Мониторинг и диагностика: IoT-устройства могут собирать данные о работе машин и передавать их на удаленные серверы для мониторинга и анализа. Это помогает предотвращать отказы оборудования, оптимизировать эффективность и планировать обслуживание.

2) Управление и оптимизация производства: IoT-системы позволяют связывать различные компоненты в производственных линиях и машинном оборудовании. Это позволяет автоматизировать процессы, контролировать качество, улучшать эффективность и уменьшать время простоя.

3) Умный контроль и автоматизация: IoT-технологии могут быть использованы для удаленного управления и контроля машин, например, через мобильные приложения или платформы.

Интернет вещей в машиностроении предоставляет множество преимуществ, таких как увеличение эффективности и надежности производственных процессов, снижение затрат на обслуживание и улучшение пользовательского опыта.

### **3. Искусственный интеллект (ИИ)**

Эта технология применяется для автоматизации и оптимизации процессов производства, управления рабочими ячейками и роботизированными системами.

ИИ используется для автоматического контроля качества продукции, обнаружения дефектов, анализа данных измерений и предотвращения возникновения проблем в процессе производства, помогает обрабатывать большие объемы данных, собранных в процессе работы машин, для поиска паттернов, выявления причинно-следственных связей и прогнозирования будущих событий. Это может использоваться для оптимизации операций, принятия решений и планирования процессов.

### **4. Сквозная технология**

PLM-интеграция в CAD позволяет создавать единую информационную среду, в которой инженеры могут проектировать изделия в 3D-пространстве, проводить анализ и испытания, а также управлять жизненным циклом продукта. Это сокращает время на создание новых моделей, улучшает координацию между различными отделами предприятия и способствует улучшению качества конечных продуктов [4].

Сквозная технология (также известная как PLM-интеграция в CAD) в машиностроении относится к совместному использованию систем CAD (Computer-Aided Design) и PLM (Product Lifecycle Management). Эти две системы интегрируются для улучшения процесса проектирования, разработки и производства изделий.

CAD-система используется для создания и моделирования 3D-моделей, которые представляют собой виртуальные прототипы изделий [2, 4]. Пример представлен на рисунке 1. Они позволяют инженерам визуализировать и проектировать компоненты и сборки, а также проводить анализ и испытания перед физическим созданием.

Современные машиностроительные производства в России для автоматизации и оптимизации процессов используют PLM-системы. PLM (Product Lifecycle Management) — это ПО, обеспечивающее единый централизованный доступ к информации о продукте для сотрудников. Это цифровое решение позволяет отслеживать и контролировать качество выпускаемой продукции и способствует лучшей координации работы между отделами. Такое ПО — набор удобных для сотрудников инструментов для ввода данных на всех этапах жизненного цикла изделия. PLM-система обеспечивает запоминание ссылочных связей между различными файлами в различных CAD-системах таких, как NX, Creo, Solid

Edge, SOLIDWORKS и КОМПАС-3D. То есть при совместном использовании PLM- и CAD-систем можно работать над моделированием сборки и управлять составом изделия из одной или нескольких CAD-систем на разных компьютерах в сети, в том числе на тех, на которых отсутствуют файлы для конкретной сборки.

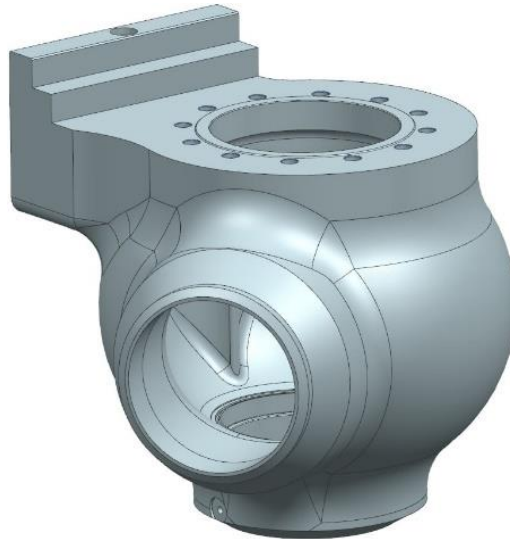


Рис. 1. Представление 3D-модели с помощью CAD-системы

Интеграция этих двух систем позволяет устанавливать связь между 3D-моделями в CAD и данными в PLM. Это означает, что изменения, вносимые в 3D-модель в CAD, автоматически отражаются в PLM-системе. Кроме того, PLM-система может предоставлять информацию о компонентах изделия, что показано на рисунке 2, а также о статусе проекта, требованиях и технической документации для CAD-инженеров.

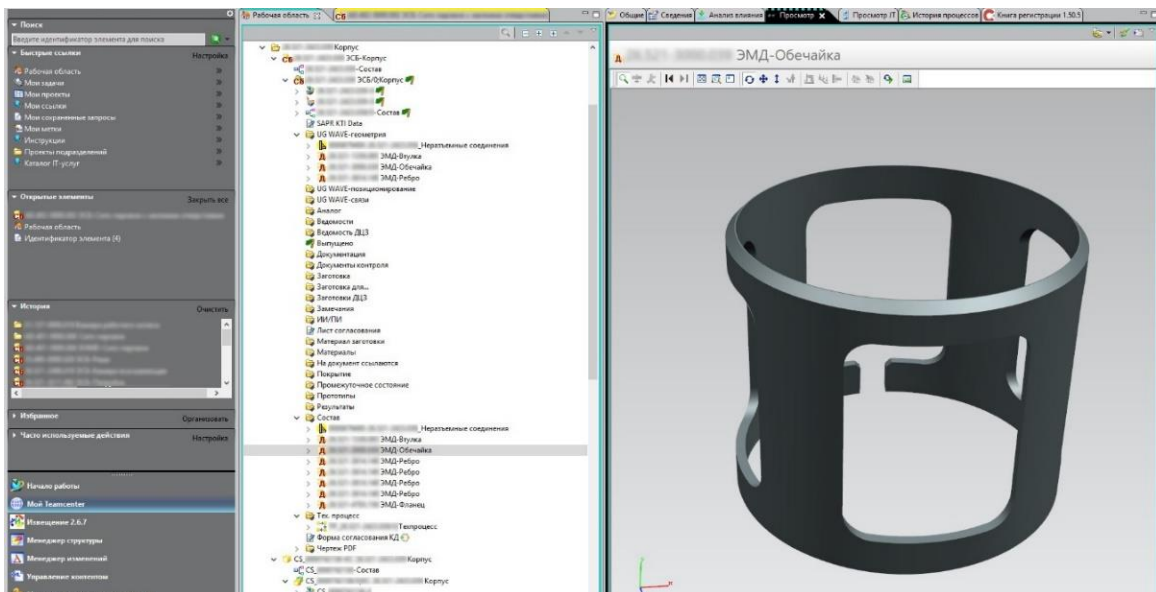


Рис. 2. Представление информации о 3D-модели с помощью PLM-системы

При использовании этой интеграции в машиностроении команды могут эффективно сотрудничать и координировать свои действия. К примеру, на рисунке 3 показано разработанное под сварку промежуточное состояние сборки, включающее в себя сборку и детали конструкторской модели, модель сварных швов и изменения, внесенные технологом.

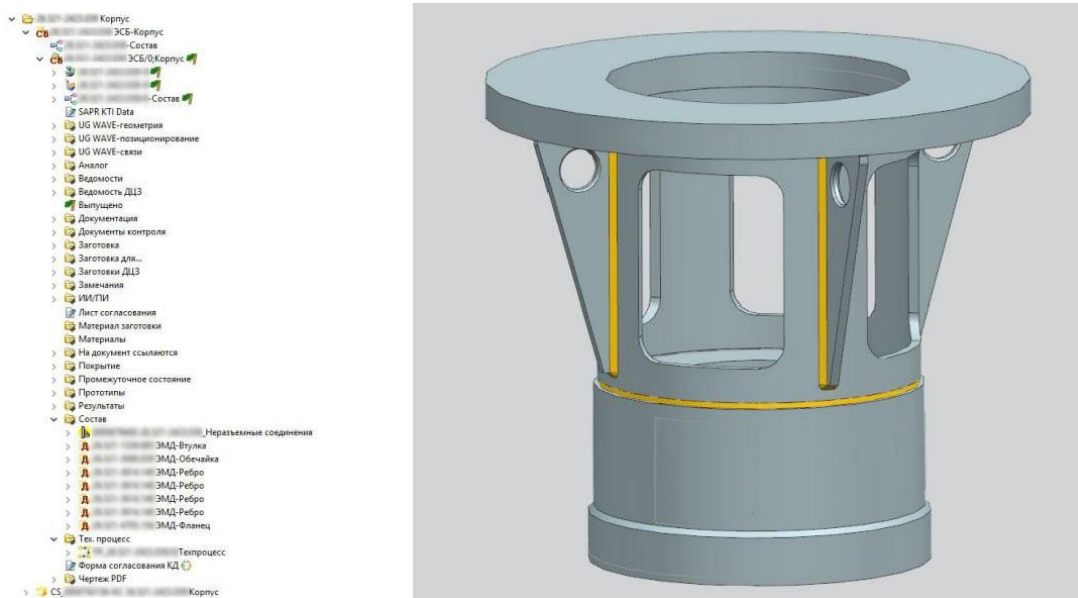


Рис. 3. Промежуточное состояние под сварку в PLM-системе

Кроме того, PLM-интеграция в CAD также облегчает процессы управления изменениями [4]. Благодаря автоматической синхронизации между 3D-моделями в CAD и данными в PLM, любые внесенные изменения автоматически отражаются в системе управления жизненным циклом продукта, что позволяет минимизировать ошибки и упрощает отслеживание изменений.

Таким образом, сквозная технология в машиностроении становится неотъемлемой частью современных процессов проектирования и производства, позволяя компаниям быть более гибкими, эффективными и конкурентоспособными на рынке.

### **Заключение**

Системный подход во внедрении цифровых технологий играет важную роль в развитии машиностроения. Он позволяет рационализировать и оптимизировать процессы, повысить качество продукции, снизить затраты и повысить эффективность. Поэтому организации, стремящиеся быть конкурентоспособными в современной индустрии, должны уделять особое внимание системному подходу при внедрении цифровых технологий в машиностроении.

### Список литературы

1. Солодилова Н.А., Петраш В.И. Технологии цифрового моделирования в базовом модуле подготовки бакалавров в области машиностроения / Под ред. Г.В. Гореловой, А.В. Логиновой. // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXIV Международной научной и учебно-практической конференции. В 3 ч., Санкт-Петербург, 13–14 октября 2020 года. – СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2020. – С. 350–357.
2. Солодилова Н.А. Новые технологии проектирования в рамках дисциплины «САПР в машиностроении» // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXIII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10–11 июня 2019 года / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – С. 391–397.
3. Савельев В.А., Рогова Т.Н. Цифровизация машиностроительного комплекса в России и зарубежных странах: Обзор тенденций // Вестник УлГТУ, 2020. – № 4. – С. 21–24.
4. Бойко Т.А. Анализ основных тенденций развития PLM-систем // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 5. – С. 119–123.
5. Сасаев Н.И. Анализ стратегического подхода к отраслевому развитию в России // Стратегирование: теория и практика, 2023. – Т. 3. № 3. – С. 348–362.

УДК 004.622

doi:10.18720/SPVPU/2/id24-61

*Хасанов Дмитрий Салимович,*  
младший научный сотрудник

## МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский Федеральный  
исследовательский центр Российской академии наук,  
dkhasanovsuai@yandex.ru

*Аннотация.* Эффективность работы контейнерного терминала обычно оценивается по двум основным показателям: времени стоянки судна и времени оборота грузового транспорта. На эти два показателя существенное влияние оказывает время прибытия и отъезда грузовых автомобилей на контейнерный терминал. В задаче составления расписания движения грузовых автомобилей требуется определить для каждого грузовика временной интервал для забора/доставки контейнера с/на контейнерный терминал, учитывая при этом цели и ограничения терминала и автотранспортных компаний. Системы назначения грузовиков рассматриваются как решение для контроля прибытия грузовиков и повышения эффективности работы терминала. Кроме того, рассматривается влияние внедрения информационно-коммуникационных технологий на проблему планирования встреч с внешним грузовым транспортом.

*Ключевые слова:* системы назначения грузовых автомобилей, контейнерные терминалы, моделирование, проблемы планирования.