Сравнительный анализ САПР и PLM-систем автоматизации для применения проектно-исследовательской деятельности

Тедорадзе Теона Гуладиевна
кандидат педагогических наук, доцент кафедры физики, Кубанский государственный технологический университет, tedoradze.t@mail.ru,

Михайлова Лидия Евгеньевна
кандидат педагогических наук, доцент кафедры физики, Кубанский государственный технологический университет, lidja1@mail.ru

В условиях современного высокотехнологичного общества возрастает потребность в специалистах, обладающих креативным мышлением, инициативностью и способностью решать нестандартные задачи, а также формулировать новые перспективные цели. В связи с этим одним из перспективных методов для побуждение у студентов технических и творческих навыков является применение метода проектов, в частности, технических проектов. Целью настоящего исследования является проведение комплексного сравнительного анализа функциональных возможностей современных CAD/CAE-систем и определение эффективности внедрения концепции PLM как инструмента стратегического управления техническими проектами.
Теоретическая значимость данного исследования заключается в том, что полученные результаты могут служить основой для формирования и развития компетенций, связанных с осуществлением современных технических проектов. Практическая значимость заключается в сравнительном анализе двух ключевых систем автоматизации САПР и PLM, которые ориентирован на автоматизацию и конструирования моделей, с целью формирования у обучающихся компетенций, связанных с реализацией технических проектов. Методологическая основа исследования базируется на использовании компетентностного подхода, который интерпретирует компетенцию организации технического проекта, как неотъемлемую составляющую профессиональной идентичности личности; деятельностного подхода, рассматривающего проектную деятельность как ключевой механизм для развития компетенций в области технического проекта; социологического подхода, предполагающего образовательную среду, включая университетские среды, в качестве важнейшего внешнего фактора, способствующего личностному развитию обучающихся; квалиметрического подхода, подчеркивающего необходимость многопараметрической диагностики потенциала образовательной среды для определения её эффективности. В качестве методов исследования применялись анализ передового педагогического опыта в организации технической деятельности студентов.
Ключевые слова: проектная деятельность, технический проект, анализ, формирование, образовательная среда.

Введение

В условиях перехода к высокотехнологичному укладу наблюдается необходимость в специалистах, обладающих не только фундаментальной подготовкой, но и развитым креативным мышлением, способностью к решению нестандартных задач и формулированию инновационных целей. Современная дидактика профессионального образования должна переориентироваться с репродуктивной модели обучения на проектную деятельность. Данный подход позволяет студентам интегрировать теоретические знания из области физики, математики и механики в практическую плоскость создания реальных объектов, таких как разработка малых космических аппаратов, где требуется расчет центров масс, баланс энергии, площади фотоэлектрических преобразователей и алгоритмов ориентации, автоматизации и подготовка документов на эксплуатацию моделей [6].

Анализ современных дидактических концепций в соотношении формирования проектно-исследовательской компетентности характеризуется выраженным преобладанием положительных мнений в научно-педагогической среде. Со стороны сторонников инновационных образовательных практик отмечается высокая эффективность применения технических проектов для развития аналитического мышления, креативного потенциала и операциональных навыков обучающихся [7].

Метод технических проектов детерминирует развитие субъектной позиции, личностной ответственности и межличностной коммуникации обучающихся. Это становится императивным условием их успешной адаптации в современном информационном и высокотехнологичном обществе Особое значение имеет цифровое взаимодействие, использование информационных технологий, цифровых инструментов, систем управления при выполнении технических проектов, которое расширяет возможности образовательного процесса и создает современные условия для организации эффективного взаимодействия между преподавателем и студентами [1].

Для выполнения проектной деятельности по созданию различных узлов и агрегатов атомного и теплоэнергетического машиностроения, конструирования функциональных элементов технических систем с интеграцией средств автоматизации и протоколов информационного обмена необходимы навыки, которые направлены на обеспечение принципов производственной и экологической безопасности, также необходимо умение применять методы вычислительного эксперимента и пакеты прикладных программ для математического описания гидродинамических, тепловых и физических процессов в исследовательских установках [2].

Выполняя технический проект, студенты приобретают навык выражать технические мысли с помощью языка графики, который является важным для будущих инженеров. В процессе обучения студенты формируют компетенции с фундаментальными научными исследованиями и требованиями ЕСКД выполняя чертежи приборов, машин и технологических процессов, а также при изучении алгоритмов образования сложных поверхностей, изготовление заготовок и формообразование деталей в среде КОМПАС-3D [4].

Однако реализация сложных технических проектов выявляет критический разрыв между процессом генерации геометрии изделия и управлением сопутствующей информацией [5]. Традиционные системы автоматизированного проектирования (САПР/CAD), фокусирующиеся преимущественно на создании чертежей и твердотельных моделей, перестают удовлетворять требованиям современной промышленности. Возникает потребность в системах управления жизненным циклом продукции «Product Lifecycle Management» (PLM), обеспечивающих непрерывность информационного потока (digital thread) от концептуального эскиза до утилизации готового изделия [3].

Результаты анализа

Технический проект представляет собой формализованный комплекс документации, описывающий конструкцию изделия как целостная физическая система. В процессе его реализации формируется расширенный состав изделия, который динамически дополняется данными от конструкторов, технологов и специалистов по надежности. После завершения производства эта информационная база становится фундаментом для сервисного обслуживания, оформления под требования и последующей модернизации.

Ключевой проблемой современного высокотехнологичного производства является отсутствие оперативного мониторинга состояния ресурсов и сроков выполнения этапов разработки. Решение данной проблемы лежит в плоскости внедрения интегрированных комплексов CAD/CAM/CAE/CAPP. В отличие от изолированного использования трехмерных редакторов, данные комплексы позволяют оперировать полноценной цифровой моделью изделия. Такая модель инкорпорирует не только метрические параметры, но и результаты прочностных расчетов (МКЭ/FEM), карты техпроцессов, управляющие программы для станков с ЧПУ и электронные спецификации.

Исторически данный процесс эволюционировал от простых электронных архивов 1980-х годов к современным PDM-системам (Product Data Management), которые сегодня трансформируются как полномасштабные PLM-платформы. Последние систематизируют сведения на протяжении

всего срока эксплуатации изделия, обеспечивая актуальность данных для всех участников цепочки создания стоимости.

Выбор конкретного программного обеспечения класса САПР детерминируется многочисленностью задач, отраслевыми стандартами и совокупной стоимостью владения (TCO) и не зависит от аппаратными требованиями.

Авторами настоящего исследования был проведен таксономический анализ программных комплексов класса (CATIA, SolidWorks, КОМПАС-3D, Inventor) и универсальных платформ (AutoCAD), которые в основном используются при выполнении технических проектов.

Анализ показал гетерогенность требований к вычислительной инфраструктуре. Если AutoCAD сохраняет работоспособность на средних конфигурациях, то системы поверхностного моделирования и работы со сложными сборками CATIA и Inventor требуют значительных объемов оперативной памяти (до 32 ГБ) и высокопроизводительных графических ускорителей профессионального уровня. Сложность освоения варьируется от средней КОМПАС-3D до экспертной CATIA, что коррелирует с глубиной параметризации ядра.

Современная САПР трансформируется как междисциплинарную платформа. Помимо базового редактирования геометрии, критически необходимыми становятся следующие модули:

Инженерные расчеты (CAE), который базируются на численных методах, в первую очередь на методе конечных элементов (МКЭ). Для высокопроизводительных мультифизических расчётов ключевой является экосистема Dassault Systèmes (CATIA/SIMULIA), использующая высокоточный решатель Abaqus. Платформа Autodesk Inventor используется для выполнения прочностных и тепловых анализов, который опирается на вычислительное ядро Nastran. Среди российских решений КОМПАС-3D чаще всего задействует встроенный модуль APM FEM, но также поддерживает сопряжение со сторонними расчетными комплексами.

Методологией (CAE) является верификация напряженно-деформированного состояния, оценка коэффициента запаса прочности. Экспертный уровень имеет CATIA, который означает глубокую интеграцию решателя Abaqus, поддерживающий нелинейные модели материалов и контактного взаимодействия. Продвинутый уровень имеет SolidWorks, представляет нативный модуль статического анализа, собственной частоты и устойчивости. Базовый уровень КОМПАС-3D предполагает реализацию через внешние ассоциативные модули для расчета конструкций по методологии МКЭ. Высокий уровень Autodesk Inventor в котором встроенный решатель Nastran In-CAD, подразумевает что используется для комплексного линейного и нелинейного анализа. Для AutoCAD характерен минимальный уровень средств проверки геометрии, а также требует экспорта данных в сторонние CAE-пакеты.

Моделирование пространственных механизмов (Кинематика и динамика). Выполняет расчет траекторий, кинематических пар, инерционных нагрузок и силовых факторов. Экспертный уровень имеет CATIA выполняет полнофункциональное моделирование многозвенных динамических систем. Продвинутый уровень имеет SolidWorks и анализирует движения сборок (Motion Analysis). КОМПАС-3D кинематику и динамику реализует посредством внешних приложений или упрощенного сопряжения ограничений. Autodesk Inventor имеет продвинутый уровень, это среда динамического анализа сборок. А у AutoCAD отсутствует как встроенная функция.

Тепловой анализ (Conduction/Convection/Radiation), вычислительная гидродинамика (CFD) выполняет симуляцию температурных полей и ламинарно-турбулентных течений. У CATIA экспертный уровень и имеет специализированные решатели для мультифизичных задач и сложных сред. SolidWorks имеет продвинутый уровень интегрированного пакета Flow Simulation. КОМПАС-3D требует интеграциию со специализированными расчетными комплексами. А у Autodesk Inventor доступно через интеграцию с экосистемой Autodesk CFD и AutoCAD не поддерживает.

Моделирование технологических процессов (CAM/CAPP). Цифровизация подготовки производства строится на интеграции систем классов CAM (Computer-Aided Manufacturing) и CAPP (Computer-Aided Process Planning). Эти инструменты создают полноценных цифровых двойников цехов и технологических линий. Например, платформа DELMIA выполняет детальную симуляцию съема материала, который позволяет заранее обнаружить столкновения инструмента с заготовкой или элементами станка, проверить траекторию движения осей оборудования и оптимизировать управляющую программу ещё до запуска реального оборудования. SolidWorks выполняет симуляцию многоосевой обработки и контроля столкновений на продвинутом уровне. На высоком уровне выполняет симуляцию фрезерной, токарной и лазерной обработки Inventor HSM. А базовому уровню относится AutoCAD, который работает без полноценной симуляции удаления материала.

Оптимизационный синтез в контексте инженерного проектирования - это вычислительный процесс, который определяет алгоритмы топологической оптимизации (Shape Generator) и параметрическая оптимизация конструкции согласно заданным целевым функциям при соблюдении граничных условий. Применяется для снижения массы конструкций для сохранения жесткостных характеристик, повышение энергоэффективности, сокращение времени разработки и количества прототипов. По алгоритмам оптимизации топологии на уровне микроструктуры материала CATIA имеет экспертный уровень. Autodesk Inventor высокий уровень по инструментам параметрической оптимизации (Shape Generator). SolidWorks имеет продвинутый уровень в исследованиях проектных пространств (Design Study). У КОМПАС-3D ограниченная функциональность, оптимизацию реализует через макросы и внешние утилиты, а у AutoCAD не поддерживает.

6. Производственная логистика и литье - это процессы анализа течения расплава, прогнозирование усадочных раковин, пористости и коробления отливок и планирование последовательности сборки. У CATIA по производственной логистике экспертный уровень и встроенная функция (DELMIA) выполняет виртуальное производство и эргономику рабочих мест. SolidWorks имеет продвинутый уровень по инженерии полимерных (Plastics) изделий и пресс-форм. КОМПАС-3D решает производственную логистику средствами смежных специализированных систем класса CAE/CAPP. А для Autodesk Inventor доступно через сторонние плагины и отраслевые решения, и AutoCAD не поддерживает.

7. Управление данными об изделии обеспечивается системами PDM/PLM. В них CATIA имеет глубокую нативную интеграцию. Это бесшовная ассоциация геометрической модели с нормативно-справочной информацией, управление конфигурациями и жизненным циклом. В котором CATIA имеет глубокую нативную интеграцию с платформой ENOVIA. SolidWorks интеграцию с платформой 3DEXPERIENCE и локальными PDM-системами, КОМПАС-3D с системой управления инженерными данными предприятия, Autodesk Inventor тесно связана с облачными платформами Fusion 360 Manage и Vault, тогда как AutoCAD имеет базовую интеграцию с общими файловыми менеджерами и внешними PDM.

Таблица 1

Функционально-аналитический профиль специализированных модулей и системной интеграции САПР

Функция	CATIA	SolidWorks	КОМПАС-3D	Autodesk Inventor	AutoCAD
Инженерный анализ (CAE)	Экспертный уровень	Продвинутый уровень	Базовый уровень	Высокий уровень	Минимальный уровень
Кинематика и динамика	Экспертный уровень	Продвинутый уровень	Реализуется посредством внешних приложений	Продвинутый уровень	Отсутствует как встроенная функция
Термодинамика и гидрогазодинамика	Экспертный уровень	Продвинутый уровень	Требует интеграции	Доступно через интеграцию	Не поддерживается
Оптимизационный синтез	Экспертный уровень	Продвинутый уровень	Ограниченная функциональность	Высокий уровень	Не поддерживается
Моделирование технологических процессов CAPP/CAM	Экспертный уровень DELMIA	Продвинутый уровень CAM	Поддерживается через партнерские CAM -решения	Высокий уровень	Базовая подготовка траекторий AutoCAD Mechanica
Производственная логистика и литье	Экспертный уровень DELMIA	Продвинутый уровень	Решается средствами смежных специализированных систем	Доступно через сторонние плагины и отраслевые решения	Не поддерживается
Управление данными об изделии PLM/PDM	Глубокая нативная интеграция с платформой ENOVIA	Интеграция с платформой 3D EXPERIENCE и локальными PDM-системами	Нативная интеграция с системой управления инженерными данными предприятия	Тесная связка с облачной платформой Fusion Manage и Vault	Базовая интеграция с общими файловыми менеджерами и внешними PDM

Уровень реализации функционала «Экспертный», «Продвинутый», «Базовый» определен исходя из степени нативной интеграции математических ядер, полноты охвата физико-механических моделей и наличия предиктивных аналитических инструментов внутри единой информационной среды программного комплекса. Для предприятий, работающих в российской юрисдикции, первостепенное значение имеет поддержка стандартов ЕСКД/ГОСТ, что является конкурентным преимуществом КОМПАС-3D. Для глобальных корпораций приоритетны возможности совместной работы Collaborative Engineering, облачные репозитории и наличие открытого API для интеграции с ERP-системами например, 1С или SAP.

Если САПР отвечает на вопрос «Как спроектировать?», то PLM отвечает на вопросы «Что проектируем, зачем и кто за это отвечает?». PLM дефинируется как бизнес-стратегия и процесс управления портфелем продуктов от идеи до утилизации.

Фундаментальным отличием PLM от локальных файловых хранилищ является концепция единого достоверного источника SSOT (Single Source of Truth), система которая обеспечивает автоматическую версию объектов. Любое изменение размера детали в CAD-модуле инициирует каскадное обновление всей связанной документации, ведомостей покупных изделий и уведомляет смежные подразделения. Это элиминирует ошибки, связанные с использованием устаревших версий чертежей.

Таблица 2
Функциональный анализ концепции управлении жизненным циклом продукта PLM

Аспект	Функциональность
Терминологическая дефиниция	Полисемантическая категория, представляющая собой калькированную транслитерацию англоязычного термина PLM - Управление жизненным циклом продукта (Product Lifecycle Management) на русский язык.
Концептуализация как бизнес-деятельность	Интегрированная совокупность управленческих процессов, направленных на максимизацию экономической эффективности портфеля продуктов предприятия посредством оптимизации информационных потоков на всех стадиях их существования.
Процессуально-технологический подход	Непрерывный процесс развития продукта от генерации первичной концепции до финальной утилизации изделия. Концепт строится на системной консолидации субъектов (персонала), структурированных данных, формализованных алгоритмов функционирования и гетерогенных корпоративных ИТ-сервисов в единую информационную экосистему.
Эволюционно-исторический аспект	Платформенное решение следующего поколения, возникшее как результат масштабирования функционала систем управления данными об изделии PDM (Product Data Management). Ключевая функция - элиминация коммуникационного диссонанса между операционным уровнем производства и стратегическим контуром корпоративного менеджмента.
Информационная парадигма	Формирование единого достоверного источника данных SSOT (Single Source of Truth). Агрегация полного спектра метаданных и геометрических моделей изделия, обеспечивающая информационную прозрачность для всех участников жизненного цикла.
Экономические императивы внедрения	Максимизация доходности - интенсификация денежных поступлений от реализации продукции за счет ускорения вывода изделий на рынок (Time-to-Market) и повышения качественных характеристик продуктового портфеля. Минимизация издержек - редукция капитальных и операционных затрат, сопряженных с технологической подготовкой, серийным производством и дистрибуцией номенклатуры. Оптимизация стоимости активов - капитализация нематериальных активов компании через систематизацию интеллектуальной собственности и инженерных наработок.

Реализация PLM-концепции требует четырехуровневой синхронизации, к которым относятся:

CAD – PDM ,что подразумевает централизованное хранение мастер-данных (BOM – Bill of Materials) и контекстуализация геометрии метаданными (материал, стоимость, поставщик).

CAD – CAE означает двунаправленный трансфер моделей. Результаты тепловых или гидрогазодинамических (CFD) расчетов поступают обратно в конструкторскую среду для итерационной корректировки геометрии без ручного переноса данных.

CAD–CAM предусматривает прямую ассоциативность управляющей программы (G-code) с моделью. Модификация элемента детали автоматически делает недействительной старую траекторию обработки, требуя регенерации кода.

MBD (Model-Based Definition): Переход к аннотированным 3D-моделям как единственному источнику истины, вытесняющему бумажную документацию. Данные напрямую транслируются в MES/ERP системы.

Методология PLM экстраполируется далеко за пределы классического машиностроения. Она применяется в архитектуре (BIM), авиастроении Управление уникальными проектами ETO (Engineer-to-Order), микроэлектронике и даже в научно-исследовательских институтах для управления интеллектуальной собственностью. Типологически внедрение целесообразно как для массового производителя (управление глобальной платформой автомобиля), так и для единичного (координация постройки ледокола).

Функциональный спектр задач реализуемых в рамках методологии Product Lifecycle Management (PLM) содержит следующие направления деятельности:

- Стратегическое администрирование номенклатуры, обеспечивающий системное управление таксономически упорядоченным портфелем продуктов предприятия.

- Оптимизация продуктовых активов, что означает интенсификация финансовой рентабельности инвестиционного портфеля посредством рациональной аллокации ресурсов на всех стадиях реализации проектов.

- Континуальное сопровождение изделия, реализующее сквозной мониторинг объекта проектирования, начиная от фазы концептуализации и до процедур технической утилизации или снятия с эксплуатации.

- Координация проектно-ориентированных процессов, предполагает использование высокоэффективных алгоритмов менеджмента, которые применительно к программам разработки, авторского надзора за эксплуатацией и реновации выпускаемой продукции.

- Формализация обратной связи от потребителей, отвечает за систематический сбор, классификацию и анализ эмпирических данных об опыте эксплуатации изделий для последующей трансляции требований.

- Осуществление распределенной среды инжиниринга, который создаёт интегрированную платформу для синхронного взаимодействия со смежными организациями и конечными пользователями при совместной разработке технических решений.

- Реинжиниринг производственно-связанных бизнес-процессов, ответственный за трансформацию операционной деятельности, обеспечивая строгую последовательность, высокую пропускную способность, для обеспечение строгой последовательности, высокая пропускная способность и минимизация транзакционных издержек информационных потоков.

- Обеспечение информационной целостности и контекстуальной доступности, обеспечивает агрегацию достоверных сведений об изделии, поддерживает их когерентность (Data Integrity) и гарантированную доставку релевантных пакетов данных субъектам процесса в соответствии с регламентированными временными метками.

Заключение

Проведенное исследование подтверждает завершение эпохи фрагментированной автоматизации инженерного труда. Наблюдается фундаментальный сдвиг парадигмы от использования САПР в качестве электронного помощника конструктора к созданию единой интегрированной информационной среды предприятия на базе PLM.

В образовательном процессе этот переход означает смещение фокуса с обучения навыкам черчения на формирование системного инженерного мышления. Студенты должны понимать, что современный спутник или беспилотный летательный аппарат — это не просто совокупность деталей в сборке SolidWorks, а сложный информационный актив, чей жизненный цикл управляется централизованно.

Перспективы развития отрасли связаны с внедрением технологий искусственного интеллекта для генеративного дизайна (Generative Design), углублением предиктивной аналитики отказов и повсеместным утверждением концепции «цифрового двойника» (Digital Twin), который будет синхронизироваться с физическим изделием в режиме реального времени на протяжении всего периода его эксплуатации.

Литература

1. Елагина, В. С. Технология проектного обучения как средство оценки образовательных результатов обучающихся // Педагогика: история, перспективы. — 2021. — № 4 (5). — С. 12-20.

2. Зорина О.С. Профессиональные компетенции будущего инженера // Педагогический журнал. 2023. Т. 13. № 4А. С. 95-100. DOI: 10.34670/AR.2023.80.62.013

3. Попкова Ю.Р. Педагогические взгляды на развитие проектно исследовательских способностей обучающихся в образовательном процессе //Современное профессиональное образование. 2025. № 7. С. 51-55.

4. Пузанкова А.Б., Черепашков А.А. Организация проектной деятельности студентов машиностроительного профиля //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Социальные, гуманитарные, медико-биологические науки, т. 26, № 4 (97), 2024

5. Пузанкова, А. Б. Геометрическое моделирование в среде КОМПАС-3D: учеб. пособие /А. Б. Пузанкова, А. А. Черепашков. – Самара: Самар. Гос. Техн. Ун-т, 2020. – 108 с.

6. Тедорадзе Т. Г. Диагностика эффективности проектной деятельности в самостоятельной работе студентов //Наука и инновации – современные концепции Том 2: сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума. Москва, 2023. – С. 58–62

7. Тедорадзе Т.Г., Ольховская Е.П., Михайлова Л.Е. SWOT- анализ развития компетенции технического проекта студентов профессионального образования //Современное профессиональное образование. 2025. № 7. С. 141-145.

Comparative analysis of CAD and PLM systems for automating design and research activities

Tedoradze T.G., Mikhailova L.E.
Kuban State Technological University, Krasnodar

JEL classification: C10, C50, C60, C61, C80, C87, C90

In the context of today's high-tech society, the need for specialists with creative thinking, initiative, and the ability to solve non-standard problems, as well as to formulate new promising goals, is growing. In this regard, one of the promising methods for fostering technical and creative skills in students is the use of the project method, in particular, technical projects. The aim of this study is to conduct a comprehensive comparative analysis of the functional capabilities of modern CAD/CAE systems and to determine the effectiveness of implementing the PLM concept as a tool for strategic management of technical projects.

The theoretical significance of this study lies in the fact that the results obtained can serve as a basis for the formation and development of competencies related to the implementation of modern

technical projects. The practical significance lies in the comparative analysis of two key automation systems — CAD and PLM — which are focused on automating and designing models, with the aim of developing competencies in students related to the implementation of technical projects. The methodological foundation of the study is based on the use of a competency-based approach, which interprets the competence of organizing a technical project as an integral component of an individual's professional identity; an activity-based approach, which views project work as the key mechanism for developing competencies in the field of technical projects; a sociological approach, which considers the educational environment — including university environments — as the most important external factor contributing to the personal development of students; and a qualimetric approach, which emphasizes the need for a multi-parameter assessment of the educational environment's potential to determine its effectiveness. The research methods used included the analysis of advanced pedagogical experience in organizing students' technical activities..
Keywords: project activity, technical project, analysis, formation, educational environment.

References

1. Elagina, V. S. Project-based learning technology as a means of assessing students' educational outcomes // Pedagogy: history, prospects. — 2021. — No. 4 (5). — Pp. 12–20.
2. Zorina O. S. Professional competencies of a future engineer // Pedagogical Journal. 2023. Vol. 13. No. 4A. Pp. 95–100. DOI: 10.34670/AR.2023.80.62.013
1.Popkova Yu.R. Pedagogical views on the development of students' project-research abilities in the educational process //Modern Professional Education. 2025. No. 7. Pp. 51–55.
4. Puzankova A.B., Cherepashkov A.A. Organization of Project Activities for Students in Mechanical Engineering //Izvestiya of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Social, Humanitarian, and Biomedical Sciences, vol. 26, No. 4 (97), 2024.
5.Puzankova, A.B. Geometric Modeling in the KOMPAS-3D Environment: textbook. manual / A. B. Puzankova, A. A. Cherepashkov. Samara: Samara State Technical University. Univ., 2020. – 108 p.
6.Tedoradze T. G. Diagnostics of the effectiveness of project activities in students' independent work //Science and Innovation – modern concepts Volume 2: collection of scientific articles based on the results of the International Scientific Forum. Moscow, 2023. – pp. 58-62
7. Tedoradze T.G., Olkhovskaya E.P., Mikhailova L.E. SWOT analysis of the development of technical project competencies in vocational education students //Modern Vocational Education. 2025. No. 7. Pp. 141–145.