

Раздел 2. «Машиностроение, технологические машины и транспорт, строительство»

МРНТИ: 62.13

УДК: 621.3

А.Г. Бурумбаев

*Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан
(E-mail: a.burumbaev@ittu.edu.kz)*

Машиностроение и инженерный анализ: новые инструменты моделирования

В статье рассматриваются современные инструменты моделирования, применяемые в машиностроении и инженерном анализе. Особое внимание уделено интеграции цифровых технологий, таких как вычислительная гидродинамика (CFD), метод конечных элементов (FEM) и мультифизические симуляции, которые способствуют повышению точности проектирования и снижению затрат на разработку. Описаны преимущества применения искусственного интеллекта и машинного обучения для оптимизации инженерных процессов. Рассматриваются перспективы использования облачных платформ для коллективного моделирования и обмена данными. Проведен анализ новейших программных комплексов, таких как ANSYS, SolidWorks, Siemens NX и их функциональных возможностей. Делается вывод о ключевой роли инженерного анализа в ускорении инноваций и адаптации машиностроения к вызовам цифровой эпохи.

Ключевые слова: машиностроение, инженерный анализ, моделирование, вычислительная гидродинамика (CFD), метод конечных элементов (FEM), мультифизические симуляции, цифровые технологии, искусственный интеллект, машинное обучение, оптимизация, облачные платформы, программное обеспечение, инновации, цифровая эпоха.

Введение

Современные инструменты моделирования в машиностроении и инженерном анализе активно изучаются учеными по всему миру, которые внесли значительный вклад в развитие этой области. Среди них выделяется Джон С. Андерсон, чьи исследования в области вычислительной гидродинамики (CFD) и фундаментальный труд «Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications» стали основой для анализа потоков в аэрокосмической и автомобильной отраслях. Клаус-Юрген Батце благодаря своей работе «Finite Element Procedures» оказал огромное влияние на развитие метода конечных элементов (FEM), который широко применяется в проектировании и анализе конструкций.

Важные исследования в области аддитивных технологий и мультифизических симуляций принадлежат Дженнифер А. Льюис, которая занимается внедрением новых материалов и 3D-печати для создания сложных инженерных решений. Стивен Уолффорд разработал платформу Wolfram Mathematica, которая используется для математического моделирования и симуляций, что делает ее незаменимой в инженерных расчетах [1].

В России значительный вклад внесли Дмитрий А. Индейкин, изучающий применение FEM для анализа прочности и устойчивости конструкций, и Василий В. Журавлев, работы которого посвящены мультифизическим симуляциям при проектировании энергетических установок. Применение искусственного интеллекта и машинного обучения в машиностроении исследуется Сунил Кумаром, который разрабатывает ИИ-модели для прогнозирования и оптимизации поведения инженерных систем. В свою очередь, Майкл С. Шоу изучает цифровые фабрики и использование облачных технологий, таких как цифровые двойники, для повышения эффективности управления машиностроительными проектами. Работы этих ученых стали фундаментом для развития современных инструментов моделирования, которые сегодня позволяют решать сложные инженерные задачи, оптимизировать конструкции и ускорять разработку инновационных решений в условиях цифровой трансформации машиностроения.

Раздел 2. «Машиностроение, технологические машины и транспорт, строительство»

Методы и материалы

Современное машиностроение переживает период стремительных изменений, связанных с внедрением цифровых технологий и повышением уровня автоматизации.

Развитие инженерного анализа и моделирования позволяет значительно ускорить процессы проектирования, снизить затраты на прототипирование и повысить точность конечных продуктов. Такие технологии, как вычислительная гидродинамика (CFD), метод конечных элементов (FEM) и мультифизические симуляции, стали неотъемлемой частью современного инженерного инструментария, предлагая уникальные возможности для исследования и оптимизации сложных технических систем. Рассмотрим примеры, иллюстрирующие применение упомянутых технологий [2]:

1. Вычислительная гидродинамика (CFD): в аэрокосмической отрасли CFD используется для оптимизации аэродинамики самолетов, таких как Boeing 787 Dreamliner. CFD позволяет моделировать потоки воздуха вокруг конструкции самолета, что помогает минимизировать сопротивление и повысить топливную эффективность. В автомобильной промышленности CFD применяется для проектирования систем охлаждения двигателей и улучшения аэродинамики автомобилей, как, например, в моделях Tesla.

2. Метод конечных элементов (FEM): в строительстве и машиностроении FEM помогает анализировать устойчивость мостов или устойчивость конструкций машин при нагрузках. Например, в процессе проектирования грузоподъемных кранов FEM позволяет точно рассчитать распределение напряжений и предотвратить разрушение. В медицинской технике FEM используется для моделирования биомеханики протезов и имплантатов, обеспечивая их надежность и долговечность.

3. Мультифизические симуляции: в энергетике такие симуляции применяются при проектировании турбин для гидроэлектростанций, где учитываются как механические нагрузки, так и тепловые воздействия. В электронике мультифизические модели используются для проектирования микросхем и радиочастотных устройств, например, для обеспечения их стабильной работы при нагреве.

Рисунок 1 иллюстрирует распределение применения технологий моделирования (CFD, FEM и мультифизических симуляций) в различных областях. Она наглядно показывает, как каждое направление находит применение в машиностроении и смежных отраслях [3].

Распределение применения технологий моделирования

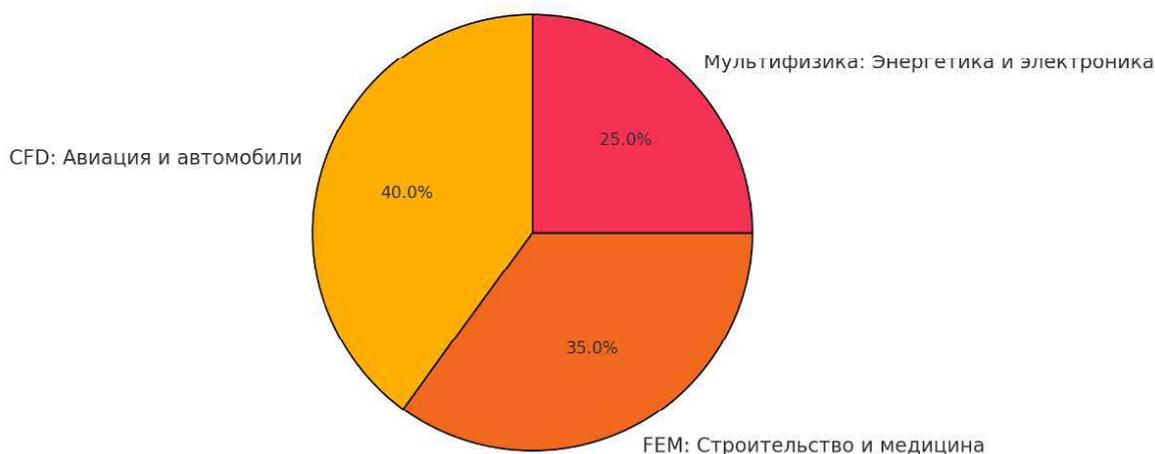


Рисунок 1. Распределение применения технологий моделирования (CFD, FEM и мультифизических симуляций) в различных областях.

Данная диаграмма наглядно демонстрирует распределение применения современных технологий моделирования в различных отраслях машиностроения и инженерного анализа.

Раздел 2. «Машиностроение, технологические машины и транспорт, строительство»

– Наибольшую долю занимает вычислительная гидродинамика (CFD), широко применяемая в авиации и автомобильной промышленности для оптимизации аэродинамики и повышения топливной эффективности.

– Метод конечных элементов (FEM) также занимает значительное место, особенно в строительстве и медицинской технике, где он используется для анализа нагрузок и обеспечения надежности конструкций и устройств.

– Мультифизические симуляции имеют меньшую, но все же важную долю. Они находят применение в энергетике для проектирования турбин и в электронике для разработки микросхем и других устройств, работающих в сложных условиях [4].

Это подчеркивает значимость интеграции цифровых технологий и моделирования в машиностроении для создания высокоточных, надежных и инновационных решений.

Наряду с традиционными подходами, все большее распространение получают искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение, которые позволяют прогнозировать поведение систем, выявлять слабые места конструкции и автоматизировать рутинные процессы. Эти технологии в сочетании с облачными платформами и мощными программными комплексами, такими как ANSYS, SolidWorks и Siemens NX, открывают новые горизонты для коллективной работы, управления данными и ускорения разработки. Примеры применения искусственного интеллекта (ИИ), машинного обучения и облачных платформ в машиностроении [5]:

1 Прогнозирование отказов оборудования: General Electric использует ИИ для анализа работы турбин. На основе данных о вибрациях, температуре и нагрузках, модели машинного обучения прогнозируют возможные поломки и рекомендуют профилактические меры. Siemens внедрил ИИ в систему предиктивного обслуживания промышленных роботов, что позволяет минимизировать простой на производстве.

2 Оптимизация конструкций: Autodesk использует генеративный дизайн, где ИИ анализирует параметры (нагрузки, материал, размер) и предлагает оптимизированные конструкции. Например, легкие и прочные детали создаются для авиационной техники.

3 Автоматизация проектирования: BMW применяет машинное обучение для автоматизации процесса проектирования компонентов автомобиля. Это ускоряет разработку новых моделей и снижает количество ошибок [6].

В свете этих тенденций возрастает необходимость в изучении и внедрении современных инструментов моделирования, способных удовлетворить потребности машиностроения в условиях цифровой трансформации.

Современные цифровые технологии стали ключевым элементом инноваций в машиностроении, предоставляя эффективные инструменты для решения сложных инженерных задач. Внедрение искусственного интеллекта (ИИ), машинного обучения и облачных платформ кардинально изменило подход к проектированию, производству и управлению. Эти технологии значительно повышают производительность, уменьшают затраты и минимизируют человеческий фактор в рутинных процессах.

Программные комплексы и их преимущества

Программные комплексы, такие как ANSYS, SolidWorks и Siemens NX, предоставляют инженерам мощные средства для анализа, моделирования и разработки инновационных решений. Их функционал постоянно расширяется за счет интеграции новых технологий:

–ANSYS: используется для сложных инженерных симуляций, включая тепловые, механические и аэродинамические расчеты. Например, при проектировании авиационных двигателей ANSYS позволяет выявить критические зоны и провести оптимизацию конструкции.

–SolidWorks: популярный инструмент для 3D-моделирования, который интегрирует функции генеративного дизайна. Это особенно полезно для разработки сложных механизмов и компонентов, требующих точного соответствия эксплуатационным требованиям.

–Siemens NX: комплексный инструмент для разработки, симуляции и управления проектами, активно применяемый в автомобильной и аэрокосмической промышленности. Он обеспечивает гибкость и ускоряет цикл разработки [7].

Преимущества облачных технологий

Раздел 2. «Машиностроение, технологические машины и транспорт, строительство»

Облачные платформы играют важную роль в управлении данными и организации коллективной работы. Преимущества их использования включают [8]:

1. Централизованное хранение данных: упрощает доступ к проектам и снижает вероятность потери информации.
2. Масштабируемость: позволяет подключать дополнительные вычислительные мощности для работы с большими симуляциями.
3. Совместная работа: инженерные команды из разных регионов могут вносить изменения и отслеживать процесс в режиме реального времени.

Примером эффективного использования облачных технологий является платформа Dassault Systèmes 3DEXPERIENCE, которая интегрирует все этапы жизненного цикла продукта — от концепции до эксплуатации.

Интеграция ИИ и машинного обучения [9]

ИИ и машинное обучение открывают новые возможности в машиностроении:

- Оптимизация сложных систем: например, генеративный дизайн помогает находить оптимальные формы и материалы для деталей.
- Предиктивное обслуживание: анализ больших данных позволяет прогнозировать выход оборудования из строя и предотвращать аварии.
- Автоматизация рутинных задач: ускоряет проектирование, моделирование и внесение изменений.

Перспективы развития

С учетом развития технологий можно выделить несколько ключевых направлений:

1. Дальнейшая цифровизация: переход к полностью цифровым фабрикам, где все процессы контролируются ИИ.
2. Устойчивое развитие: использование симуляций для разработки экологически чистых и энергоэффективных решений.
3. Расширение возможностей симуляции: внедрение квантовых вычислений для решения задач, требующих огромных вычислительных мощностей.

Тем самым, цифровые технологии, включая ИИ, машинное обучение и облачные платформы, становятся неотъемлемой частью современной инженерной практики. Они открывают новые горизонты для машиностроения, помогая решать сложные задачи с высокой точностью и минимальными затратами. Для успешной реализации потенциала этих технологий важно продолжать исследования и активно внедрять их в производственные процессы [10].

Результаты и обсуждение

Современные инструменты моделирования играют ключевую роль в развитии машиностроения и инженерного анализа. Интеграция технологий, таких как вычислительная гидродинамика (CFD), метод конечных элементов (FEM) и мультифизические симуляции, позволяет решать сложные инженерные задачи с высокой точностью и эффективностью. Эти подходы существенно сокращают время проектирования, минимизируют затраты на прототипирование и снижают риск ошибок [11].

Наряду с традиционными методами, искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение открывают новые возможности для прогнозирования поведения систем, оптимизации конструкций и автоматизации рутинных процессов. В сочетании с облачными платформами и мощными программными комплексами, такими как ANSYS, SolidWorks и Siemens NX, эти технологии обеспечивают коллективную работу, централизованное управление данными и повышение скорости разработки.

Выводы

В условиях цифровой трансформации машиностроение стоит на пороге значительных изменений. Дальнейшее развитие и внедрение современных инструментов моделирования позволит отрасли не только адаптироваться к вызовам времени, но и создать инновационные решения, отвечающие

Раздел 2. «Машиностроение, технологические машины и транспорт, строительство»

требованиям будущего. Это подчеркивает важность исследований в данной области и необходимость подготовки специалистов, обладающих компетенциями в использовании этих технологий.

Инженерный анализ и моделирование становятся основой для ускорения инноваций, повышения конкурентоспособности и устойчивого развития машиностроения в условиях цифровой эпохи [12].

Список литературы

- 1 Anderson, J. D. Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications. – McGraw Hill Education, 1995.
- 2 Bathe, K.-J. Finite Element Procedures. – Prentice Hall, 1996.
- 3 Lewis, J. A., Ahn, B. Y. «Three-Dimensional Printed Electronics» // Nature, 2015, 518(7537). – С. 42-49.
- 4 Wolfram, S. The Mathematica Book. – Wolfram Media, 2003.
- 5 Indiekina, D. A. «Применение метода конечных элементов для анализа прочности конструкции» // Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii, 2018, 3(5). – С. 12-18.
- 6 Zhuravlev, V. V. «Multifizicheskie simulatsii pri proektirovanii energeticheskikh ustanovok» // Energetika budushchego, 2020, 45(8). – С. 34-41.
- 7 Kumar, S., Gupta, R. «Artificial Intelligence in Mechanical Engineering: Applications and Future Trends» // International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, 2021, 10(4). – P. 300-312.
- 8 Shaw, M. C. «Digital Twins in Manufacturing: Challenges and Opportunities» // Journal of Manufacturing Systems, 2019, 50. – P. 78–84.
- 9 Dassault Systèmes. 3DEXPERIENCE Platform Overview. Retrieved from www.3ds.com, 2022.
- 10 Siemens PLM Software. Siemens NX: Comprehensive CAD, CAM, and CAE. Retrieved from www.plm.automation.siemens.com, 2021.
- 11 ANSYS. ANSYS Software Capabilities for Engineering Analysis. Retrieved from www.ansys.com, 2022.
- 12 SolidWorks Corporation. SolidWorks: Tools for 3D Design and Simulation. Retrieved from www.solidworks.com, 2021.

А.Г. Бурумбаев

Машина жасау және инженерлік талдау: жаңа модельдеу құралдары

Мақалада машина жасау мен инженерлік талдауда қолданылатын заманауи модельдеу құралдары қарастырылады. Есептеу гидродинамикасы (CFD), ақырлы элементтер әдісі (FEM) және мультифизикалық модельдеу сияқты цифрлық технологияларды біріктіруге баса назар аударылады, бұл дизайн дәлдігін жақсартуға және даму шығындарын азайтуға ықпал етеді. Инженерлік процестерді оңтайландыру үшін жасанды интеллект пен машиналық оқытуды қолданудың артықшылықтары сипатталған. Ұжымдық модельдеу және деректер алмасу үшін бұлттық платформаларды пайдалану перспективалары қарастырылады. ANSYS, SolidWorks, Siemens NX сияқты соңғы бағдарламалық жасақтама кешендеріне және олардың функционалдығына талдау жасалды. Инженерлік талдаудың инновацияларды жеделдетудегі және машина жасауды цифрлық дәуірдің сын-қатерлеріне бейімдеудегі негізгі рөлі туралы қорытынды жасалады.

Түйін сөздер: машина жасау, инженерлік талдау, модельдеу, есептеу гидродинамикасы (CFD), ақырлы элемент әдісі (FEM), мультифизикалық модельдеу, цифрлық технология, жасанды интеллект, Машиналық оқыту, оңтайландыру, бұлттық платформалар, бағдарламалық қамтамасыз ету, инновация, цифрлық дәуір.

A.G. Burumbaev

Mechanical Engineering and Engineering Analysis: New Modeling Tools

Раздел 2. «Машиностроение, технологические машины и транспорт, строительство»

The article explores modern modeling tools used in mechanical engineering and engineering analysis. Particular attention is given to the integration of digital technologies such as computational fluid dynamics (CFD), the finite element method (FEM), and multiphysics simulations, which enhance design accuracy and reduce development costs. The advantages of applying artificial intelligence and machine learning for optimizing engineering processes are described. The prospects of using cloud platforms for collaborative modeling and data sharing are discussed. An analysis of the latest software solutions, including ANSYS, SolidWorks, and Siemens NX, and their functionalities is provided. The article concludes with the pivotal role of engineering analysis in accelerating innovation and adapting mechanical engineering to the challenges of the digital era.

Keywords: mechanical engineering, engineering analysis, modeling, computational fluid dynamics (CFD), finite element method (FEM), multiphysics simulations, digital technologies, artificial intelligence, machine learning, optimization, cloud platforms, software, innovation, digital era.

References

- 1 Anderson, J. D. Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications. – McGraw Hill Education, 1995.
- 2 Bathe, K.-J. Finite Element Procedures. – Prentice Hall, 1996.
- 3 Lewis, J. A., Ahn, B. Y. «Three-Dimensional Printed Electronics» // Nature, 2015, 518(7537). – С. 42-49.
- 4 Wolfram, S. The Mathematica Book. – Wolfram Media, 2003.
- 5 Indieikin, D. A. «Primenenie metoda konechnykh elementov dlia analiza prochnosti konstruksii» // Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii, 2018, 3(5). – S. 12-18.
- 6 Zhuravlev, V. V. «Multifizicheskie simulatsii pri proektirovanii energeticheskikh ustanovok» // Energetika budushchego, 2020, 45(8). – S. 34-41.
- 7 Kumar, S., Gupta, R. «Artificial Intelligence in Mechanical Engineering: Applications and Future Trends» // International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, 2021, 10(4). – P. 300-312.
- 8 Shaw, M. C. «Digital Twins in Manufacturing: Challenges and Opportunities» // Journal of Manufacturing Systems, 2019, 50. – P. 78–84.
- 9 Dassault Systèmes. 3DEXPERIENCE Platform Overview. Retrieved from www.3ds.com, 2022.
- 10 Siemens PLM Software. Siemens NX: Comprehensive CAD, CAM, and CAE. Retrieved from www.plm.automation.siemens.com, 2021.
- 11 ANSYS. ANSYS Software Capabilities for Engineering Analysis. Retrieved from www.ansys.com, 2022.
- 12 SolidWorks Corporation. SolidWorks: Tools for 3D Design and Simulation. Retrieved from www.solidworks.com, 2021.