

DOI: 10.58168/MOTOR2024\_33-40

УДК 629.113

**Никонов В.О.**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

**Посметьев В.И.**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машиностроительных технологий ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

**Посметьев В.В.**

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

**Храпов И.О.**

аспирант автомобильного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

**Середин Г.В.**

преподаватель кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

**Nikonov V.O.**

PhD., associate professor of the department of production, repair and operation of cars, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, RF

**Posmetev V.I.**

dr. sci. tech. prof., prof. of department of mechanical engineering technologies Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, RF

**Posmetev V.V.**

candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the department of forestry mechanization and machine design Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, RF

**Hrapov I.O.**

post-graduate student of the automotive faculty, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, RF

**Seredin G.V.**

lecturer of the department of production, repair and operation of cars Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, RF

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

## ANALYSIS OF EXISTING SOFTWARE PRODUCTS FOR COMPUTER MODELING OF LOGGING ROAD TRANSPORT

**Аннотация:** Обоснована актуальность использования в процессе исследования новых технических решений для лесовозного автомобильного транспорта метода компьютерного

математического моделирования. Рассмотрены особенности существующих российских и зарубежных программных продуктов, которые можно использовать для компьютерного моделирования лесовозного автомобильного транспорта. Предложена классификация программных продуктов для возможного исследования с помощью них динамических процессов, протекающих при движении лесовозного автомобильного транспорта, оснащенного новыми техническими решениями в сложных дорожных условиях.

**Ключевые слова:** лесовозный автомобильный транспорт, новые технические решения, метод компьютерного математического моделирования, исследование, динамические расчеты, программное обеспечение, условия эксплуатации, программный продукт.

**Abstract:** The relevance of using the method of computer mathematical modeling in the process of studying new technical solutions for timber road transport is substantiated. The features of existing Russian and foreign software products that can be used for computer modeling of timber road transport are considered. A classification of software products for possible study with their help of dynamic processes occurring during the movement of timber road transport equipped with new technical solutions in difficult road conditions is proposed.

**Keywords:** timber-carrying automobile transport, new technical solutions, computer mathematical modeling method, research, dynamic calculations, software, operating conditions, software product.

В процессе разработки новых технических решений (НТР) для лесовозного автомобильного транспорта (ЛАТ) и определения их оптимальных рабочих и конструктивных параметров, исследователи часто сталкиваются со следующими трудностями: ограничена возможность проведения сбора требуемого объема информации об эксплуатационных характеристиках ЛАТ, различной конструкции и компонования; исключается возможность применения известных аналитических методов для решения поставленных задач по причинам их математической сложности; проведение лабораторных исследований и натурных испытаний требует значительных затрат времени и денежных средств. Одним из эффективных способов, позволяющих преодолеть рассматриваемые трудности, является практическое использование метода компьютерного математического моделирования (МКММ). Его применение дает возможность решать множество сложных научных задач, связанных с совершенствованием и исследованием НТР для ЛАТ, и при этом не требует проведения дорогостоящего физического эксперимента [1, 2].

Значимость использования МКММ существенно возрастает в современных условиях, которые требуют от исследователя разработки более сложных НТР для ЛАТ, а также максимального снижения затрат, расходуемых на всех этапах жизненного цикла НТР ЛАТ. Причем МКММ может использоваться не только на стадии концептуального проектирования с применением уравнений балансов сил и моментов, но и на стадии детального проектирования ЛАТ и его гидравлического технологического оборудования с применением более сложных российских и зарубежных программных продуктов (ПП) для решения различных классов задач [3].

В настоящее время разработан большой перечень ПП, способных осуществлять динамические расчеты. Среди них выделяют универсальные ПП и ПП, предназначенные для решения частных задач, например для моделирования движения ЛАТ, оснащенного НТР. Такие ПП автоматизируют процесс со-

здания уравнений движения ЛАТ или звеньев лесовозных автопоездов на основе описания их геометрических, динамических параметров и силовых воздействий, которые выбираются или задаются пользователем [4].

К ПП, поддерживающим 3D-моделирование, а также позволяющим на основе метода конечных элементов решать несложные задачи на динамику, усталость, гидро- и газодинамику, колебания, прочность и теплопередачу, относят: APM WinMachine, КОМПАС-3D, SolidWorks, T-Flex, Inventor, SolidEdge, Ansys, ProEngineer, Abaqus и CATIA. К более сложным ПП, используемым для решения задач управления и динамики движения ЛАТ, относят: ADAMS, AUTOSIM, EULER (ЭЙЛЕР), Универсальный механизм (UM) и др.

К наиболее распространенным ПП российских ведущих разработчиков относят: APM WinMachine, FlowVision, Fidesys, EULER, Универсальный механизм (UM).

APM WinMachine является российской универсальной системой, позволяющей проектировать и осуществлять расчеты в области автомобилестроения. Программное обеспечение (ПО) FlowVision, разработчиком которого является компания «ТЕСИС» позволяет осуществлять решение задач моделированием механики жидкости и газа (CFD). Компания «ФИДЕСИС» является крупнейшим разработчиком ПО, специализирующимся в программировании, а также в области компьютерного моделирования, численных методов, параллельных вычислений и разработке математических моделей [3].

Программный комплекс (ПК) EULER для автоматизированного динамического анализа многокомпонентных динамических систем находит свое применение в научных и прикладных исследованиях, а также при проектировании и доводке различных технических объектов. ПК EULER позволяет осуществлять с помощью математических моделей анализ работы исследуемых механических систем, состоящих из жестких и деформируемых составных частей, электрических, гидравлических и пневматических систем, а также включающих в себя сложную кинематику. Кроме этого, ПК EULER дает возможность рассчитывать характеристики исследуемых объектов, оптимизировать их рабочие и конструктивные параметры, а также выполнять их сравнительный анализ [5].

Для исследования НТР для ЛАТ можно использовать ПК «Универсальный механизм (UM)», включающий в себя автомобильный модуль (UM Automotive). UM Automotive позволяет задавать типовые маневры транспортного средства, макро- и микропрофили опорной поверхности дороги, а также осуществлять выбор из библиотеки необходимого типа подвески и элементов трансмиссии. Возможностями UM Automotive для исследования НТР для ЛАТ, являются: создание детальной модели подвески ЛАТ; оценка эффективности НТР для ЛАТ; варьирование конструктивными и рабочими параметрами НТР, а также условиями эксплуатации ЛАТ; проведение виртуальных испытаний в различных условиях; анализ динамики и поведения ЛАТ на дороге в различных условиях; анализ и прогноз долговечности несущих конструкций ЛАТ; изучение влияния различных НТР и параметров ходовой части ЛАТ; анимация поведения ЛАТ и НТР, вывод графиков показателей динамики [6].

Для исследования динамических процессов, происходящих при работе НТР для ЛАТ, а также при движении ЛАТ по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам разработано большое количество российских ПП для ЭВМ, подробное описание которых приведено в открытых реестрах Федерального Института промышленной собственности [7].

К наиболее известным ПП зарубежных ведущих разработчиков относят: AVL Cruise, MSC.ADAMS, Matlab / Simulink, Simulation X, Mechanical Simulation CarSim, TruckSim и BikeSim, Easy5, SolidWorks, LMS Virtual.Lab, Siemens NX, Autodesk Alias.

Для компьютерного моделирования узлов и агрегатов ЛАТ можно использовать ПК AVL с модулем Cruise. Данный модуль имеет узкую направленность, ограниченную решением задач в области автомобилестроения. Его особенностью является наличие библиотеки узлов и систем грузовых и легковых автомобилей. AVL Cruise позволяет рассчитывать динамику движения автомобиля, разрабатывать сложные системы управления, надежные трансмиссии, а также оптимизировать рабочие и конструктивные параметры двигателей автомобилей [8, 9].

Другим ПП для имитационного моделирования сложных машин и механизмов является MSC.ADAMS. К основополагающим модулям MSC.ADAMS, относятся: ADAMS / Car Suspension Design, ADAMS / Car Conceptual Suspension, ADAMS / Car Vehicle Dynamics, ADAMS / Chassis, ADAMS / Driveline, ADAMS / Driver, ADAMS / Tire 3D Contact, ADAMS / Tire Handling, ADAMS / Tire FTire, ADAMS / Tire Swift, ADAMS / 3D Road, ADAMS / EDM. Эти модули позволяют исследовать динамическое поведение отдельных механизмов и систем ЛАТ. Работа MSC.ADAMS основана на генерировании дифференциально-алгебраических уравнений, которые описывают динамику исследуемой механической системы и решаются численными методами. К наиболее главным особенностям MSC.ADAMS также относят: малую трудоемкость и высокую надежность; возможность исследования большого количества различных вариантов конструкций НТР для ЛАТ; возможность моделирования реальных условий работы НТР для ЛАТ; высокую эффективность математической базы программного пакета; обеспечение анимации полученных результатов, построение графиков и вывод результатов в виде трехмерной модели [10].

Следующим ПП для создания виртуальных моделей ЛАТ, оснащенных НТР с последующим их исследованием на предмет динамики движения, оптимизации конструктивных параметров, анализа экономии топлива, оптимизации энергоэффективности, является Matlab / Simulink Automotive. К основным особенностям Matlab / Simulink Automotive относят: наличие большой библиотеки элементов исследуемых систем, которые позволяют моделировать с достаточной точностью механические, гидравлические, газодинамические, пневматические, электрические, электронные системы; широкий набор программ решателей, реализующих методы численного интегрирования дифференциальных уравнений; возможность быстрого и удобного получения графической информации об изменении моделируемых систем во времени [11, 12].

Создать виртуальную инженерную лабораторию для компьютерного моделирования и исследования динамики движения ЛАТ позволяет ПК Simulation X. Такой ПК находит применение для моделирования различных процессов в линейных и нелинейных системах. Пользователь ПК Simulation X строит исследуемую модель из элементарных объектов, далее программа автоматически составляет и решает уравнения движения, рассчитывая скорости, ускорения, моменты, силы и другие необходимые параметры модели [12].

Моделирование работы ЛАТ, анализ динамики его движения, расчет эксплуатационных характеристик и проектирование узлов и систем ЛАТ с высокой эффективностью обеспечивает ПП Mechanical Simulation CarSim, TruckSim. Работа такого ПП основана на использовании параметрических математических моделей, которые воспроизводят на системном уровне изменение динамики движения ЛАТ. Основными составляющими элементами TruckSim, являются: библиотека транспортных средств, дорог, встроенные контроллеры для имитации поведения водителя [13].

ПП Easy5, интегрируемый с Adams дает возможность создавать в виртуальной среде полноценные прототипы объектов исследования (агрегаты, механизмы, НТР для ЛАТ) с системой их управления (электроприводом, пневмоприводом, гидроприводом). ПП Easy5 за счет наличия графического приложения упрощает построение и анализ объектов исследования. Такие объекты создаются из отдельных, заложенных в библиотеку блоков системного уровня (блоки отдельных агрегатов и систем, блоки описывающие динамику движения и др.). ПП Easy5 может анализировать переходные и установившиеся процессы, происходящие при движении ЛАТ, при работе гидропривода манипулятора и гидравлического технологического оборудования [14].

Для разработки 3D-моделей конструкций НТР для ЛАТ в удобном для пользователя интерфейсе можно использовать ПК SolidWorks. Основными функциями ПК SolidWorks, являются рейдеринг, параметрическое проектирование и моделирование. ПК SolidWorks включает в себя различные прикладные модули: SolidWorks Simulation Professional, SolidWorks Simulation Premium, SolidWorks Flow Simulation и др. Инженерный анализ ПК SolidWorks дает возможность осуществлять расчеты массово-инерционных характеристик, кинематики, динамики механизмов, а также расчет прочности и гидродинамики [15].

ПП LMS Virtual.Lab предназначен для компьютерного моделирования, инженерного анализа, а также оптимизации конструктивных параметров и производительности исследуемых механических систем. ПП LMS Virtual.Lab дает возможность инженерам и исследователям с высокой скоростью создавать точные модели объектов исследования, а также достаточно быстро осуществлять требуемые расчеты [16].

ПО Unigraphics за счет возможности осуществления компьютерного проектирования, инженерного анализа, оптимизации жизненного цикла и производственного процесса исследуемых объектов, находит применение в различных областях промышленности. Наиболее важными функциями ПО Unigraphics, являются: обеспечение необходимым набором инструментов для 3D моделирования; предоставление требуемых инструментов для анализа ди-

намических процессов методом конечных элементов, рендеринга, а также визуализации исследуемых объектов. ПО Autodesk Alias, применяемое в автомобильной промышленности для проектирования узлов, агрегатов и систем автомобилей, обеспечивает за счет удобного интерфейса быстрое создание эскизов, моделирование поверхности и визуализацию [17, 18].

Анализ рассмотренных российских и зарубежных ПП позволил авторам разработать их классификацию (рис. 1), применительно к возможному использованию при исследовании в них работы НТР для ЛАТ.

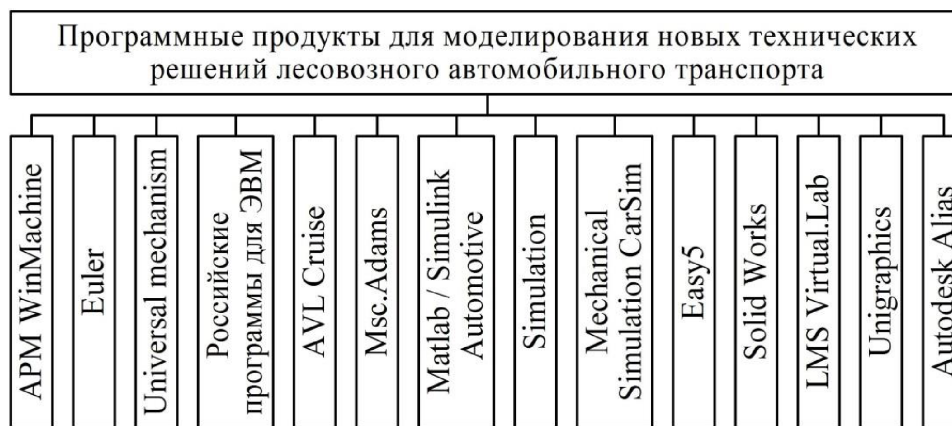


Рисунок 1 – Классификация программных продуктов для компьютерного моделирования лесовозного автомобильного транспорта

Таким образом, в настоящее время существует значительное множество российских и зарубежных ПП для возможного использования при решении многовариантных задач, связанных с оценкой эффективности НТР при моделировании движения ЛАТ. Использование современных ПП для моделирования работы НТР ЛАТ позволит: сократить до нескольких минут продолжительность испытания на моделях НТР для ЛАТ; заранее определить на этапах замысла и предварительного проектирования НТР для ЛАТ успешность их функционирования; отказаться от использования дорогостоящего метода создания и апробации реальных НТР для ЛАТ; исключить непроизводительные затраты на разработку и проектирование нерациональных конструкций НТР для ЛАТ; изменять параметры, характеризующие исследуемую систему и окружающую среду, в том числе и нереализуемую в натурных экспериментах, что сводит к минимуму потребность в сложном лабораторном оборудовании и эксплуатационных испытаниях НТР для ЛАТ; исследовать особенности функционирования НТР ЛАТ в различных дорожных условиях.

#### Список литературы

1. Жилейкин, М. М. Математическая модель прямолинейного движения колесной машины с балансирной подвеской мостов по неровностям пути / М. М. Жилейкин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2016. – № 1 (670). – С. 43-49.
2. Безбородова, Г. Б. Моделирование движения автомобиля / Г. Б. Безбородова, В. Г. Галушко. – Киев : Издательское объединение «Вища школа», 1978. – 168 с.

3. Валеев, Д. Х. Разработка автомобильной техники КАМАЗ с использованием отечественного программного обеспечения / Д. Х. Валеев, В. С. Карабцев // Актуальные вопросы машиноведения. – 2015. – Т. 4. – С. 17-23.
4. Коряхов, А. Ю. Достоинства и возможности трехмерного моделирование в современном мире / А. Ю. Коряхов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 4. – С. 46-49.
5. Euler software complex for automated dynamic analysis of multibody mechanical systems. Режим доступа : <https://www.euler.ru/> – Загл. с экрана. (Дата обращения 25.08.2024).
6. Автомобильный модуль (UM AUTOMOTIVE). Режим доступа : <https://www.universalmechanism.com/pages/index.php?id=1> – Загл. с экрана. (Дата обращения 24.08.2024).
7. Реестр программ для ЭВМ. Режим доступа : <https://www.fips.ru/registers-web/action?acName=clickRegister&regName=EVM> – Загл. с экрана. (Дата обращения 25.08.2024).
8. Компьютерное моделирование процессов движения легкового автомобиля с последовательной комбинированной энергетической установкой / Р. Ю. Илимбетов, В. В. Попов, А. В. Баканов, И. В. Кирпичников // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 2014. – Т. 70. – С. 71-77.
9. Барченко, Ф. Б. Моделирование работы двигателя при движении колесного транспортного средства по ездовому циклу / Ф. Б. Барченко, А. В. Сячинов, И. Д. Шишко // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2015. – № 6 (663). – С. 9-19.
10. MSC.ADAMS. Режим доступа: <https://cad.ru/support/bz/archive/109/msc-adams/> – Загл. с экрана. (Дата обращения 24.08.2024).
11. Automotive. Режим доступа: <https://www.mathworks.com/solutions/automotive/virtual-vehicle.html> – Загл. с экрана. (Дата обращения 24.08.2024).
12. Халиуллин, Ф. Х. Обзор программных продуктов для моделирования функционирования энергетических установок мобильных машин / Ф. Х. Халиуллин, Г. Г. Галеев, Р. Р. Шириязданов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 7, № 2(24). – С. 66-72.
13. TruckSim Mechanical Simulation. Режим доступа: <https://www.carsim.com/products/trucksim/index.php> – Загл. с экрана. (Дата обращения 24.08.2024).
14. Обзор программ, используемых для моделирования процессов автомобиля / Д. А. Внуков, А. П. Логинов, В. В. Гребенщиков [и др.] // Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере : материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. – 2022. – Т. 10, № 1. – С. 28-33.
15. SolidWorks. Режим доступа: <https://aggregroup.com/ru-ru/products/solidworks> – Загл. с экрана. (Дата обращения 25.08.2024).
16. LMS VIRTUAL.LAB. Режим доступа: [https://www.octava.ru/catalog/3d\\_virtualnoe\\_modelirovanie/lms\\_virtual\\_lab/](https://www.octava.ru/catalog/3d_virtualnoe_modelirovanie/lms_virtual_lab/) – Загл. с экрана. (Дата обращения 25.08.2024).
17. Оптимизация работы с Siemens NX : изучите системные требования. Режим доступа: <https://olnisa.ru/blog/optimizaciya-raboty-s-siemens-nx-izuchite-sistemnye-trebovaniya/> – Загл. с экрана. (Дата обращения 25.08.2024).
18. Autodesk. Режим доступа: <https://www.archiexpo.com.ru/prod/autodesk/product-1773-398414.html> – Загл. с экрана. (Дата обращения 25.08.2024).

## References

1. Zhileikin, M. M. Mathematical model of rectilinear motion of a wheeled vehicle with balance beam suspension of bridges on uneven ground / M. M. Zhileikin // News of higher educational institutions. Mechanical engineering. – 2016. – № 1 (670). – P. 43-49.
2. Bezborodova, G. B. Modeling of car motion / G. B. Bezborodova, V. G. Galushko. – Kiev, Publishing Association "Vishcha shkola", 1978, 168 p.

3. Valeev, D. Kh. Development of KAMAZ automotive equipment using domestic software / D. Kh. Valeev, V. S. Karabtsev // Actual issues of mechanical engineering. – 2015. – Vol. 4. – P. 17-23.
4. Koryakh, A. Yu. Advantages and possibilities of three-dimensional modeling in the modern world / A. Yu. Koryakh // Proceedings of the Rostov State Transport University. – 2017. – № 4. – P. 46-49.
5. Euler software complex for automated dynamic analysis of multibody mechanical systems. URL: <https://www.euler.ru/> – Title from the screen. (Accessed on 25.08.2024).
6. Automobile module (UM AUTOMOTIVE). URL: <https://www.universalmechanism.com/pages/index.php?id=1> – Title from the screen. (Accessed on 24.08.2024).
7. Register of computer programs. URL: <https://www.fips.ru/registers-web/action?acName=clickRegister&regName=EVM> – Title from the screen. (Accessed on 25.08.2024).
8. Computer modeling of the motion processes of a passenger car with a sequential combined power plant / R. Yu. Ilimbetov, V. V. Popov, A. V. Bakanov, I. V. Kirpichnikov // Bulletin of the Chelyabinsk State Agroengineering Academy. – 2014. – Vol. 70. – P. 71-77.
9. Barchenko, F. B. Modeling of engine operation during movement of a wheeled vehicle according to the driving cycle / F. B. Barchenko, A. V. Syachinov, I. D. Shishko // News of higher educational institutions. Mechanical engineering. – 2015. – № 6 (663). – P. 9-19.
10. MSC.ADAMS. URL: <https://cad.ru/support/bz/a-rchive/109/msc-adams/> – Title from the screen. (Accessed on 08/24/2024).
11. Automotive. URL: <https://www.mathworks.com/-solutions/automotive/virtual-vehicle.html>. – Title from the screen. (Accessed on 24.08.2024).
12. Khaliullin, F. Kh. Review of software products for modeling the operation of power plants of mobile machines / F. Kh. Khaliullin, G. G. Galeev, R. R. Shiryazdanov // Bulletin of the Kazan State Agrarian University. – 2012. – Vol. 7, № 2 (24). – P. 66-72.
13. TruckSim Mechanical Simulation. URL: <https://www.carsim.com/products/trucksim/index.php> – Title from the screen (Accessed on 24.08.2024).
14. Review of programs used to model car processes / D. A. Vnukov, A. P. Loginov, V. V. Grebenshchikov [et al.] // Energy and resource saving in heat power engineering and the social sphere: materials of the International scientific and technical conference of students, graduate students, scientists. – 2022. – V. 10, № 1. – P. 28-33.
15. SolidWorks. URL: <https://aggregrgroup.com/ru-ru/products/solidworks> – Title from the screen. (Accessed on 25.08.2024).
16. LMS VIRTUAL.LAB. URL: [https://www.octava.ru/catalog/3d\\_virtualnoe\\_modelirovanie/lms\\_virtual\\_lab/](https://www.octava.ru/catalog/3d_virtualnoe_modelirovanie/lms_virtual_lab/) – Title from the screen. (Accessed on 25.08.2024).
17. Optimizing work with Siemens NX : study the system requirements. URL: <https://olnisa.ru/blog/optimizacziya-raboty-s-siemens-nx-izuchite-sistem-nye-trebovaniya/> Title from the screen. (Accessed on 25.08.2024).
18. Autodesk. URL: <https://www.a-rchiexpo.com-.ru/prod/autodesk/product-1773-398414.html> – Title from the screen. (Accessed on 25.08.2024).