

УДК 621.3.049.7:004.41
DOI 10.17513/snt.40459

СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СТЕНДА ПРОВЕДЕНИЯ ФОРСИРОВАННЫХ ИСПЫТАНИЙ БЛОКОВ ПИТАНИЯ

¹Железняков Р.А., ¹Хачатрян А.А., ^{1,2}Берберова М.А., ¹Курнасов Е.В.

¹ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»,
Москва, e-mail: ro517zh@gmail.com;

²АНО «Научно-исследовательский центр физико-технической информатики»,
Нижний Новгород

Программное обеспечение, способное управлять стендом форсированных испытаний блоков питания, зачастую предприятия создают самостоятельно. В связи с этим важно выделить те аспекты, которые являются ключевыми. Целью данной работы в первую очередь является разработка программного обеспечения при форсированных испытаниях блоков питания. В связи с этим были выявлены детали, на основе которых будут выстраиваться требования к функциональным аспектам стенда форсированных испытаний, его аппаратному устройству, а также функциональные требования. Исследуемая тема относится к разработке программного обеспечения в условиях непрерывного производства. В результате анализа «узких мест» при проведении испытаний обращается внимание на возможные нарушения в работе испытываемых устройств, которые должны будут выявляться при форсированных испытаниях, а также определяются способы их проведения. Это позволит создать систему, обеспечивающую высокую точность измерений, надежность и автоматизацию процесса испытаний. На основе анализа существующих решений формируются требования к программному обеспечению. В данные требования должен быть включен интерфейс пользователя, поддержка различных режимов тестирования, сбор и обработка данных. Для создания программного обеспечения использован язык C#, сама программа написана с помощью Windows Presentation Foundation. Предлагаемое решение направлено на повышение эффективности форсированных испытаний, минимизацию ошибок, связанных с человеческим фактором, а также улучшение качества анализа испытаний.

Ключевые слова: блок питания, линейный, форсированные испытания, программное обеспечение, C#, реляционная база данных

CREATION OF SOFTWARE FOR A STAND FOR CONDUCTING FORCED TESTS OF POWER SUPPLIES

¹Zheleznyakov R.A., ¹Khachatryan A.A., ^{1,2}Berberova M.A., ¹Kurnasov E.V.

¹MIREA – Russian Technological University, Moscow, e-mail: ro517zh@gmail.com;

²Scientific Research Center of Physical and Technical Informatics, Nizhny Novgorod

Software capable of controlling a forced testing bench for power supplies is often created by enterprises independently. In this regard, it is important to highlight those aspects that are key. The purpose of this work is to identify these details, on the basis of which the requirements for the functional aspects of the forced testing bench, its hardware device, as well as the functional requirements for the software will be built. The topic under study relates to the development of software in continuous production. As a result of the analysis of “bottlenecks” during testing, attention is drawn to possible malfunctions in the operation of the devices under test, which must be identified during forced testing, and methods for their implementation are determined. This will create a system that ensures high measurement accuracy, reliability and automation of the testing process. Based on the analysis of existing solutions, software requirements are formed. These requirements should include a user interface, support for various testing modes, data collection and processing. The C# language was used to create the software, the program itself was written using Windows Presentation Foundation. The proposed solution is aimed at increasing the efficiency of forced testing, minimizing human errors, and improving the quality of test analysis.

Keywords: power supply, linear, forced testing, software, c#, relational database

Введение

Блок питания (БП) – устройство, формирующее выходное напряжение, необходимое подключенному потребителю [1]. Поскольку БП используются в различных сферах, то список конечных потребителей обширен. В перечень сфер использования БП входит бытовая техника, промышленное оборудование, мобильные устройства, медицинское оборудование и др. Каждый тип

потребителя предъявляет свои требования к характеристикам БП, которые различаются мощностью, выходным напряжением, током и размерами устройства. В связи с обширной областью применения данного источника питания проведение форсированных испытаний является важным этапом для обеспечения надежности и безопасности их эксплуатации. Форсированные испытания позволяют выявить возможные

недостатки в конструкции, оценить устойчивость устройства к перегрузкам, температурным изменениям и внешним помехам, а также определить срок службы в реальных условиях эксплуатации. По возрастанию частоты выхода из строя элементы БП распределяются следующим образом: транзистор, резистор, реле, конденсатор [2].

Созданием программного обеспечения (ПО) занимаются компании, специализирующиеся на данной тематике. Создаются автоматизированные стенды для измерений параметров источников питания с универсальными интерфейсами и сценариями тестирования [3; 4]. Высокие показатели достигаются за счет использования специализированного ПО, использования широкого спектра интерфейсов, учета разнообразия задач пользователей и других аспектов, влияющих на стабильность систем. В таких комплексах есть свои недостатки, главным из которых является высокая техническая сложность. В связи с этим производители прибегают к ручным методам тестирования. Данный способ отличается тем, что операторы сами управляют параметрами и фиксируют результаты. Это приводит к частым ошибкам, связанным с человеческим фактором, длительному сбору данных и другим трудностям. В связи с этим производители приходят к необходимости создания своих решений. Они позволяют настроить управление оборудованием и обработку данных с высокой степенью свободы. Данный подход отличается высокими временными и трудовыми затратами, отсутствием стандартизации и унифицированного подхода.

Цель исследования – разработка программного обеспечения для форсированных испытаний блоков питания.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на базе испытательного стенда для БП, предоставленного компанией ОВЕН. ПО разрабатывалось на языке C# с применением платформы .NET и графического интерфейса WPF для обеспечения взаимодействия оператора с оборудованием [5; 6]. Связь между ПО и аппаратной частью стенда реализована через интерфейс RS-485, обеспечивающий чтение и запись регистров для управления процессом [7].

Среди методов проведения испытаний выделяются следующие: подготовка БП; выбор режимов тестирования [8; 9]; подача напряжения, превышающего установленную норму, при повышенной температуре в испытательной ячейке; формирование отчета.

Результаты исследования и их обсуждение

Для создания ПО, позволяющего проводить форсированные испытания с помощью стенда, необходимо рассмотреть основные этапы испытаний. Сперва оператору необходимо подготовить БП к испытанию. Оператор подключает БП к испытательному стенду, определяя идентификационный номер устройства. Введя БП в ПО, оператор должен увидеть, какими техническими характеристиками обладает источник питания. Далее необходимо выбрать режимы тестирования. В зависимости от целей работы типы испытаний могут отличаться. Отличительной особенностью проведения форсированных испытаний являются критические условия, при которых проводится тестирование. Изменение температурных условий – один из тех способов, которые напрямую влияют на физические процессы внутри БП. Под воздействием повышенной температуры внутри испытательной секции на исследуемый БП подается напряжение, параметры которого затем измеряются и анализируются на выходе устройства. Этот процесс позволяет оценить стабильность работы БП в условиях термического воздействия, а также выявить возможные отклонения от заданных характеристик. Проведение испытаний помогает выполнить проверку на наличие типичных неисправностей, которые могут проявляться в процессе эксплуатации БП. К таким неисправностям относятся, например, отсутствие выходного напряжения, пульсации и выходные напряжения, отклоняющиеся от стандартных значений в разных режимах работы, низкий коэффициент полезного действия (КПД) и другие виды дефектов. При проведении тестирований на проверку показателей БП в режиме холостого хода особое внимание уделяется напряжению холостого хода, которое должно оставаться в пределах, установленных нормами, даже при изменении температурных условий. Такого же принципа необходимо придерживаться при проведении других видов испытаний, проверяющих работоспособность источника питания под воздействием пульсаций, при коротком замыкании и других возможных происшествиях.

К испытательному стенду также предъявляется ряд требований, которым он должен соответствовать для проведения форсированных испытаний. Важно не только правильно считывать выходные данные, но и верно настроить подачу входных напряжений и их точное отображение оператору. В быту превышение входного напряжения

на 10 В грозит повреждением источника питания, снижением ресурса или его выходом из строя [10]. Кроме того, недооценка отклонений может привести к непрогнозируемым последствиям при эксплуатации, особенно в критически важных системах. Высокая же точность измерений позволяет выявлять такие проблемы. Так же важно обеспечить достаточно широкий диапазон измерений, позволяющий рассмотреть возможные условия эксплуатации различных типов БП. Использование интерфейсов общения между стендом и ЭВМ, на котором будет запущена программа, также является важным аспектом. Выбор интерфейса связи (например, USB, Ethernet, RS-485 или Wi-Fi) должен быть основан на требованиях к надежности, пропускной способности и удобству эксплуатации. Помимо программного управления проведением испытаний важно установить необходимые для этого кнопки и индикаторы на стенд. В случае программного сбоя наличие кнопки позволяет оператору самостоятельно прервать проведение испытания [11].

После анализа этапов проведения испытаний и выявления требований к стенду можно сформулировать функциональные требования к ПО для управления процессом испытания. С помощью пользовательского интерфейса оператор должен выбрать типы испытаний, время проведения тестов, входные параметры и другие данные, влияющие на проведение испытания БП. В ответ оператор должен получить информацию в доступном виде. Автоматическое формирование отчетов, содержащее результаты испытаний и зафиксированные отклонения, является хорошей практикой, помогающей специалистам в работе.

При разработке ПО для стенда испытаний БП важно выбрать соответствующие технологии, которые будут играть ключевую роль в функционировании системы. Язык программирования C# отличается высокой производительностью и удобством разработки. Благодаря платформе .NET представляется возможным наладить общение между устройствами, подключенным через COM-порт. Для хранения и обработки данных могут использоваться реляционные базы данных, поскольку «реляционные системы используют структуры (таблицы) для хранения и работы с данными. Каждый столбец (атрибут) содержит свой тип информации. Каждая запись в базе данных с уникальным ключом переносится в строку таблицы, а ее атрибуты отображаются в столбцах таблицы» [12, с. 8].

Выбор архитектуры ПО зависит от требований к системе, способов взаимодействия компонентов и от дальнейшей мас-

штабируемости системы. В зависимости от предполагаемой нагрузки модель взаимодействия компонентов может быть монолитной, клиент-серверной или микросервисной. Главной особенностью монолитного типа является объединение всех компонентов в одном приложении. В связи с этим данную архитектуру проще разработать, протестировать и обеспечить высокую производительность. При этом у монолитной архитектуры есть следующие недостатки: сложность масштабирования, зависимость компонентов и ограниченная гибкость [13]. Однако даже в монолитной архитектуре возможно четкое разделение представлений, бизнес-логики и обработки данных. Это упрощает дальнейшее расширение функциональности стенда. Согласно Роберту Мартину: «Принципы SOLID определяют, как объединить функции и структуры данных в классы и как эти классы должны сочетаться друг с другом... Цель принципов – создать программные структуры среднего уровня, которые терпимы к изменениям; просты и понятны; образуют основу для компонентов, которые могут использоваться во многих программных системах» [14, с. 75].

За связь с оборудованием стенда отвечает модуль взаимодействия. Он реализуется с помощью библиотек, драйверов и используемых интерфейсов связи. В зависимости от того, какой тип интерфейса используется для связи с аппаратной частью, ПО должно уметь обрабатывать соответствующие сигналы. Самым ярким примером является шина типа RS-485. Она широко используется в промышленной автоматизации, благодаря помехоустойчивости и возможности подключения сразу нескольких устройств. Modbus RTU – один из стандартных протоколов, позволяющий унифицировать взаимодействие с оборудованием. Этот протокол позволяет выполнять операции чтения и записи данных в эти регистры.

Следующим важным элементом является создание архитектуры приложения, а именно архитектуры взаимодействия модулей сбора, обработки и хранения данных. Соблюдая принципы SOLID, был создан класс-интерфейс ITest. В этом классе изначально реализован абстрактный метод Run, позволяющий запустить любой тест. Этот класс помогает реализовать паттерн «Стратегия», что позволяет, в зависимости от введенных параметров, запустить любой тест, не прибегая к изменению кода программы. Далее от этого класса происходит наследование несколькими новыми классами: TestHeat, TestCurrent, TestVoltage. Каждый из этих классов оперирует данными, отправляемыми на стенд форсированных испытаний.

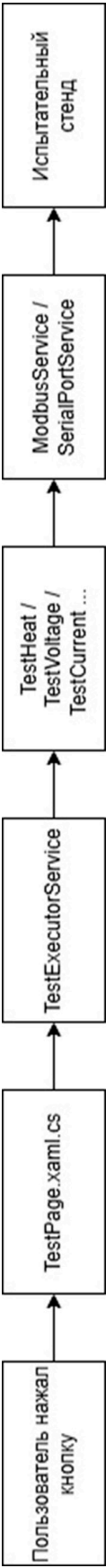


Рис. 1. Этапы вызова элементов архитектуры при запуске теста
Источник: составлено авторами

Таблица 1

Погрешности данных

Параметр	Оборудование	Диапазон	Формула погрешности	Расчет	Абс. погр.	Отн. погр.
Измерение тока	Эл. нагрузка	0–30 А	$\pm(0.03\% \text{изм.} + 0.08\% \text{п.ш})$	$0.0003 \times 10 \text{A} + 0.0008 \times 30 \text{A}$	$\pm 0.027 \text{ A}$	$\pm 0.27\%$
Измерение U _{вых}	Эл. нагрузка	0–150 В	$\pm(0.015\% \text{изм.} + 0.03\% \text{п.ш})$	$0.00015 \times 24 \text{B} + 0.0003 \times 150 \text{B}$	$\pm 0.0486 \text{ B}$	$\pm 0.203\%$
Измерение U _{вх}	Мультиметр	20–480 В	$\pm 0.2\%$	$0.002 \times 220 \text{B}$	$\pm 0.44 \text{ B}$	$\pm 0.2\%$
Измерение I _{вх}	Мультиметр	0.025–6.0 А	$\pm 0.2\%$	$0.002 \times 3 \text{A}^*$	$\pm 0.006 \text{ A}$	$\pm 0.2\%$

Таблица 2

Сравнение характеристик тестирования

Параметр	Ручное тестирование	ПО	Результаты сравнения
Общее время теста 1 БП	40–90 мин	8 мин	Снижение в 8 раз
Частота сбора данных	3–5 замеров	48 замеров	Увеличение в 12 раз
Точность измерений	$\pm 2–5\%$	$\pm 0,5\%$	Увеличение в 5 раз

Источник: составлено авторами.


```

17:10:39.0784 Uвх=90,540В (86,400-93,600В) НОРМА
17:10:39.1084 Iвх=3,0147А (max 4,0000А) НОРМА
17:10:39.1384 Pакт=272,4677Вт
17:10:39.1584 S=272,9254ВА
17:10:39.1784 PF=0,9983
17:10:39.1984 КПД =88,2204%
17:10:39.2284 Температура ячейки=59,3°C (57,0-63,0°C) НОРМА
17:10:39.2584 Uвых=24,037В (23,040-24,960В) НОРМА
17:10:39.2884 Iвых=10,0001А (max 10,0000А) НОРМА
17:10:44.6284 === Зашли в CurentProtThroughR =====
17:10:44.6484 MDV 16
17:10:44.9984 защита 0---> :90,643 ток:3,0086 P:272,207 S:272,6812 Сс
17:10:45.6684 защита 1---> :90,764 ток:3,00188 P:271,9641 S:272,4354
17:10:46.3284 защита 2---> :90,764 ток:3,00188 P:271,9641 S:272,4354
17:10:46.9984 защита 3---> :91,307 ток:1,80029 P:151,678 S:164,3626 С
17:10:47.6884 защита 4---> :91,307 ток:1,80029 P:151,678 S:164,3626 С
17:10:48.3484 защита 5---> :91,256 ток:1,52943 P:138,2042 S:139,5557
17:10:49.0084 защита 6---> :91,609 ток:1,50936 P:137,7805 S:138,2571
17:10:49.6684 защита 7---> :91,166 ток:1,5191 P:137,9932 S:138,4764 С
17:10:50.4684 400 CoilData.getfunc = 0; error = 0; перевод в режим -
17:10:50.4884 защита огр.тока напр:91,166 ток:1,5191 P:137,9932 S:138
17:10:50.6684 *****Измерение в режиме Защиты
17:10:50.7184 Uвхзаш=91,166В (86,400-93,600В) НОРМА
17:10:50.7484 Iвхзаш=1,5191А (max 4,0000А) НОРМА
17:10:50.7784 Pактзаш=137,9932Вт
17:10:50.7984 Sзаш=138,4764ВА
17:10:50.8184 PF заш=0,9965
17:10:50.8384 КПД заш=82,1663%

```

Рис. 2. Фрагмент работы системы
Источник: составлено авторами

После испытания источника питания необходимо зафиксировать получившиеся результаты в виде отчета. Использование баз данных позволяет хранить данные о прохождении испытаний, результатах тестов и другие данные.

Для того чтобы ПО и стенд коммуницировали друг с другом, необходимо реализовать модуль интеграции с аппаратной частью стенда. Основной особенностью данного модуля является обмен управляющими командами между ЭВМ и стендом форсированных испытаний, получение результатов измеренных данных. Для этих целей были созданы два файла: SerialPort и ModbusService. Эти файлы содержат классы для открытия портов с целью передачи данных в виде последовательности сигналов. Первый файл помогает обратиться к системе, на которой установлено ПО, а второй реализует отправку по протоколу ModBus. Схема взаимодействия со стендом представлена на рис. 1.

В результате тестирования полученные данные автоматически сохраняются в базу данных с использованием DataAccessObject – DAO [15].

Использование автоматизированной системы многократно ускоряет процесс тестирования, так как ручное тестирование испытуемых устройств может длиться до нескольких часов¹. Автоматизированная система проведения испытаний позволяет выполнять эти действия за 8 мин с частотой измерений 6 раз/мин по отношению к одному БП. При этом программа позволяет параллельно испытывать большее количество устройств, не теряя при этом скорость измерений. На рис. 2 представлен фрагмент записи работы системы с соответствующими измерениями.

Выполнен анализ точности оборудования. Поскольку основными показателями являются измерение входных и выходных данных силы тока и напряжения, то расчет выполнен на основе характеристик оборудования. Расчеты представлены в табл. 1.

На основе полученных данных также вычисляется КПД, значение которого равно $\pm 0.44\%$. Выполним сравнение характери-

¹ Измерение параметров блоков питания // Power-e. ru. Автоматизация измерений параметров блоков питания. 2017. URL: https://power-e.ru/power_supply/izmerenie-blokov/ (дата обращения: 17.06.2025).

стик ручного и автоматизированного тестирования. Ключевыми метриками является время проведения тестов, количество выполняемых измерений и их точность. Данные представлены на табл. 2.

Частота сбора данных составляет 1 замер в 10 секунд. Одновременное выполнение процесса считывания данных между несколькими ячейками достигается за счет асинхронной архитектуры C#, паттерну «Стратегия», который динамический подгружает тестовые сценарии и тем самым сокращает задержки между этапами.

Выводы

В ходе работы были проведены теоретические исследования испытаний БП. Также было реализовано ПО, позволяющее управлять стендом форсированных испытаний БП. В ходе разработки ПО было протестировано на испытательном стенде. Были получены следующие результаты:

1. Рассмотрены основные физические свойства БП. Было выявлено, что при повышении температуры БП происходит ухудшение стабильности устройства. Это приводит к снижению эффективности преобразования входного напряжения. При этом ускоряется старение компонентов и их выход из строя при постоянном нахождении в критических условиях окружения. Но проведение форсированных испытаний позволяет выявить слабые места.

2. Приведены методы, которых необходимо придерживаться для создания ПО. Эти методы основываются на современных принципах разработки, таких как принцип SOLID и модульное проектирование. Они позволяют обеспечить гибкость и надежность ПО.

3. Было разработано ПО для стенда форсированных испытаний с реализацией паттернов проектирования, среди которых ключевой – «Стратегия». Разработка ПО позволила повысить производительность испытательного стенда форсированных испытаний.

Список литературы

1. Ананченко Л.Н., Клименко И.С., Рогов И.Е. Проблема снижения пульсаций напряжения в источниках электропитания // Молодой исследователь Дона. 2023. Т. 8. № 3 (42). С. 5–8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-snizheniya-pulsatsiy-napryazheniya-v-istochnikakh-elektropitaniya> (дата обращения: 01.07.2025).
2. Захаров О.Г. Контрольные испытания блоков питания на надежность // Релейная защита и автоматизация. 2015. № 1 (18). С. 56–61. URL: <http://www.energetik.energy-journals.ru/index.php/EN/article/view/408> (дата обращения: 01.07.2025). EDN: TQOXJD.
3. Гилемханов Т.Ф., Гибадуллин Р.Ф. Автоматизированный стенд для измерения параметров источников электропитания // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 10 (148). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannyi-stend-dlya-izmereniya-parametrov-istochnikov-elektropitaniya> (дата обращения: 02.07.2025).
4. Битюков В.К., Иванов А.А., Миронов А.В. и др. Стенд для исследования характеристик микросхем источников вторичного электропитания с накачкой заряда // Российский технологический журнал. 2016. Т. 4 № 3 (12). С. 37–52. URL: <https://rtj.mirea.ru/upload/medialibrary/864/bitukovwatermark.pdf> (дата обращения: 02.07.2025).
5. Адам Натан. WPF 4. Подробное руководство: монография. М.: Символ–Плюс, 2020. 880 с. (High Tech). ISBN 978-5-93286-196-7.
6. Ликсин С.С., Лукошкин П.А., Шибанов С.В. Сравнительный анализ шаблонов проектирования приложений с пользовательским интерфейсом // Вестник Пензенского государственного университета. 2021. № 4 (36). С. 79–85. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-shablonov-proektirovaniya-prilozheniy-s-polzovatel'skim-interfeysom> (дата обращения: 02.07.2025).
7. Сорокин В.А., Бакаев А.А. Организация передачи данных по протоколу Modbus RTU // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы: материалы XII Всероссийской научно-технической конференции (Оренбург, 28–30 октября 2021 г.). Оренбург: Изд-во ОГУ, 2021. С. 136–139.
8. РД 50-424-83. Надежность в технике. Ускоренные испытания. Основные положения: руководящий нормативный документ: изд. офиц.: утв. и введ. в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 10 окт. 1983 г. № 4903: введен впервые: дата введ. 1985-01-01 / разработ. Государственным комитетом СССР по стандартам. М.: Издательство стандартов, 1985. 12 с.
9. Ромашенко М.А., Гудков А.В. Современные подходы к диагностике и ремонту маломощных импульсных источников питания // Вестник ВГТУ. 2021. № 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-podhody-k-dagnostike-i-remontu-malomoschnyh-impul'snyh-istochnikov-pitaniya> (дата обращения: 02.07.2025).
10. Белов В.В., Ханнин Г.И. Результаты исследования влияния величины напряжения питания на срок службы электроприемников // E-Scio. 2019. № 6 (33). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-issledovaniya-vliyaniya-velichiny-napryazheniya-pitaniya-na-srok-sluzhby-elektropriemnikov> (дата обращения: 03.07.2025).
11. ГОСТ Р МЭК 60204-1-2007. Безопасность машин. Электрическое оборудование машин. Ч. 1. Общее требование: нац. стандарт Российской Федерации: изд. офиц.: утв. и введ. в действие Приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 27 дек. 2007 №499-ст: введ. взамен ГОСТ 60204-1-99: дата введ. 01.07.2008 / разработ. ОАО «ЭНИМС». М.: Стандартинформ, 2007. 62 с.
12. Alekseev K. Relational database problems // Кибернетика и программирование. 2020. № 2. С. 7–18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/relational-database-problems> (дата обращения: 30.04.2025). DOI: 10.25136/2644-5522.2020.2.34076.
13. Бежик А.А., Мажей Я.В. Сравнительный анализ микросервисной и монолитной архитектуры // Столыпинский вестник. 2022. № 9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-mikro-servisnoy-i-monolitnoy-arhitektury> (дата обращения: 02.07.2025).
14. Мартин Р.С. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения / Пер. с англ. СПб.: Питер, 2024. 352 с. ISBN 978-5-4461-0772-8.
15. Jánki Z.R., Bilicki V. The Impact of the Web Data Access Object (WebDAO) Design Pattern on Productivity // Computers. 2023. Vol. 12, Is. 8. P. 149. URL: <https://www.mdpi.com/2073-431X/12/8/149> (дата обращения: 05.06.2025). DOI: 10.3390/computers12080149.