

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**COMPARATIVE ANALYSIS OF SOFTWARE AND SOFTWARE MODULES DESIGNED
FOR ENGINEERING CALCULATIONS AND PHYSICAL PROCESS MODELING**

Мамонтов О.В., студент магистратуры, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Mamontov O.V., Master's student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Ягодкин А.С., кандидат физико-математических наук, и.о. заведующего кафедрой информационных технологий, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Yagodkin A.S., PhD in Physics and Mathematics, Acting Head of the Department of Information Technology, Associate Professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Евсикова Н.Ю., кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой общей и прикладной физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Evsikova N.Yu., PhD in Physics and Mathematics, Docent, Head of the General and Applied Physics Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Камалова Н.С., кандидат физико-математических наук, доцент, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Kamalova N.S., PhD in Physics and Mathematics, Docent, Associate professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация. В статье проводится сравнительный анализ существующего программного обеспечения и программных модулей, предназначенных для выполнения инженерных расчетов и моделирования физических процессов. Для сравнения применяется метод многокритериального сравнения альтернатив. В качестве критериев сравнения выбраны функциональные возможности расчетов, возможность автоматизации и расширения, а также совместимость с другими программами. В рамках такого подхода выяснилось, что оптимальной является гибридная CAD/CAE-система Autodesk Inventor.

Ключевые слова: многокритериальный метод сравнения, программное обеспечение, программные модули, выполнение инженерных расчетов, моделирование физических процессов.

Abstract. The article provides a comparative analysis of existing software and software modules designed to perform engineering calculations and model physical processes. The method of multi-criteria comparison of alternatives is used for comparison. The criteria for comparison are the functionality of calculations, the possibility of automation and expansion, as well as compatibility with other programs. Within the framework of this approach, it was found that the hybrid CAD/CAE system Autodesk Inventor is optimal.

Keywords: multi-criteria comparison method, software, software modules, performing engineering calculations, modeling of physical processes.

Введение

Программное обеспечение и программные модули, предназначенные для инженерных расчетов и моделирования физических процессов, являются неотъемлемой частью проектирования и оптимизации конструкций в различных отраслях промышленности, таких как машиностроение, авиакосмическая промышленность, энергетика. Такие системы позволяют инженерам выполнять точные расчеты прочности, динамики, теплопередачи и других физических процессов, что существенно ускоряет процесс проектирования и повышает качество продукции. Также они решают задачи повышения надежности, эффективности и снижения себестоимости, что достигается с помощью мощных и высокоточных программных решений, включающие как CAD-системы (системы компьютерного проектирования), так и CAE-системы (системы компьютерного анализа). Особую роль данные системы играют в России, где в последние годы возрастает потребность в выработке собственных инженерных решений. Вследствие санкционного давления и ограниченного импорта высокотехнологичных продуктов, разработка и использование высококачественного инженерного ПО становится не только вопросом производительности, но и вопросом национальной безопасности. [1].

В последнее время активно разрабатываются и улучшаются решения, которые объединяют функциональность CAD и CAE, обеспечивая комплексный подход к проектированию и расчетам. Такие системы позволяют проводить динамические и нелинейные анализы, а также учитывать множество факторов в реальном времени. Данные системы должны поддерживать автоматизацию процессов и возможность интеграции с различными форматами и программами. При этом программное обеспечение должно соответствовать высоким требованиям к совместимости с другими программами, которые активно применяются в отечественной промышленности [2], надежности и возможности масштабирования, что особенно важно для пользователей в России, где большое внимание уделяется стоимости и доступности технической поддержки.

Цель данной работы – выбрать оптимальный для выполнения инженерных расчетов и моделирования физических процессов вариант программного обеспечения и программных модулей. Для достижения поставленной цели будем применять системный подход [3] и рассматривать подходящие существующие решения и модули, используя многокритериальные методы сравнения. Это позволит решить проблему с учетом ее комплексности.

Обзор программного обеспечения и модулей

Рассмотрим существующие варианты программного обеспечения и модулей, предназначенных для выполнения инженерных расчетов и моделирования физических процессов.

1) Одно из самых мощных и универсальных программных решений для решения инженерных и физических задач в самых различных отраслях – это ANSYS Multiphysics. Геометрические модели могут быть созданы как внутри ANSYS, так и импортированы из внешних CAD-систем. В основе движка лежит метод конечных элементов (FEM), который используется для анализа напряжений, теплопередачи, вибраций, динамики и других физических явлений. Также поддерживаются методы конечных объемов. ANSYS Meshing Engine обеспечивает точность и высокое качество сеток, что критически важно для точности расчетов [4].

ANSYS Multiphysics представляет собой полнофункциональную систему для решения инженерных задач:

- Структурный анализ (включая линейный и нелинейный анализ напряжений, деформаций, усталости, вибраций, устойчивости);
- Тепловой анализ (моделирование теплопередачи, включая стационарные и нестационарные процессы);
- Анализ гидродинамики, аэродинамики, теплообмена и процессов, связанных с движением жидкости и газа;
- Электромагнитный анализ (моделирование электромагнитных полей, включая статические и динамические процессы);
- Мультифизический анализ (сочетание нескольких типов физических процессов);
- Тестирование на усталость;
- Топологическая оптимизация формы.

К плюсам ANSYS Multiphysics можно отнести высокую точность расчетов и проверку результатов, что обеспечивает необходимую надежность. Высокая вычислительная эффективность, включая возможности работы на суперкомпьютерах для обработки больших моделей, обеспечивает высокую производительность. Система обеспечивает широкий спектр функциональности, от структурного анализа до многофизического моделирования.

К минусам можно отнести высокую стоимость лицензии, сложность освоения программного обеспечения и отсутствие ассоциативной связи с CAD.

2) Далее рассмотрим программный модуль SOLIDWORKS Simulation, разработанный для системы SOLIDWORKS CAD. Он предназначен для выполнения инженерных расчетов в рамках единой среды проектирования, что делает его особенно удобным для конструкторов и инженеров на этапах разработки изделий.

SOLIDWORKS Simulation представляет собой модуль гибридной CAD/CAE-системы для решения различных инженерных задач:

- Линейный статический анализ конструкций (деформации, напряжения, перемещения);
- Модальный анализ (вычисление собственных частот и форм колебаний);
- Тепловой анализ (стационарный и нестационарный);

- Нелинейный анализ (контакт, пластичность, большие перемещения);
- Динамический анализ;
- Тестирование на усталость;
- Топологическая оптимизация формы [5].

К плюсам SOLIDWORKS Simulation можно отнести наличие ассоциативной связи с CAD, а также наличие сценариев по параметрам модели и поддержка макросов.

К минусам можно отнести высокую стоимость лицензии, ограниченные функциональные возможности, а именно отсутствие многофизического моделирования и высокоточной аэродинамики. Также среди минусов можно отметить низкую точность анализа и ручную доработку расчетной сетки, при сложной геометрии.

3) APM FEM – это система прочностного анализа, для работы в интерфейсе российской CAD-системы КОМПАС-3D. Модуль входит в состав комплекса APM WinMachine – отечественного программного обеспечения, предназначенного для выполнения инженерных расчетов, проектирования и моделирования физических процессов. Программа ориентирована на применение в машиностроении, приборостроении, строительстве и смежных отраслях.

APM FEM представляет собой модуль для CAD-системы и позволяет выполнять:

- Статический расчет;
- Расчет собственных частот (резонанса) и форм колебаний;
- Топологическую оптимизацию;
- Расчет задачи стационарной теплопроводности;
- Расчет нестационарной теплопроводности (в комплектации PROF);
- Расчет задачи термоупругости (при совместном выполнении статического и теплового расчетов);
- Нелинейный расчет, а именно учет физической и геометрической, а также общей нелинейности (в комплектации PROF);
- Топологическую оптимизацию [6].

К плюсам APM FEM можно отнести стоимость лицензии, тесную интеграцию с ГОСТ и СНиП, а также наличие документации и техподдержки полностью на русском языке. Система работает напрямую с геометрической моделью КОМПАС-3D, не используя сторонние форматы, что снижает вероятность появления ошибок.

К минусам относятся ограниченные функциональные возможности, а именно отсутствие многофизического моделирования и высокоточной аэродинамики. Также среди минусов можно отметить низкую точность моделирования, слабую поддержку автоматизации (скрипты, макросы) и ограниченные возможности адаптации под конкретные задачи.

4) Последней рассмотрим Autodesk Inventor. Это мощная профессиональная система, которая предназначена для машиностроения и промышленного дизайна, с интегрированной средой для инженерного анализа компонентов и сборок. Также одним из ключевых преимуществ Inventor является наличие модуля инженерного анализа — Inventor Nastran, который позволяет проводить расчёты прочности и других физических процессов прямо в CAD-среде [7].

Autodesk Inventor представляет собой гибридную CAD/CAE-систему для решения различных инженерных задач:

- Линейный статический анализ конструкций;
- Нелинейный анализ (материалы, контакты, геометрия);
- Модальный анализ — собственные частоты и формы колебаний;
- Анализ теплопередачи (стационарный и нестационарный);
- Анализ вибраций и динамики;
- Тестирование на усталость;
- Контактный анализ (включая трение, зазоры и зацепления);
- Комбинированные многофизические задачи (например, термомеханика);
- Топологическую оптимизацию.

К плюсам Autodesk Inventor можно отнести наличие ассоциативной связи с CAD, а также наличие сценариев по параметрам модели и поддержка макросов, также самую низкую стоимость лицензии среди подобных западных систем.

К минусам можно отнести, ограниченные функциональные возможности, в сравнении с ANSYS Multiphysics. Также среди минусов можно отметить низкую точность анализа и ручную доработку расчетной сетки, при сложной геометрии.

Сравнительный анализ

Для принятия решения по выбору оптимального программного обеспечения и программных модулей из перечисленных выше вариантов вводится прогрессивная шкала по нескольким критериям [8]. В качестве критериев для сравнения были выбраны:

- функциональные возможности расчетов;
- возможность автоматизации и расширения;
- совместимость с другими программами.

Сравнение критериев проводилось вербально на основании опроса пользователей систем выполнения инженерных расчетов и моделирования физических процессов. Коэффициенты их сравнительной значимости b_{ij} определялись по прогрессивной шкале отношений (3:5:7) [9]. Причем самым значимым был выбран такой критерий, как возможность автоматизации и расширения, затем функциональные возможности расчетов и, наконец, совместимость с другими программами (см. круговую диаграмму на Рис. 1). По выбранным коэффициентам рассчитывался вектор матрицы сравнения ρ_i по формуле [9-11]:

$$\rho_i = \sqrt[k]{\prod_{l=1}^k b_{il}}, \quad (1)$$

где $k = 3$ – количество системно обоснованных критериев.

Затем на основании собранной информации о программном обеспечении и программных модулях, с учетом их достоинств и недостатков по прогрессивной шкале формировались коэффициенты попарного сравнения альтернатив a_{ij} по каждому критерию отдельно [9-11]. По последним составлялась матрица:

$$\omega_{ij} = \sqrt[n]{\prod_{m=1}^n a_{ijm}}, \quad (2)$$

где $n = 4$ – число систем; j – порядковый номер системы; i – порядковый номер критерия сравнения.

Для нормировки использовалось соотношение:

$$\omega_{ijn} = \frac{\omega_{ij}}{\sum_{j=1}^n \omega_{ij}}, \quad (3)$$

Сравнительный анализ проводился по индикатору сравнения для каждой системы:

$$\Omega_j = \sum_i \rho_i \omega_{ijn}. \quad (4)$$

Для выполнения расчетов по формулам многокритериального метода сравнения альтернатив (1) – (4) была составлена программа, результаты работы которой представлены на рисунке 1.

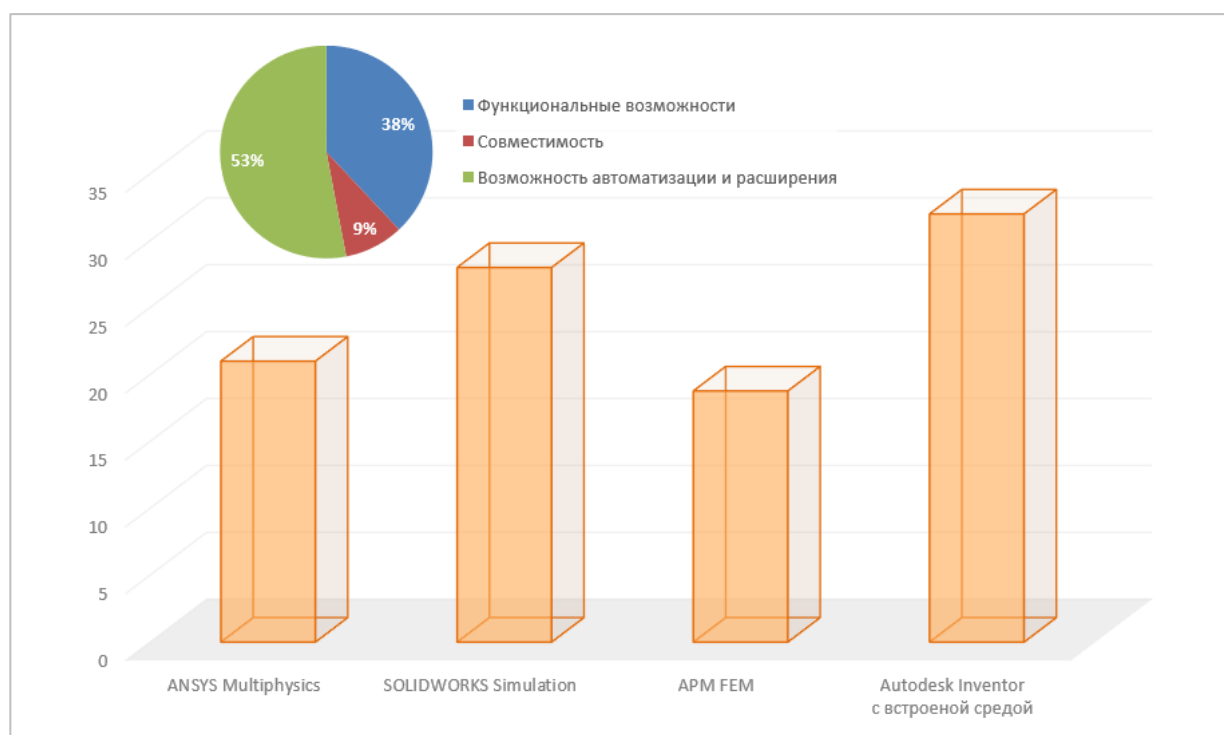


Рисунок 1 – Результаты сравнения программного обеспечения и программных модулей многокритериальным методом

Итоги сравнения альтернатив программного обеспечения по выбранным критериям показали (см. гистограмму на Рис. 1), что наиболее перспективной для проведения инженерных расчетов и моделирования физических процессов является гибридная CAD/CAE-система Autodesk Inventor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паночевный, П.Н. Применение CAD/CAM/CAE технологий в современном машиностроении / П.Н. Паночевный, В.Р. Некрасов // Научно-практические исследования. 2018. – № 3 (12). – С. 128-132.
2. Возможности отечественных систем инженерного анализа (CAE) / В.В. Шелофаст, В.С. Прокопов, В. В. Шелофаст, С.М. Розинский // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта

(CAD/CAM/PDM - 2016) : труды XVI-ой международной молодёжной конференции, Москва, 17-19 октября 2016 года. – Москва: ООО "Аналитик", 2016. – С. 19-23.

3. Теоретические основы системного анализа / В.И. Новосельцев, Б.В. Тарасов, В.К. Голиков, Б.Е. Демин; под ред. В.И. Новосельцева. – Москва: Майор, 2006. – 592 с.

4. Точный обмен данными для мультифизического моделирования / Официальный сайт компании «Ansys». – URL: <https://www.ansys.com/products/system-coupling> (Дата обращения 08.04.2025 г.).

5. SOLIDWORKS Simulation / Официальный сайт компании «SOLIDWORKS». – URL: <https://www.solidworks.com/ru/product/solidworks-simulation> (Дата обращения 08.04.2025 г.).

6. Система прочностного анализа APM FEM для КОМПАС-3D / Официальный сайт компании «АПИМ». – URL: <https://apm.ru/apm-fem> (Дата обращения 08.04.2025 г.).

7. Autodesk Inventor: программное обеспечение для 3D-моделирования для дизайнеров и инженеров / Официальный сайт компании «Autodesk». – URL: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview?plc=INVPROSA&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1&term=1-YEAR&tab=subscription> (Дата обращения 08.04.2025 г.).

8. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати; пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. – Москва: Радио и связь, 1993. – 278 с.

9. Системный подход к проблеме обоснования модернизации лесозаготовительных машин / П.И. Попиков, Н.Ю. Евсикова, Н.С. Камалова, В.С. Полянин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – № 2, ч. 2 (13-2). – С. 296-300.

10. Кузнецов, Д.С. Применение метода анализа иерархий для обоснования выбора наиболее эффективного корчевателя / Д.С. Кузнецов, Е.В. Поздняков, Н.Ю. Евсикова // Воронежский научно-технический вестник. – 2020. – Т. 1, № 1 (26). – С. 91-95.

11. Оценка эффективности механизмов корчевательных машин методом сравнения альтернатив Саати / И.М. Бартенев, Е.В. Поздняков, А.К. Поздняков, М.В. Шавков // Воронежский научно-технический вестник. – 2018. – Т. 1, № 1 (23). – С. 91-95.

REFERENCES

1. Panochevny, P.N. Application of CAD/CAM/CAE technologies in modern mechanical engineering / P.N. Panochevny, V.R. Nekrasov // Scientific and practical research. 2018. – No. 3 (12). – P. 128-132.

2. Capabilities of domestic engineering analysis systems (CAE) / V.V. Shelofast, V.S. Prokopov, V.V. Shelofast, S.M. Rozinsky // Systems of design, technological preparation of production and management of stages of the life cycle of an industrial product (CAD / CAM / PDM - 2016): proceedings of the XVI-th international youth conference, Moscow, October 17-19, 2016. – Moscow: ООО "Analytic", 2016. – P. 19-23.

3. Theoretical foundations of system analysis / V.I. Novosel'tsev, B.V. Tarasov, V.K. Golikov, B.E. Demin; edited by V.I. Novosel'tsev. – Moscow: Mayor, 2006. – 592 p.

4. Accurate data exchange for multiphysical modeling / Official website of the company "Ansys". – URL: <https://www.ansys.com/products/system-coupling> (Accessed on 04/08/2025).

5. SOLIDWORKS Simulation / Official website of the company "SOLIDWORKS". – URL: <https://www.solidworks.com/ru/product/solidworks-simulation> (Accessed on 04/08/2025).
6. APM FEM strength analysis system for KOMPAS-3D / Official website of the company "APM". – URL: <https://apm.ru/apm-fem> (Accessed on 04/08/2025).
7. Autodesk Inventor: 3D modeling software for designers and engineers / Official website of the company "Autodesk". – URL: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview?plc=INVPROSA&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1&term=1-YEAR&tab=subscription> (Accessed on 04/08/2025).
8. Saati, T. Decision Making. The Analytic Hierarchy Processing Method / T. Saati; trans. from English by R.G. Vachnadze. – Moscow: Radio i svyaz, 1993. – 278 p.
9. A systems approach to the problem of justifying the modernization of logging machines / P.I. Popikov, N.Yu. Evsikova, N.S. Kamalova, V.S. Polyanin // Current areas of scientific research in the 21st century: theory and practice. – 2015. – No. 2, part 2 (13-2). – P. 296-300.
10. Kuznetsov, D.S. Application of the hierarchy process analysis method to justify the choice of the most effective uprooter / D.S. Kuznetsov, E.V. Pozdnyakov, N.Yu. Evsikova // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2020. – Vol. 1, No. 1 (26). – P. 91-95.
11. Evaluation of the efficiency of uprooting machine mechanisms using the Saati alternatives comparison method / I.M. Bartenev, E.V. Pozdnyakov, A.K. Pozdnyakov, M.V. Shavkov // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2018. – Vol. 1, No. 1 (23). – P. 91-95.