

Бубашвили Давид Константинович

студент 4 курса

ЧОУ ВО «Санкт-Петербургский университет технологий управления и

экономики»

Россия, г. Санкт-Петербург

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОДБОРА КОМПЛЕКТУЮЩИХ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА ДЛЯ КОРПОРАТИВНОЙ ИТ- ИНФРАСТРУКТУРЫ

Аннотация: В статье рассматривается задача автоматизации подбора комплектующих персонального компьютера для корпоративной ИТ-инфраструктуры. Предложена гибридная экспертная система, объединяющая формализованные правила технической совместимости, многокритериальное ранжирование вариантов и локальную большую языковую модель для формирования объяснений. Описаны модель исходного бизнес-процесса, функциональная архитектура, программная реализация веб-приложения и алгоритм формирования рекомендаций. На примере АО «ПО «Возрождение» показано, что автоматизация сокращает продолжительность непосредственного подбора конфигурации с нескольких часов до секунд и уменьшает трудоёмкость согласования. Рассчитанные показатели NPV, IRR и срока окупаемости подтверждают экономическую целесообразность внедрения системы.

Ключевые слова: экспертная система, искусственный интеллект, подбор комплектующих, ИТ-инфраструктура, система поддержки принятия решений, многокритериальная оценка, экономическая эффективность.

Annotation: The article addresses the automation of personal computer component selection for a corporate IT infrastructure. A hybrid expert system is proposed that combines formal compatibility rules, multi-criteria ranking of

alternatives, and a locally deployed large language model for generating transparent explanations. The paper describes the existing business process, functional architecture, web implementation, and recommendation algorithm. Using JSC Production Association Vozrozhdenie as a case study, the proposed approach reduces direct configuration time from several hours to seconds and lowers the workload associated with specification preparation and approval. The calculated NPV, IRR, and payback period confirm the economic feasibility of implementation.

Key words: expert system, artificial intelligence, component selection, IT infrastructure, decision support system, multi-criteria assessment, economic efficiency.

Введение

Цифровизация производственных и управленческих процессов повышает зависимость предприятий от качества компьютерной техники. Рабочие места инженеров, экономистов, специалистов по снабжению и руководителей различаются по нагрузке, используемому программному обеспечению и требованиям к информационной безопасности. Поэтому обновление парка персональных компьютеров нельзя свести к покупке наиболее производительных компонентов в пределах выделенного бюджета. Необходимо одновременно учитывать совместимость процессора и материнской платы, тип и объём оперативной памяти, интерфейсы накопителей, энергопотребление, мощность блока питания, форм-фактор корпуса, возможности дальнейшей модернизации и требования корпоративной стандартизации.

В организациях, где подбор выполняется вручную, решение обычно зависит от опыта одного или нескольких ИТ-специалистов. Эксперт анализирует требования подразделения, просматривает каталоги поставщиков, сверяет технические характеристики и формирует спецификацию. При изменении цены или наличия товара часть работы приходится повторять. Такой процесс трудоёмок, плохо воспроизводим и создаёт риск закупки несовместимых либо экономически неоптимальных

компонентов. Для предприятий с сотнями рабочих мест проблема становится регулярной управленческой задачей, а не единичной технической операцией.

Экспертные системы предназначены для решения задач, в которых существенную роль играют формализованные знания специалистов, правила и эвристики [1]. В отличие от обычного справочника, экспертная система не только хранит данные, но и применяет знания предметной области для формирования вывода. Современный подход допускает сочетание продукционных правил с методами оптимизации и машинного обучения [2]. Классическим примером системы конфигурирования является R1/XCON, которая применяла продукционные правила для проверки заказов и построения конфигураций вычислительной техники [3]. Это подтверждает применимость экспертного подхода к задаче подбора компонентов ПК.

Цель исследования состоит в разработке архитектуры и программного прототипа экспертной системы, обеспечивающей автоматизированный подбор комплектующих персонального компьютера с учётом назначения рабочего места, бюджета, технической совместимости и корпоративных ограничений. Для достижения цели решаются задачи анализа процесса «AS IS», формализации критериев, построения модели «TO BE», проектирования программной архитектуры, реализации интерфейса и оценки экономической эффективности проекта.

Постановка задачи и методы исследования

Объектом исследования является процесс подбора и подготовки к закупке комплектующих для обновления корпоративного парка персональных компьютеров. Предмет исследования составляют методы формализации требований, проверки совместимости и многокритериального выбора конфигураций. В качестве прикладной базы использованы материалы анализа ИТ-инфраструктуры АО «ПО «Возрождение», где эксплуатируется более 420 рабочих станций различных категорий. Значительная часть парка используется в системах автоматизированного проектирования,

бухгалтерских и управленческих информационных системах, что предъявляет неодинаковые требования к производительности и надёжности.

Исследование выполнялось с применением процессного анализа, сравнительного анализа, методов инженерии знаний, многокритериального ранжирования, структурного проектирования программного обеспечения и инвестиционного анализа. Требования к составу проектной документации учитывались в соответствии с ГОСТ 34.201-2020 [5], а характеристики качества программного продукта — с моделью ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015 [6]. При формировании критериев выбора использован принцип иерархической декомпозиции: сначала выделяются группы критериев, затем частные показатели и ограничения.

Ключевым методическим решением является разделение логики системы на два контура. Первый контур является детерминированным: он отбрасывает варианты, нарушающие обязательные правила совместимости и бюджетные ограничения. Второй контур ранжирует допустимые конфигурации по совокупности показателей. Большая языковая модель используется не как единственный механизм выбора, а как средство генерации понятного пользователю объяснения и дополнительной проверки полноты спецификации. Такое разделение снижает риск недостоверных рекомендаций и делает вывод системы воспроизводимым.

Веса групп критериев определены экспертным способом с учётом задач корпоративной эксплуатации. Техническим критериям присвоен вес 0,40, экономическим — 0,30, организационно-стратегическим — 0,20, эксплуатационным — 0,10. Выбранная структура соответствует логике метода анализа иерархий Т. Саати, при котором сложная задача выбора представляется как иерархия цели, критериев и альтернатив [4]. В дальнейшем веса могут корректироваться ИТ-службой в зависимости от типа рабочего места.

Таблица 1.

Группы критериев оценки конфигурации

Группа критериев	Содержание	Вес
Технические	Совместимость, производительность, энергопотребление	0,40
Экономические	Цена закупки, стоимость владения, модернизируемость	0,30
Организационные	Стандартизация, импортозамещение, политика предприятия	0,20
Эксплуатационные	Надёжность, ремонтпригодность, гарантийная поддержка	0,10

Для каждой допустимой конфигурации j рассчитывается интегральная оценка, нормированная в диапазоне от 0 до 1:

$$Q = 0,40T + 0,30E + 0,20O + 0,10X, \quad (1)$$

где T_j — техническая оценка; E_j — экономическая оценка; O_j — соответствие организационным требованиям; X_j — эксплуатационная оценка. Перед расчётом интегрального показателя выполняются обязательные ограничения: совпадение сокета процессора и материнской платы, поддержка типа памяти, достаточная мощность блока питания, наличие необходимых интерфейсов и соблюдение бюджета. Конфигурация, нарушающая хотя бы одно обязательное ограничение, не участвует в ранжировании.

Анализ исходного процесса подбора комплектующих

Исходный процесс «AS IS» начинается с заявки подразделения на обновление рабочего места. В заявке обычно указываются назначение компьютера и предельный бюджет, однако технические требования формулируются неполно. Инженер ИТ-службы уточняет используемое программное обеспечение, анализирует каталоги поставщиков и вручную формирует перечень компонентов. Затем спецификация направляется руководителю подразделения, экономической службе и снабжению. При превышении бюджета или отсутствии товара процесс возвращается к этапу подбора.

По данным анализа бизнес-процесса, непосредственный подбор одной конфигурации занимает в среднем от двух до четырёх часов, а полный цикл

согласования и закупки — от 14 до 35 календарных дней. Трудоёмкость с учётом повторных согласований достигает 18–25 часов. Дополнительными проблемами являются изменение цен в период согласования, риск несовместимости компонентов, отсутствие автоматизированного контроля бюджета и сложность соблюдения политики стандартизации. Для крупного предприятия даже небольшое количество возвратов на доработку приводит к существенным годовым потерям рабочего времени.

Целевая модель «ТО ВЕ» предполагает, что специалист вводит назначение рабочего места, бюджет и специальные требования через веб-интерфейс. Система автоматически обновляет каталог, фильтрует компоненты, проверяет совместимость и формирует несколько альтернатив. Инженер сохраняет контрольную функцию: он просматривает состав, объяснение выбора и при необходимости корректирует параметры. После утверждения система формирует спецификацию и обоснование, которые передаются в снабжение и экономическую службу.

Таблица 2.

Сравнение процессов «AS IS» и «TO BE»

Показатель	«AS IS»	«TO BE»	Результат
Подбор конфигурации	2–4 часа	8–15 секунд	Сокращение в сотни раз
Полный цикл	14–35 дней	7–14 дней	Сокращение в 2–2,5 раза
Трудоёмкость	18–25 ч	4–6 ч	Сокращение примерно в 4 раза
Проверка совместимости	Ручная	Автоматизированная	Снижение риска ошибок
Учёт стандартов предприятия	Неполный	Встроенные правила	Единообразие решений

Архитектура экспертной системы

Разработанная система «ПК-Эксперт» построена как локальное клиент-серверное веб-приложение. Выбор веб-архитектуры обусловлен тем, что в процессе участвуют сотрудники нескольких подразделений, которым требуется единый интерфейс без установки программы на каждое рабочее

место. Размещение в корпоративной сети обеспечивает централизованное обновление базы знаний и упрощает сопровождение. Вся обработка данных выполняется на сервере предприятия, что снижает зависимость от внешних облачных сервисов.

Функциональная архитектура включает модуль сбора данных, хранилище каталога и правил, сервер приложений, модуль локальной языковой модели, пользовательский интерфейс и подсистему формирования документов. Модуль сбора данных получает сведения о товарах, цене, наличии и технических характеристиках. Для автоматизации браузера используется WebDriver, который управляет браузером программно [11]. Полученные данные нормализуются по категориям: процессоры, материнские платы, оперативная память, видеокарты, накопители, системы охлаждения, блоки питания и корпуса.

Backend реализует REST-интерфейс для получения рекомендаций и формирования объяснений. Фреймворк Flask выбран за компактность и достаточную функциональность для небольшого корпоративного приложения. Документация Flask описывает приложение как WSGI-компонент, который регистрирует маршруты, обрабатывает запросы и возвращает HTTP-ответы [8]. В прототипе предусмотрены конечные точки `/api/recommend` и `/api/explain`. Первая принимает параметры задачи и возвращает структурированный список конфигураций, вторая формирует подробное обоснование и документ Word.

Для генерации объяснения применяется модель Qwen2.5:7b, развёрнутая локально через Ollama. Серия Qwen2.5 ориентирована на обработку структурированных данных и выполнение инструкций [7]. Ollama предоставляет локальный HTTP API для взаимодействия с моделями [9]. В системе языковая модель получает только уже отобранные сведения и шаблон задания: она должна объяснить назначение каждого компонента, соответствие бюджету и компромиссы выбранного варианта. Структурированный JSON-ответ проходит синтаксическую проверку стандартным модулем Python [10].



Рисунок 1. Функциональная архитектура экспертной системы «ПК-Эксперт»

Алгоритм формирования рекомендаций

Алгоритм начинается с валидации входных данных. Бюджет должен быть положительным числом, назначение рабочего места выбирается из справочника, а специальные ограничения задаются флагами. Типовые профили включают офисное рабочее место, рабочую станцию для САПР, графическую станцию и универсальный компьютер. Для каждого профиля устанавливаются минимальные значения по числу ядер, объёму оперативной памяти, типу накопителя и видеоподсистеме.

На втором этапе каталог фильтруется по наличию, допустимой цене и обязательным корпоративным условиям. Затем формируются связки «процессор — материнская плата — память». Для каждой связки проверяются сокет, поддерживаемое поколение процессоров, тип памяти, максимальный объём и частота. Далее добавляются видеокарта, накопитель, блок питания, охлаждение и корпус. Мощность блока питания должна превышать оценочное потребление системы с резервом, а физические размеры компонентов — соответствовать корпусу.

После построения множества допустимых конфигураций показатели переводятся в нормированную шкалу. Производительность оценивается относительно требований профиля, экономическая составляющая —

относительно бюджета и стоимости владения, организационная — по степени соответствия стандартной платформе предприятия, эксплуатационная — по гарантии и ремонтпригодности. Итоговый балл рассчитывается по формуле (1). Система сохраняет три варианта: минимальный по стоимости, сбалансированный и производительный. Такое представление позволяет пользователю видеть альтернативы, а не получать единственный непрозрачный ответ.

После ранжирования backend формирует компактный контекст для языковой модели. В контекст включаются требования, состав трёх выбранных конфигураций, итоговая стоимость и ключевые показатели. Модель не получает право заменять компоненты произвольно; её задача ограничена объяснением и выявлением очевидных несоответствий в текстовом описании. При ошибке генерации пользователю всё равно доступна детерминированная спецификация. Этот принцип повышает отказоустойчивость и соответствует требованию объяснимости экспертной системы.

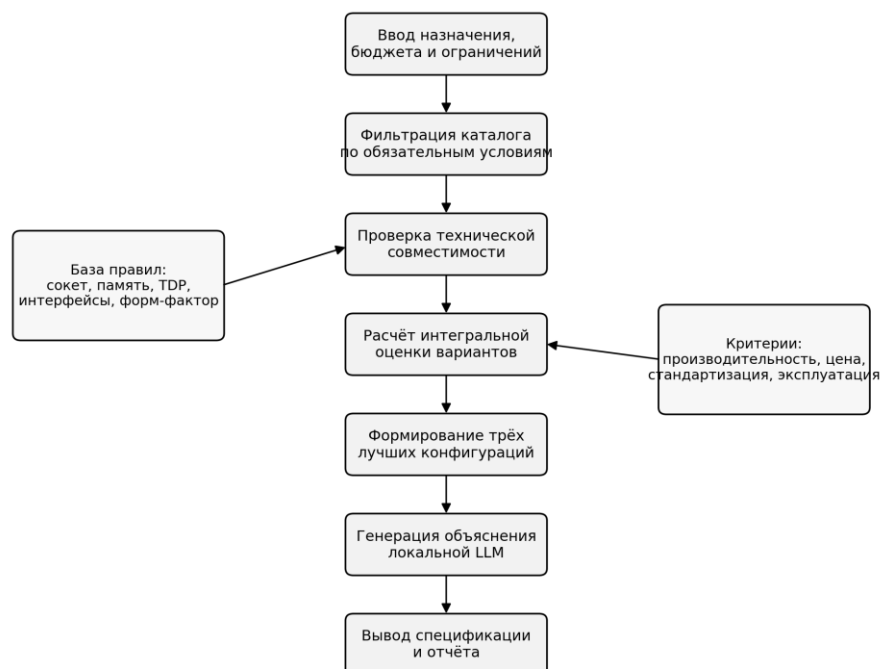


Рисунок 2. Алгоритм формирования рекомендаций

Программная реализация и интерфейс пользователя

Прототип реализован на языке Python. Серверная часть отвечает за загрузку актуального файла каталога, предварительную обработку данных, проверку параметров запроса, обращение к локальной модели и формирование документов. Использование Python обусловлено наличием библиотек для обработки таблиц, автоматизации браузера, работы с HTTP и генерации файлов Word. Формат обмена между frontend и backend — JSON, что делает интерфейс независимым от конкретной реализации пользовательской части.

Пользовательский интерфейс выполнен как одностраничное веб-приложение на HTML5, Tailwind CSS и JavaScript. Главная форма содержит три основных параметра: назначение ПК, бюджет и уровень приоритета импортозамещения. После отправки запроса отображается индикатор выполнения, затем — карточки трёх рекомендуемых конфигураций. В каждой карточке указываются состав, итоговая стоимость и краткое пояснение. Пользователь может запросить расширенное обоснование или перейти к перечню товаров.

С точки зрения удобства интерфейс минимизирует количество обязательных полей. Это важно, поскольку руководитель подразделения обычно может сформулировать назначение и бюджет, но не обязан знать технические характеристики. Дополнительные параметры доступны инженеру ИТ-службы. Подсказки и сообщения об ошибках формулируются на русском языке. Для предотвращения некорректных действий бюджет проверяется на клиенте и сервере, а ответы API обрабатываются с учётом возможных ошибок сети или модели.

При запуске приложения backend выбирает наиболее свежий файл каталога и загружает данные в память. Такой подход обеспечивает быстрый ответ при небольшом объёме базы. На момент прототипирования база содержит не менее 190 позиций по основным категориям. При росте каталога потребуется индексирование и переход к СУБД. В промышленной версии

также необходимы аутентификация, журналирование действий, разграничение ролей и резервное копирование.

Таблица 3.

Технологический стек системы		
Уровень	Технология	Назначение
Сбор данных	Python, Selenium, BeautifulSoup	Получение и нормализация сведений о товарах
Хранение	Excel в прототипе	Каталог компонентов и промежуточные данные
Backend	Python, Flask	REST API и серверная логика
ИИ-модуль	Ollama, Qwen2.5:7b	Локальное объяснение рекомендаций
Frontend	HTML5, Tailwind CSS, JavaScript	Веб-интерфейс пользователя
Документы	python-docx	Формирование спецификаций .docx

Результаты апробации

Апробация прототипа проводилась на типовых запросах для офисных и инженерных рабочих мест. Входные данные различались по бюджету, назначению и уровню организационных ограничений. Во всех случаях система формировала до трёх альтернатив с указанием состава и стоимости. Средняя продолжительность ответа определялась скоростью локальной языковой модели и находилась в диапазоне 8–15 секунд. Если языковая модель была недоступна, сервер сохранял возможность вывести базовую спецификацию без расширенного объяснения.

Сравнение с ручным процессом показывает, что наибольший эффект достигается не только за счёт ускорения вычисления. Система повторно использует единые профили, фиксирует логику выбора и снижает количество итераций между ИТ-службой и подразделением-заказчиком. Наличие нескольких вариантов облегчает обсуждение бюджета: вместо полной переработки специалист выбирает экономичный или производительный профиль. Формирование документа устраняет ручной перенос данных в спецификацию.

Оценка экономической эффективности

Экономический эффект определяется сокращением затрат рабочего времени на подбор и подготовку спецификаций. В расчёте принято 140 конфигураций в год, средняя продолжительность ручного подбора — 3 часа, стоимость часа ИТ-специалиста с начислениями — 2500 руб. Годовые затраты базового процесса составляют 1 050 000 руб. Эксплуатационные затраты автоматизированного варианта, включающие обновление каталога, сопровождение и контроль, оценены в 80 000 руб. Годовая экономия составляет 970 000 руб.

Капитальные затраты на проектирование, технические средства, настройку программного обеспечения, формирование базы знаний, обучение и опытную эксплуатацию составляют 353 000 руб. Простой срок окупаемости определяется отношением капитальных затрат к годовой экономии и равен 0,36 года, или около 4,4 месяца. Для долгосрочной оценки применён метод дисконтированных денежных потоков в соответствии с методическими рекомендациями по оценке инвестиционных проектов [12].

Чистая приведённая стоимость проекта рассчитывается по формуле:

$$NPV = -K + \sum_{t=1}^5 \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (2)$$

где K — капитальные затраты; CF_t — чистый денежный поток в году t ; r — ставка дисконтирования. При $K = 353\,000$ руб., $CF_t = 970\,000$ руб. и $r = 12\%$ значение NPV за пять лет составляет 3 143 633 руб. Внутренняя норма доходности равна приблизительно 274,4 %, что существенно выше принятой ставки дисконтирования. Даже при уменьшении расчётной экономии в два раза проект сохраняет положительное значение NPV и окупается в течение первого года эксплуатации.

Таблица 4.**Показатели экономической эффективности проекта**

Показатель	Значение
Капитальные затраты	353 000 руб.
Годовая экономия	970 000 руб.
Простой срок окупаемости	0,36 года (4,4 месяца)
NPV за 5 лет при 12 %	3 143 633 руб.
IRR	274,4 %

Полученные значения следует интерпретировать как оценку экономического потенциала проекта. Фактический результат зависит от количества заявок, стоимости рабочего времени, частоты изменения каталога и объёма сопровождения. В расчёт не включены косвенные эффекты: снижение вероятности закупки несовместимых компонентов, сокращение простоев, стандартизация парка и повышение прозрачности решений. Поэтому консервативная оценка только по трудовым затратам не завышает ожидаемый эффект.

Ограничения и направления развития

Одним из ограничений является использование Excel как хранилища. Этот вариант удобен при разработке и проверке базы, однако не обеспечивает полноценной многопользовательской работы, транзакций и истории изменений. Переход к реляционной базе позволит разделить сущности компонентов, характеристик, поставщиков, правил и конфигураций. Версионирование базы знаний необходимо для объяснения того, какие правила действовали в момент формирования рекомендации.

Дальнейшее развитие системы включает интеграцию с 1С:Предприятие, добавление ролевой модели, журналирование решений, сохранение типовых профилей, механизм обратной связи и аналитические отчёты. На основе накопленных данных можно корректировать веса критериев и оценивать фактическую надёжность компонентов. При достаточном объёме истории возможно применение машинного обучения для прогнозирования отказов и совокупной стоимости владения, однако такие модели должны дополнять, а не заменять прозрачные экспертные правила.

Заключение

В результате исследования разработан подход к автоматизации подбора комплектующих персонального компьютера для корпоративной ИТ-инфраструктуры. Предлагаемая система сочетает базу технических правил, многокритериальное ранжирование и локальную большую языковую модель. Такое сочетание обеспечивает техническую контролируемость решения и понятное пользователю объяснение.

Проведённый анализ показал, что переход от ручного процесса «AS IS» к модели «TO BE» сокращает непосредственное время подбора с двух–четырёх часов до 8–15 секунд, уменьшает трудоёмкость подготовки и согласования спецификаций и создаёт условия для стандартизации парка техники. Локальная клиент-серверная архитектура на Python, Flask и Ollama позволяет развернуть систему внутри корпоративной сети без передачи данных во внешние сервисы.

Расчёт экономической эффективности подтверждает целесообразность проекта: при капитальных затратах 353 тыс. руб. годовая экономия оценивается в 970 тыс. руб., срок окупаемости составляет около 4,4 месяца, NPV за пять лет — 3,14 млн руб. Полученные результаты позволяют рекомендовать поэтапное внедрение системы в качестве инструмента поддержки решений ИТ-службы с последующей интеграцией в корпоративный закупочный контур.

Использованные источники

1. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем : учебник / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. — Санкт-Петербург : Питер, 2000. — 384 с.
2. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг ; пер. с англ. — 2-е изд. — Москва : Вильямс, 2007. — 1408 с.
3. McDermott, J. R1: A Rule-Based Configurer of Computer Systems / J. McDermott // Artificial Intelligence. — 1982. — Vol. 19, no. 1. — P. 39–88. — DOI 10.1016/0004-3702(82)90021-2.

4. Saaty, T. L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation / T. L. Saaty. — New York : McGraw-Hill, 1980. — 287 p.
5. ГОСТ 34.201-2020. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем. — Введ. 2022-01-01. — Москва : Стандартинформ, 2021.
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Модели качества систем и программных продуктов. — Введ. 2016-06-01. — Москва : Стандартинформ, 2015.
7. Qwen2.5 Technical Report / An Yang, Baosong Yang, Beichen Zhang [et al.] // arXiv. — 2025. — arXiv:2412.15115. — DOI 10.48550/arXiv.2412.15115.
8. Flask Documentation: Application Structure and Lifecycle [Электронный ресурс]. — URL: <https://flask.palletsprojects.com/en/stable/lifecycle/> (дата обращения: 16.07.2026).
9. Ollama API Documentation: Introduction [Электронный ресурс]. — URL: <https://docs.ollama.com/api/introduction> (дата обращения: 16.07.2026).
10. Python 3 Documentation: JSON Encoder and Decoder [Электронный ресурс]. — URL: <https://docs.python.org/3/library/json.html> (дата обращения: 16.07.2026).
11. Selenium Documentation: WebDriver [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.selenium.dev/documentation/webdriver/> (дата обращения: 16.07.2026).
12. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов : официальное издание. — 2-я ред. — Москва : Экономика, 2000. — 421 с.