

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ № 5

SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES 2025

Журнал «Научное обозрение. Технические науки» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-57440 выдано 27.03.2014.
ISSN 2500-0799

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,494
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,260

Учредитель, издатель и редакция:
ООО НИЦ «Академия Естествознания»,

Почтовый адрес: 101000, г. Москва, а/я 47
Адрес учредителя, издателя: 410056, г. Саратов,
ул. им. Чапаева В.И., д. 56
Адрес редакции: 410035, г. Саратов,
ул. Мамонтовой, д. 5

Founder, publisher and edition:
LLC SPC Academy of Natural History,

Post address: 101000, Moscow, p.o. box 47
Founder's, publisher's address: 410056, Saratov,
56 Chapaev V.I. str.
Editorial address: 410035, Saratov,
5 Mamontovoi str.

Подписано в печать 30.12.2025
Дата выхода номера 30.01.2026
Формат 60×90 1/8

Типография
ООО НИЦ «Академия Естествознания»,
410035, г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5

Signed in print 30.12.2025
Release date 30.01.2026
Format 60×90 8.1

Typography
LLC SPC «Academy Of Natural History»
410035, Saratov, 5 Mamontovoi str.

Технический редактор Доронкина Е.Н.
Корректор Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.

Распространяется по свободной цене
Тираж 100 экз. Заказ № 2025/5
© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

Журнал «НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ» выходил с 1894 по 1903 год в издательстве П.П. Сойкина. Главным редактором журнала был Михаил Михайлович Филиппов. В журнале публиковались работы Ленина, Плеханова, Циолковского, Менделеева, Бехтерева, Лесгафта и др.

Journal «Scientific Review» published from 1894 to 1903. P.P. Soykin was the publisher. Mikhail Filippov was the Editor in Chief. The journal published works of Lenin, Plekhanov, Tsiolkovsky, Mendeleev, Bekhterev, Lesgaft etc.



М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

С 2014 года издание журнала возобновлено
Академией Естествознания

From 2014 edition of the journal resumed
by Academy of Natural History

Главный редактор: М.Ю. Ледванов
Editor in Chief: M.Yu. Ledvanov

Редакционная коллегия (Editorial Board)
Н.Ю. Стукова (N.Yu. Stukova)
М.Н. Бизенкова (M.N. Bizenkova)
Н.Е. Старчикова (N.E. Starchikova)
Т.В. Шнуровозова (T.V. Shnurovozova)

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2025 г.



*В журнале представлены научные обзоры,
статьи проблемного
и научно-практического характера*

*The issue contains scientific reviews,
problem and practical scientific articles*

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки

СТАТЬИ

ПОСТРОЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ИЗДЕЛИЯ
ДЛЯ АНАЛИЗА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ

Акинфиев Д.К. 5

ИНТЕРФЕЙС ДИСПЛЕЯ ДЛЯ УЧЕБНОГО СТЕНДА НА ОСНОВЕ
ПРОГРАММИРУЕМОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Болдырев А.В. 12

ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ QR-РАЗЛОЖЕНИЯ В ИНФОРМАЦИОННО-
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ NOMOTEX

Зубарев К.М., Киреева Е.А., Дерябина Г.С., Милехина Е.Н., Волков В.Ю. 19

ПРИМЕНЕНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ
(LARGE LANGUAGE MODELS) В МЕТОДОЛОГИИ DEVOPS

Лелейкин С.С. 25

РУССКИЕ ШПУНТОВЫЕ СТЕНЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ И РАБОТ НУЛЕВОГО ЦИКЛА
НА АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Субботин А.С., Табаев И.М., Филина М.Е., Тарнушкина В.В. 33

CONTENTS

Technical sciences

ARTICLES

DESIGNING A LOGISTIC STRUCTURE FOR THE LOGISTIC SUPPORT ANALYSIS

Akinfiev D.K. 5

DISPLAY INTERFACE FOR TRAINING STAND BASED ON A PROGRAMMABLE LOGIC INTEGRATED CIRCUIT

Boldyrev A.V. 12

STUDYING QR DECOMPOSITION FEATURES IN THE NOMOTEX DIGITAL LEARNING SYSTEM

Zubarev K.M., Kireeva E.A., Deryabina G.S., Milehina E.N., Volkov V.Yu. 19

APPLICATION OF LARGE LANGUAGE MODELS IN DEVOPS METHODOLOGY

Leleykin S.S. 25

RUSSIAN SHEET PILE WALLS FOR HYDRAULIC ENGINEERING AND ZERO-CYCLE WORK AT HIGH-CAPACITY NUCLEAR POWER NUCLEAR POWER PLANTS

Subbotin A.S., Tabaev I.M., Filina M.E., Tarnushkina V.V. 33

СТАТЬИ

УДК 656.13

ПОСТРОЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ

Акинфиев Д.К.

*Общество с ограниченной ответственностью «Иторум»,
Бронницы, Российская Федерация, e-mail: d.akinfiev@itorum.ru*

Анализ логистической поддержки является частью интегрированной логистической поддержки в рамках информационной поддержки изделия. Основной целью интегрированной логистической поддержки является управление жизненным циклом изделий. Процесс анализа логистической поддержки служит инструментом для моделирования систем технической эксплуатации. В данной статье уделяется внимание построению логистической структуры изделия, которая является базовым этапом для последующих работ в рамках анализа логистической поддержки. Целью работы является описание процесса разработки логистической структуры изделия и формирование примера на основе системы рулевого управления автомобиля. В статье описаны методы создания логистической структуры изделия, возможные критерии отбора составных частей изделия и выбора элементов логистической структуры изделия. В качестве исходных данных для разработки примера использовалась эксплуатационная документация автомобилей «Урал», размещенная на официальном сайте производителя. Логистическая структура изделия в общем случае состоит из изделия, его основных функциональных систем и их подсистем, сборочных единиц различного уровня разбissionя, агрегатов и деталей. При этом изделие, сборочные единицы, агрегаты и детали являются физическими объектами, а основные функциональные системы и подсистемы – абстрактными. При отборе элементов логистической структуры использовались: номенклатурный перечень всех компонентов системы рулевого управления автомобиля «Урал C35510 6x4», принципиальная схема рулевого управления и гидравлическая схема гидропривода, перечень работ технического обслуживания и возможных отказов, содержащиеся в эксплуатационной документации на изделие. В результате был получен перечень объектов, подходящих для последующих работ анализа логистической поддержки. Перечень объектов был сформирован в структуру из трех подсистем и двадцати пяти элементов. Материалы статьи могут служить рекомендациями для работ анализа логистической поддержки на этапе разработки логистических структур.

Ключевые слова: интегрированная логистическая поддержка, анализ логистической поддержки, система технической эксплуатации, техническое обслуживание, логистическая структура изделия

DESIGNING A LOGISTIC STRUCTURE FOR THE LOGISTIC SUPPORT ANALYSIS

Akinfiev D.K.

*Limited Liability Company “Itorum”, Bronnitsy, Russian Federation,
e-mail: d.akinfiev@itorum.ru*

Logistic support analysis is a part of integrated logistic support as part of continuous acquisition and life cycle support. The main purpose of integrated logistics support is product lifecycle management. The logistic support analysis process serves as a tool for modeling maintenance systems. This article focuses on designing the logistic structure of the product. This is the basic stage for following work under the logistic support analysis. The purpose of the article is a description of the process of designing the logistic structure of the product and the formation of an example based on the car steering system. The article describes the methods of creating the logistic structure of the product, possible criteria for selecting the components of the product and selecting the elements of the logistic structure of the product. The operational documentation of URAL cars posted on the manufacturer's official website is used as the initial data for the development of the example. The logistic structure of a product generally consists of a product, its main functional systems and their subsystems, assembly units of various separation levels, units and parts. At the same time, the product, assembly units, units, and parts are physical objects, and the main functional systems and subsystems are abstract. When selecting the elements of the logistic structure, the nomenclature list of all components of the steering system of the Ural C35510 6x4 car, the schematic diagram of the steering system and hydraulic diagram of hydraulic drive, the list of maintenance work and possible failures taken from the operational documentation for the product were used. As a result, a list of objects suitable for following logistic support analysis was obtained. The list of objects was formed into a structure of three subsystems and twenty-five elements. The materials of the article can serve as recommendations for the logistic support analysis at the stage of designing of logistic structures.

Keywords: integrated logistics support, logistic support analysis, technical operation system, maintenance, logistic structure

Введение

При эксплуатации изделий техники выполняется трудоемкий и разнообразный комплекс мероприятий, связанный с их техническим обслуживанием, ремонтом и подготовкой к применению по назначению. Одним из основных требований, предъяв-

ляемых к системе технической эксплуатации (СТЭ) изделий, является нахождение нужного соотношения между готовностью изделий выполнять свои функции и затратами на их содержание [1].

Для поиска такого соотношения удобно применять модели СТЭ с различными па-

раметрами. Одним из инструментов такого моделирования является анализ логистической поддержки (АЛП) [2]. АЛП является частью интегрированной логистической поддержки (ИЛП) в рамках информационной поддержки изделия (называемой также CALS-технологиями). Основной целью ИЛП является управление жизненным циклом изделий, а основной целью АЛП – выбор СТЭ для рассматриваемых случаев [3, 4].

При проведении АЛП должны быть получены следующие результаты.

1. База данных АЛП, содержащая:
 - компоненты и функции изделия в виде логистических структур;
 - виды и последствия отказов изделия;
 - сведения о технологии и условиях выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР);
 - сведения о материально-техническом обеспечении (МТО);
 - структура и содержание эксплуатационной документации по ТОиР;
 - сведения об инфраструктуре СТЭ.
2. Значения показателей эксплуатационно-технических характеристик (ЭТХ), таких как:
 - коэффициент технической готовности;
 - коэффициент эксплуатационной готовности;
 - удельные прямые затраты на ТОиР для парка техники;
 - удельные суммарные затраты на ТОиР для парка техники;
 - коэффициент эксплуатационно-экономической эффективности [5, 6].

Процесс АЛП построен вокруг разработки планового технического обслуживания. При этом используются известные методики MSG-3 (Maintenance Steering Group-3) и RCM (Reliability-centered maintenance). Методика MSG-3 существует с 1980 г., ведется Airlines for America (A4A) [7]. Последнее обновление MSG-3 было в 2022 г. История RCM началась в 1978 г. с доклада Стенли Нолана и Говарда Хипа. Доклад также был посвящен разработке программ обслуживания авиатранспорта, однако в дальнейшем RCM получила свое развитие и в других отраслях промышленности, что описано в работе Джона Моубрея «Техническое обслуживание, обеспечивающее надежность» (издана на русском языке в 2018 г.) [8].

Полное описание процесса АЛП представлено в международном стандарте S30001 (последняя версия вышла в 2023 г.), который создан в 2006 г. и ведется международной группой под совместным председательством ASD (Европейская ассоциация аэрокосмической и оборонной промышленности) и AIA (Ассоциация аэрокосмической

промышленности США) [9]. В России развитие процесса АЛП ведется при участии АО НИЦ «Прикладная Логистика». Коллективом этой компании под руководством Е.В. Судова был опубликован ряд трудов на данную тему, в том числе «Анализ логистической поддержки: теория и практика» (издано в 2014 г.) [10].

Процесс АЛП состоит из ряда последовательно проводимых работ. В данной статье уделяется внимание построению логистической структуры изделия. Это один из начальных этапов АЛП, и этот этап является базовым для последующих работ АЛП. На нем определяются составные части (СЧ) изделия, которые будут рассматриваться далее в процессе анализа [11].

Логистическая структура – разновидность электронной структуры изделия, создаваемая в процессе АЛП в двух формах:

- логистическая структура функции (ЛСФ) определяет функциональные требования к изделию и представляет собой иерархическую структуру, при которой функции нижнего порядка влияют на функции верхнего;
- логистическая структура изделия (ЛСИ) определяет перечень систем и компонентов, которые реализуют функции, и представляет собой иерархическую структуру¹, при которой компоненты образуют функциональные группы.

Элементы ЛСИ отбираются в структуру по принципам, подобным изложенным в методиках MSG-3 и RCM [12, 13], и на основе исходных данных, таких как:

- материалы технического проекта и конструкторская документация;
- эксплуатационная документация;
- документация на изделия-аналоги и покупные комплектующие изделия;
- оценка/опрос специалистов, участвующих в разработке и эксплуатации изделия.

АЛП является циклическим, итеративным процессом и может проводиться на всех стадиях жизненного цикла изделия с уточнением результатов предыдущих итераций анализа [14, 15]. Если проводить АЛП на стадии разработки, то для достижения требуемых показателей готовности конструкторский состав изделия в процессе анализа должен быть исследован как можно более полно. Если при проведении АЛП на данном этапе нет возможности однозначно определить необходимость включения какой-либо составной части изделия в ЛСИ, то она рассматривается в процессе анализа до тех пор, пока не будет собрано убедительное количество информации, ко-

¹ ГОСТ Р 53394-2017. Интегрированная логистическая поддержка. Термины и определения.

торое позволит принять обоснованное решение о включении или невключении [16]. А информация об изделии при проведении анализа на стадии разработки может быть неполной или обрывочной.

Для изделия уже разработанного и эксплуатируемого, как правило, существуют различные виды эксплуатационных документов, такие как руководство по эксплуатации, ремонту, каталог изделий и т.п. А также имеется статистика по отказам и другим событиям, случающимся в эксплуатации. Это может, при наличии таких данных, сильно упростить работы на данном этапе АЛП [17].

Цель исследования – описание процесса разработки ЛСИ и формирование примера на основе системы рулевого управления автомобиля.

Материалы и методы исследования

Анализ методов разработки ЛСИ, используемых при проведении АЛП и описанных в соответствующих стандартах и методиках. Разработка примера ЛСИ одной из систем автомобиля. В качестве исходных данных для разработки примера использовалась эксплуатационная документация автомобилей «Урал», размещенная на официальном сайте производителя (<https://shop.uralaz.ru/docs/>).

Результаты исследования и их обсуждение

Логистическая структура изделия является разновидностью электронной структуры изделия и представляет собой иерархическую систему, в которой изделие делится

на основные функциональные системы. Согласно международному стандарту ASD S1000D [18], базовому нормативному документу, на основе которого осуществляется разработка и сопровождение электронной эксплуатационной документации в среде ИЛП [19], для наземной техники основными функциональными системами могут быть:

- агрегат силовой;
- органы управления;
- трансмиссия;
- электрические системы;
- системы вентиляции, обогрева и охлаждения и др.

Системы могут быть разбиты на подсистемы. Функциональная система «Органы управления» может включать в себя:

- ручные органы управления;
- ножные органы управления;
- вспомогательные органы управления.

Пример ЛСИ, включающей элементы верхнего уровня, в основном абстрактные системы, показан на рис. 1.

К ручным органам управления автомобиля относится рулевое управление. Рулевое управление является не абстрактной системой, а конкретной сборочной единицей и включает в себя физические компоненты, такие как агрегаты и детали.

Структура ЛСИ, начиная с уровня, на котором описываются физические компоненты изделия, строится с учетом принадлежности компонентов к системам и подсистемам изделия, входности компонентов друг в друга и их расположения в конструкции изделия (одни и те же компоненты, расположенные в разных местах, могут быть разными элементами ЛСИ по месту установки).



Рис. 1. Элементы ЛСИ верхнего уровня
Примечание: составлен автором по источнику [18]

Необходимо ответить на вопрос о том, какие СЧ изделия из системы рулевого управления должны войти в ЛСИ. Логистическая структура отличается от конструкторского состава тем, что в нее входят не все компоненты изделия, а только используемые для разработки программы ТОиР и последующего моделирования СТЭ. В первую очередь в ЛСИ включаются крупные агрегаты, которые могут сниматься непосредственно с изделия. Разбиение их на составные части в структуре зависит от ремонтопригодности каждого из них или целесообразности ремонта на низких уровнях объектов СТЭ. При выделении составных частей у одного из агрегатов также необходимо понимать, какие СЧ могут быть задействованы в работах ТОиР (например, на основе данных об изделиях аналогах) или же могут отказывать с некоторой частотой [20].

Критериями включения компонентов изделия в ЛСИ могут быть²:

- ограниченный срок службы;
- поставщик рекомендует плановое обслуживание;
- в конструкции используются новые технологии;
- риск устаревания;
- потребность в обслуживании или замене при эксплуатации;
- встроенное ПО, загружаемое пользователем.

Крепежные элементы и стандартные изделия, как правило, не включают в ЛСИ, относя их к СЧ или системам, в которых они используются.

На примере автомобиля «Урал С35510 6x4» была рассмотрена система рулевого управления. При отсутствии данных о статистике отказов использовалась доступная эксплуатационная документация. Согласно каталогу изделия, система рулевого управления автомобиля «Урал С35510 6x4» состоит из 134 разъемных компонентов, включающих в себя сборочные единицы, детали и стандартные изделия. Основными сборочными единицами являются «Установка рулевого управления» и «Установка рулевой колонки».

Основные детали, входящие в установку рулевого управления:

- шарнир вала рулевого управления;
- механизм рулевого управления;
- тяга сошки.

Основные детали, входящие в установку рулевой колонки:

- рулевое колесо;

- колонка рулевого управления;
- втулка шлицевая с шарниром.

Согласно руководству по эксплуатации изделия рулевое управление имеет принципиальную схему основных рабочих механизмов и гидравлическую схему гидропривода.

Принципиальная схема рулевого управления включает в себя:

- колесо рулевое многофункциональное;
- гайка крепления рулевого колеса;
- колонка рулевого управления;
- рулевой механизм с сошкой;
- болтовое соединение;
- тяга.

Гидравлическая схема гидропривода включает в себя:

- рулевой механизм;
- нагнетательный трубопровод;
- насос;
- всасывающий трубопровод;
- бак масляный;
- сливной трубопровод.

Техническое обслуживание рулевого управления для всех видов ТО предусматривает:

- осмотр и проверку исправности соединения рулевых тяг, люфта в соединениях рулевого привода, крепления вилок карданных валов, герметичности системы, вращение, возврат в исходное положение и люфт рулевого колеса;
- проверка уровня масла в масляном баке;
- проверка крепления рулевого механизма к кронштейну и кронштейна к раме;
- проверка затяжки гаек крепления тяг рулевого управления;
- проверка состояния резиновых чехлов шарниров рулевых тяг;
- проверка люфта в наконечниках рулевых тяг;
- проверка на наличие повреждений хомута и шарового пальца поперечной рулевой тяги;
- проверка надежности крепления трубопроводов в местах укладки по шасси.

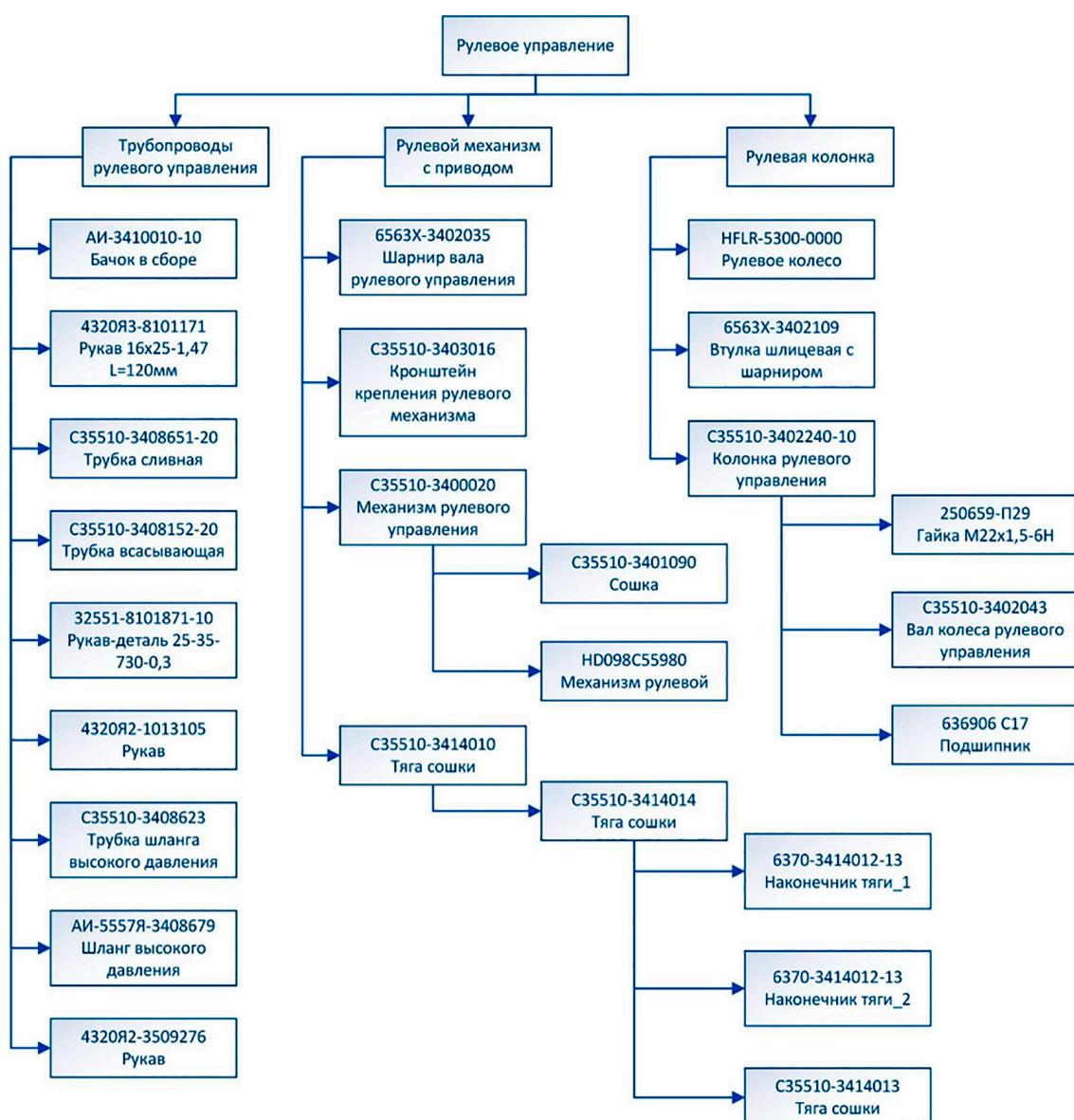
Возможные виды отказов рулевого управления включают в себя³:

- износ деталей шарниров рулевых тяг, шлицевых втулок карданного привода руля;
- ослабление крепления рулевого механизма;
- ослабление крепления рулевого колеса на валу;
- недостаточный уровень масла в бачке гидросистемы рулевого управления;
- потеря подвижности шлицевого соединения карданного вала рулевого управления;

² Методические указания. Руководство по проведению анализа логистической поддержки изделий авиационной техники // НИЦ «Прикладная Логистика». 2010. [Электронный ресурс]. URL: <https://cals.ru/sites/default/files/downloads/lss/ils.pdf> (дата обращения: 19.11.2025).

³ Автомобили «Урал-С3» и их модификации. Руководство по эксплуатации С35510-3902035-01 РЭ (издание первое) // АО «АЗ «Урал». 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://shop.uralaz.ru/upload/iblock/480/gang7e6c2496ozcwn046cwioarb5xd8.pdf> (дата обращения: 19.11.2025).

- засорен фильтр тонкой очистки масляного бака;
- задиры на опорных поверхностях золотника;
- неправильно отрегулированы гидравлические клапаны ограничения давления конечных положений;
- неисправен насос или модель насоса не соответствует модели автомобиля, насос не обеспечивает требуемой производительности и давления;
- засорение сетчатого фильтра грубой очистки;
- чрезмерно высок уровень масла;
- засорен сапун;
- воздух в гидросистеме рулевого управления;
- передняя ось / подшипники поворотного кулака имеют тяжелый ход;
- тяжелый ход рулевой колонки;
- слишком высокое давление в нагнетающей системе;
- ослаблено крепление кронштейна рулевого механизма;
- напорный трубопровод пережат или перекручен, в систему проходит воздух или уровень жидкости мал;
- износ рулевого насоса;
- трение механических частей рулевого механизма друг о друга.



*Рис. 2. ЛСИ рулевого управления
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования*

По результатам анализа составные части рулевого управления были сгруппированы в три подгруппы, принятые по основным сборочным единицам и гидравлической схеме гидропривода:

- трубопроводы рулевого управления (9 элементов ЛСИ);
- рулевой механизм с приводом (10 элементов ЛСИ);
- рулевая колонка (6 элементов ЛСИ).

Компоненты в подгруппы выбирались на основе описанных критериев отбора, а также рекомендаций планового обслуживания изделия и перечня возможных отказов, описанных в эксплуатационной документации.

Подробная ЛСИ рулевого управления показана на рис. 2.

Заключение

В данной работе описаны основные принципы, применяемые при разработке логистических структур, выполнено построение ЛСИ, представлены как элементы верхнего уровня, так и разбиение сборочных единиц на компоненты.

Выбор компонентов для ЛСИ является предварительным анализом изделия при выполнении АЛП. Информация об изделии и его составных частях часто имеет неоднородный характер. Причинами этого являются:

- неполная информация об изделии на стадии разработки;
- отсутствие на конкретном этапе жизненного цикла изделия разработанной и информативной эксплуатационной документации;
- отсутствие единого подхода по мониторингу эксплуатации изделия;
- неоднородный характер данных, получаемых с мест эксплуатации и точек обслуживания.

Соответственно, разными также могут быть и исходные данные для разработки ЛСИ. В результате исследования были рассмотрены основные принципы построения ЛСИ на примере системы рулевого управления автомобиля «Урал С35510 6x4» с помощью эксплуатационной документации на изделие. Проведен выбор объектов, подходящих для последующих работ анализа логистической поддержки. Перечень объектов был сформирован в структуру из трех подсистем и двадцати пяти элементов. Материалы статьи могут служить рекомендациями для работ АЛП на этапе разработки логистических структур.

Список литературы

1. Любимов В.А. Комплексная оценка готовности сложного технического объекта // Известия ТулГУ. Техни-

ческие науки. 2021. № 9. С. 137–140. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnaya-otsenka-gotovnosti-slozhnogo-tehnicheskogo-obekta> (дата обращения: 19.11.2025). DOI: 10.24412/2071-6168-2021-9-137-140.

2. Веретенина С.В. Выявление факторов управления стоимостью интегрированной логистической поддержки ситуационной модели экспорта // Инновации и инвестиции. 2023. № 7. С. 279–284. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vyyavlenie-faktorov-upravleniya-stoimostyu-integrirovannoy-logisticheskoy-podderzhki-situatsionnoy-modeli-eksporta> (дата обращения: 19.11.2025).

3. Косенков О.И., Лагунов С.А., Гусев В.И. К вопросу о внедрении технологий управления жизненным циклом вооружения и военной техники в деятельность органов военного управления // Военная мысль. 2020. № 11. С. 102–110. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-vnedenii-tehnologiy-upravleniya-zhiznennym-tsiklom-vooruženiya-i-voennoy-tehniki-v-deyatelnost-organov-voennogo> (дата обращения: 19.11.2025).

4. Рубинов В.И., Чистилин Д.А., Воробьев В.А. Внедрение систем интегрированной логистической поддержки изделий авиационной техники // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2018. № 5 (5). С. 94–98. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-sistem-integrirovannoy-logisticheskoy-podderzhki-izdeliy-aviatsionnoy-tehniki> (дата обращения: 19.11.2025).

5. Лагунов С.А., Артеменко В.Б., Исаев Р.А. Предложения по архитектуре информационной системы управления жизненным циклом техники железнодорожных войск // Военная мысль. 2019. № 11. С. 78–87. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/predlozheniya-po-arhitekture-informatsionnoy-sistemy-upravleniya-zhiznennym-tsiklom-tehniki-zheleznydorozhnyh-voysk> (дата обращения: 19.11.2025).

6. Короленко В.В., Грибанов В.В., Дорошенко А.Б. Информационное обеспечение анализа логистической поддержки изделий авиационной техники // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2018. № 6 (6). С. 83–93. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnoe-obe-spichenie-analiza-logisticheskoy-podderzhki-izdeliy-aviatsionnoy-tehniki> (дата обращения: 19.11.2025).

7. MSG-3: Operator/Manufacturer Scheduled Maintenance Development (Vol. 1 – Fixed Wing Aircraft and Vol. 2 – Rotorcraft). Revision 2022.1. Airlines for America. 2022. URL: <https://publications.airlines.org/products/msg-3-operator-manufacturer-scheduled-maintenance-development-volume-1-fixed-wing-aircraft-revision-2022-1> (дата обращения: 19.11.2025).

8. Моубрей Д. Техническое обслуживание, ориентированное на надежность / пер. с англ. К.А. Зырянов, В.С. Смирнов; под. ред. К.А. Зырянова. Екатеринбург: К.А. Зырянов, 2018. 448 с. ISBN 978-5-6042031-0-1.

9. S3000L. International procedure specification for Logistics Support Analysis (LSA). ASD. 2024. URL: <https://umbraco.asd-europe.org/media/oajimmmc/s3000l-issue-21.pdf> (дата обращения: 19.11.2025).

10. Судов Е.В., Левин А.И., Петров А.Н. и др. Анализ логистической поддержки: теория и практика. М.: ИнформБюро, 2014. 258 с. ISBN 978-5-904481-21-6.

11. Рыченков Д.Б. Современные методики выбора функционально значимых элементов радиоэлектронного оборудования воздушных судов // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 213 (3). С. 105–110. URL: <https://avia.mstuca.ru/jour/article/view/456/382> (дата обращения: 19.11.2025).

12. Спиченко И.В. Логика построения системы технического обслуживания и ремонта авиационной техники на основе опыта использования MSG-3 // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 213 (3). С. 111–114. URL: <https://avia.mstuca.ru/jour/article/view/457/383> (дата обращения: 19.11.2025).

13. Измайлов М.К. Стратегия предупреждения поломки основных средств предприятия на основе автоматизации процесса управления ими // Beneficium. 2020. № 3 (36). URL: <https://beneficium.pro/index.php/beneficium/article/view/>

- BENEFICIUM.2020.3%2836%29.4-11/103 (дата обращения: 19.11.2025). DOI: 10.34680/BENEFICIUM.2020.3(36).4-11.
14. Казьмина И.В., Дерканосова А.А. Особенности логистического обеспечения высокотехнологичного предприятия // Вестник ВГУИТ. 2020. № 1 (83). С. 333–339. URL: <https://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/article/view/2404/3440> (дата обращения: 19.11.2025).
15. Малышина Н.А. Основы механизма интегрированной логистической поддержки системы услуг в индустрии культуры // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Экономика. Управление. Право. 2015. № 3. С. 309–314. URL: https://eup.sgu.ru/sites/eup.sgu.ru/files/text-pdf/2024/04/3-2015_ekonomika-77-82.pdf (дата обращения: 19.11.2025). DOI: 10.18500/1994-2540-2015-15-3-309-314.
16. Акинфиев Д.К. Значимость логистических структур при проведении анализа логистической поддержки // Научный резерв. 2020 № 4 (12). С. 13–18. EDN: QQKNCP.
17. Акинфиев Д.К., Власов А.О. Интегрированная логистическая поддержка – как механизм совершенствования регламента технического обслуживания и ремонта // Научный резерв. 2021. № 2 (14). С. 39–44. EDN: FOHVFH.
18. АС 1.1.S1000DR–2014. Авиационный справочник. Международная спецификация на технические публикации, выполняемые на основе общей базы данных. М.: ФГУП «НИИСУ», 2014. URL: https://cals.ru/sites/default/files/downloads/ndocs/S1000DR_2014.pdf (дата обращения: 19.11.2025).
19. Строев В.В. Анализ нормативной базы цифровизации управления разработкой и производством высокотехнологичной продукции // ЕГИ. 2022. № 2 (40). С. 269–276. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-normativnoy-bazy-tsifrovizatsii-upravleniya-razrabotkoy-i-proizvodstvom-vysokotehnologichnoy-produktsii> (дата обращения: 19.11.2025).
20. Антоненко И.Н. Методология RCM: ретроспектива и перспектива надежностно-ориентированного технического обслуживания // Энергия единой сети. 2019. № 1 (43). С. 34–46. URL: https://energия-единой-сети.pdf/wp-content/uploads/2019/03/05_anthonenko_ntc_ees_1_43.pdf (дата обращения: 19.11.2025).

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest.

ИНТЕРФЕЙС ДИСПЛЕЯ ДЛЯ УЧЕБНОГО СТЕНДА НА ОСНОВЕ ПРОГРАММИРУЕМОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Болдырев А.В.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
"Донской государственный технический университет Ростов-на-Дону", Ростов-на-Дону,
Российская Федерация, e-mail: avb49@aaanet.ru*

Статья посвящена актуальной задаче обучения студентов технических специальностей вопросам программирования электронных устройств на основе языка описания аппаратуры Verilog. Цель исследования – разработка и верификация образовательного проекта на примере интерфейса дисплея в составе учебного стенда. В рамках исследования проведен анализ архитектуры учебного стенда и протокола обмена данными между программируемой логической интегральной схемой и дисплеем. Особое внимание удалено обоснованию применения 4-разрядного режима передачи данных, позволяющего оптимизировать использование выводов микросхемы. Проект реализован на языке Verilog, моделирование и отладка произведены в среде Quartus II, для экспериментальной проверки использовалась программируемая логическая интегральная схема стендла. Разработанный модуль драйвера выполняет инициализацию дисплея, преобразует 8-битные данные в последовательность полубайтов для передачи по 4-разрядной шине и управляет основными сигналами дисплея. Для тестирования создан модуль, генерирующий 8-битные коды символов. Экспериментальная проверка модуля драйвера подтвердила корректность работы интерфейса. Полученное решение упрощает отладку и моделирование схем на учебном стенде, обеспечивает наглядную обратную связь при изучении программирования аппаратуры и может быть использовано в лабораторных работах по цифровой схемотехнике и проектированию встраиваемых систем. Результаты работы полезны студентам, преподавателям и инженерам в области электроники.

Ключевые слова: программирование, интегральная схема, учебный стенд, Cyclone, Intel/Altera, Verilog

DISPLAY INTERFACE FOR TRAINING STAND BASED ON A PROGRAMMABLE LOGIC INTEGRATED CIRCUIT

Boldyrev A.V.

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"Don State Technical University Rostov-on-Don", Rostov-on-Don,
e-mail: avb49@aaanet.ru*

The article addresses the relevant task of teaching students in technical specialties the programming of electronic devices based on the hardware description language Verilog. The aim of the study is to develop and verify an educational project using the example of a display interface as part of a training stand. Within the scope of the research, an analysis was conducted of the architecture of the training stand and the data exchange protocol between the programmable logic integrated circuit and the display. Special attention is given to justifying the use of a 4-bit data transmission mode, which allows optimizing the utilization of the chip's pins. The project was implemented in Verilog. Modeling and debugging were performed in the Quartus II environment, and a programmable logic integrated circuit of the training stand was used for experimental verification. The developed driver module initializes the display; converts 8-bit data into a sequence of nibbles for transmission over a 4-bit bus and controls the main display signals. For testing purposes, a module was created that generates 8-bit character codes. Experimental verification of the driver module confirmed the correct operation of the interface. The resulting solution simplifies the debugging and modeling of circuits on the training stand, provides visual feedback when learning hardware programming, and can be used in laboratory works on digital circuit design and embedded systems engineering. The results of the work are valuable for students, educators, and engineers in the electronics field.

Keywords: programming, integrated circuit, training stand, Cyclone, Intel/Altera, Verilog

Введение

Изучение языков программирования аппаратуры в колледжах имеет ряд важных преимуществ, связанных с развитием технических навыков, подготовкой к будущей профессии и пониманием принципов работы современных цифровых систем [1, 2]. Эти языки являются ключевыми инструментами в области проектирования цифровых устройств, включая программируемые ло-

гические интегральные схемы (ПЛИС) [3]. Несмотря на отличие от традиционных языков программирования, они развивают алгоритмическое мышление и умение структурировать задачи, требуют чёткого описания поведения системы, поддерживают моделирование и проверку проектов до их физической реализации. Это способствует развитию у студентов умений анализировать и отлаживать системы на ранних

этапах разработки, снижая риск ошибок. Знание этих языков повышает конкурентоспособность выпускников на рынке труда [4], а также может стать отправной точкой для освоения более сложных инструментов или языков высокого уровня для системного проектирования [5].

Наряду с этим все более важным становится понимание принципов работы ПЛИС, получивших широкое применение в промышленности, особенно в сферах телекоммуникаций, аэрокосмической отрасли, потребительской электроники и разработки микросхем [6]. Особое значение понимание этих принципов приобретает в эпоху развития интернета вещей и искусственного интеллекта [7].

Изучение ПЛИС и языков программирования аппаратуры объединяет знания из математики, физики, информатики и инженерии, способствуя комплексному пониманию технологий. При этом работа над реальными проектами (например, создание простых цифровых устройств) мотивирует учащихся и развивает навыки командной работы [8, с. 18].

Таким образом, введение языков программирования ПЛИС в программу колледжей способствует формированию инженерных компетенций, пониманию основ современной электроники и подготовке к будущим профессиональным вызовам. Однако важно учитывать, что эти языки требуют тщательного изучения и практики, а их преподавание должно сопровождаться доступом к соответствующим инструментам.

Цель исследования – разработка и верификация образовательного проекта на примере интерфейса дисплея в составе учебного стенда для обучения студентов технических колледжей основам языков программирования ПЛИС.

Материалы и методы исследования

Аппаратной платформой исследования является учебный стенд SDK-6.1/E производства ООО «ЛМТ» (г. Санкт-Петербург) [9, 10, 11]. Стенд предназначен для изучения основ проектирования современных электронных модулей на базе ПЛИС средней степени интеграции. Наличие в составе стенда ПЛИС Cyclone производства Intel/Altera¹ и подсистемы памяти (FLASH, SRAM, EEPROM) позволяет создавать на его основе полнофункциональное вычислительное ядро. Роль буквенно-цифрового знак синтезирующего модуля в стенде выполняет жидкокристаллический (ЖК) дисплей модели WH1602B-YGK-CP.

¹ Cyclone FPGA Family [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.chipfind.ru/datasheet/pdf/_altera/ep1c6.pdf (дата обращения 22.11.2025).

Дисплей имеет внутреннюю память для определения матрицы символов, а также стандартного множества символов.

Программными средствами исследования являются среда проектирования Quartus II компании Intel/Altera² и язык описания аппаратуры Verilog [12, 13].

Исходными материалами исследования являются также руководство пользователя стенда SDK-6.1/E, спецификации ЖК дисплея WH1602B YGK CP³ и контроллера⁴.

Анализ архитектуры стенда и протокола обмена данными между ПЛИС и ЖК дисплеем определил необходимость исследования особенностей 4-разрядного режима работы дисплея. Одной из проблем, возникающих в процессе отладки и моделирования схем на стенде SDK-6.1/E [14], является построение интерфейса управления ЖК дисплеем, выводы которого соединены с ПЛИС в соответствии с таблицей.

Младшие выводы данных (DB0 – DB3) дисплея не используются, т. к. в стенде реализуется 4-разрядный интерфейс.

На основе результатов анализа проведено проектирование интерфейса: разработаны схема драйвера дисплея и модуль ее тестирования на языке Verilog, реализованы алгоритмы инициализации и передачи данных.

Для моделирования и отладки драйвера и тестера дисплея использовалась среда Quartus II, в которой проводилась проверка временных диаграмм и верификация преобразования 8-битных данных в две 4-битные посылки.

Для подтверждения работоспособности предложенного решения была проведена экспериментальная проверка путем загрузки разработанных модулей образовательного проекта в ПЛИС стенда SDK-6.1/E.

Результаты исследования и их обсуждение

При выполнении образовательного проекта разработан интерфейс управления дисплеем для учебного стенда SDK 6.1/E на базе ПЛИС Cyclone компании Intel/Altera, реализующий 4 разрядный режим обмена данными.

Это позволило эффективно использовать ограниченные ресурсы стенда при сохранении функциональности отображения информации.

² Quartus II Web Edition (Win) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://soltau.ru/index.php/plis/item/360-install-quartus/> (дата обращения 22.11.2025).

³ LCD 1602B Winstar [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://xchem.net/mc/mc89.php/> (дата обращения: 22.11.2025).

⁴ Подключение и использование дисплея на базе HD44780 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://microtechnics.ru/podklyuchenie-i-rabota-s-displeem-wh1602/> (дата обращения: 22.11.2025).

Соединения ЖК дисплея и ПЛИС в стенде SDK-6.1/E

Функции дисплея	Вывод дисплея	Вывод ПЛИС
RS (выбор регистра)	4	132
R/W (чтение/запись)	5	130
E (сигнал разрешения)	6	131
DB4 (данные)	11	124
DB5 (данные)	12	125
DB6 (данные)	13	128
DB7 (данные)	14	129

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Разработанный интерфейс устраняет одну из проблем отладки схем на стенде – сложность интеграции дисплея с ПЛИС. Использование 4 разрядного режима оптимизирует количество задействованных выводов ПЛИС (всего 7 сигналов вместо 11 при 8 разрядном интерфейсе).

В результате анализа спецификации ЖК дисплея WH1602B YGK CP определены ключевые этапы передачи данных между ПЛИС и дисплеем.

До того, как ЖК дисплей сможет отобразить записанную в него информацию, он должен быть проинициализирован и запрограммирован. Программирование выполняется путем удержания входов RS и R/W в низком состоянии, подачи команд на входы с DB7 по DB0 и выдачи строб-сигнала E.

После инициализации ЖК дисплея в него записываются 8-битные данные кода ASCII путем установки входов RS и R/W в 1 и 0 соответственно, помещения данных кода ASCII на входы DB7 – DB0, формирования сигнала E и предоставления порядка 40 микросекунд времени для выполнения операции. Каждый раз, когда байт данных записывается в ЖК дисплей, курсор перемещается на одну позицию вправо.

При организации 4-разрядного интерфейса байт передается в 2 посылки, старшим битом вперёд. В спецификации дисплея первая посылка обозначается D7 (старшая тетрада), а вторая – D3 (младшая тетрада). Перед следующей посылкой проверяется наличие флага занятости. Если он отсутствует, то процесс передачи можно продолжить, в противном случае придется подождать, пока контроллер, управляющий дисплеем, завершит предыдущие операции. Для упрощения инициализации чтение флага занятости может быть заменено задержкой. В соответствии с этим для передачи

байта в 2 посылки необходимо выполнить следующие шаги:

- убедиться, что управляющий контроллер свободен,
- установить RS в 0 (команда) или 1 (данные), в зависимости оттого, что передается,
- R/W установить в 0,
- установить строб-сигнал E в 1,
- поместить на шину данных (DB4 – DB7) старшую тетраду D7 передаваемого байта,
- выполнить задержку 2мкс,
- сбросить строб-сигнал E в 0,
- выполнить задержку 1мкс,
- установить строб-сигнал E в 1,
- поместить на шину данных (DB4 – DB7) младшую тетраду D3 передаваемого байта,
- выполнить задержку 2мкс,
- сбросить строб-сигнал E в 0.

Схема интерфейса управления дисплеем реализована на языке программирования аппаратуры Verilog [15]. Оформленный в виде модуля драйвера LCD_drv_8_to_4 в пакете Quartus II, интерфейс осуществляет инициализацию дисплея и преобразование 8-битных данных в последовательность полубайтов, позволяющую подключиться к дисплею по 4-разряднойшине. Функционирование схемы поясняют комментарии в коде описания модуля, что важно при выполнении образовательного проекта на Verilog.

Общая схема тестирования драйвера ЖК дисплея применительно к ПЛИС стенда SDK-6.1/E показана на рисунке. Генерируемые тестером char_gen символы выводятся с помощью драйвера LCD_drv_8_to_4 на дисплей. Управляющий сигнал схемы reset формируется на плате стенда переключателем SW5, а сигналы тактовой последовательности clk задаются внутренней системой синхронизации стенда.

```

module LCD_drv_8_to_4 (
    // системные сигналы
    input r,           // сброс системы
    input c,           // синхронизация
    // входные порты
    input [7:0] di,     // 8-битные ASCII
    input de,
    // выходные порты LCD 4-bit
    output [3:0] lcd_do,   // LCD 4-битные данные
    output lcd_e,       // LCD E строб
    output lcd_rs,      // LCD R/S: 0 – команда, 1 – данные
    output lcd_rw,      // LCD R/W: 0 – запись, 1 – чтение
    output busy );
`define ms_clk_val 50000 // такты на 1 мс; 50000 – для частоты @ 50 МГц, 500 – для отладки/
моделирования
`define lcd_E_duration 30 // 600 нс @ 50 МГц (600 * 50 / 1000)
reg [7:0] di_r;
reg [2:0] state; // рабочее состояние
reg [3:0] i_state; // состояние инициализации ЖК дисплея
reg [4:0] cnt;
    reg [15:0] init_seq [10:0]; // начальная последовательность
reg [15:0] cnt_1ms;
reg [5:0] delay_ms;
    wire next_stt_en;
wire [2:0] next_stt_val;
wire cnt_en;
    wire de4, de8; // 1 или 2 срезающих строба
wire is_init = i_state != 10; // инициализация в процессе
wire de_i; // data enable internal strobe
wire in_transmitt = (state != 0);
wire [15:0] d_init;
wire next_init_en;
wire cnt_1ms_zero = cnt_1ms == 0;
wire cnt_1ms_en = 1;
wire delay_ms_zero = delay_ms == 0;
assign d_init = init_seq[i_state];
assign busy = in_transmitt | is_init;
assign lcd_do = ((state == 1) | (state == 2)) ? di_r[7:4] : di_r[3:0];
assign next_stt_en = in_transmitt ? cnt == 0 : de_i;
assign cnt_en = in_transmitt;
assign lcd_e = ((state == 1) | (state == 3));
assign lcd_rs = !is_init;
assign lcd_rw = 0;
assign next_stt_val = (state == 4) ? 0 : (state + 1);
assign next_init_en = is_init & !in_transmitt & delay_ms_zero;
assign de4 = !d_init[8] & next_init_en;
assign de8 = d_init[8] & next_init_en;
assign de_i = (de & !busy) | (d_init[9] & (de8 | de4));
task reset_reg;
begin
    cnt <= 0;
    state <= 0;
    di_r <= 0;
    i_state <= 0;
    delay_ms <= 0;
    cnt_1ms <= 0;
end
endtask
initial begin
    // инициализация всех регистров
    reset_reg();

```

```

    init_seq[0] <= 16'b_110010_0_0_00000000; // ожидание 50 мс после включения
init_seq[1] <= 16'b_000101_1_0_00000011; // установить 8-битный режим
init_seq[2] <= 16'b_000101_1_0_00000011; // установить 8-битный режим
init_seq[3] <= 16'b_000101_1_0_00000011; // установить 8-битный режим
init_seq[4] <= 16'b_000101_1_0_00000010; // установить 4-битный режим
init_seq[5] <= 16'b_000001_1_1_00101000; // 28 2 строки, шрифт char
init_seq[6] <= 16'b_000001_1_1_00001100; // 0C дисплей включить
init_seq[7] <= 16'b_000011_1_1_00000001; // 01 очистка дисплея
init_seq[8] <= 16'b_000001_1_1_10000000; // 80 курсор влево/вверх по экрану
init_seq[9] <= 16'b_000000_0_0_00000000; // конечное состояние – без инициализации
init_seq[10] <= 16'b_000000_0_0_00000000; // конечное состояние – без инициализации
end
always@(posedge c) begin
if(r) begin
  reset_reg();
end else begin
  if(next_stt_en) begin
    case(state)
      0: if(de_i) state <= de4 ? 3 : 1;
      4: state <= 0;
      default: state <= state + 1;
    endcase
  end
  if(next_init_en) begin
    i state <= i state + 1;
    delay_ms <= d_init[15:10];
  end else begin
    delay_ms <= delay_ms - cnt_1ms_zero;
  end
  cnt_1ms <= (next_init_en | cnt_1ms_zero) ? `ms_clk_val : cnt_1ms - !delay_ms_zero; // счетчик на 1 мс
    if(de_i) begin
      di_r <= is_init ? d_init[7:0] : di;
      cnt <= `lcd_E_duration;
    end else begin
      cnt <= cnt - cnt_en;
    end
  end
end
endmodule

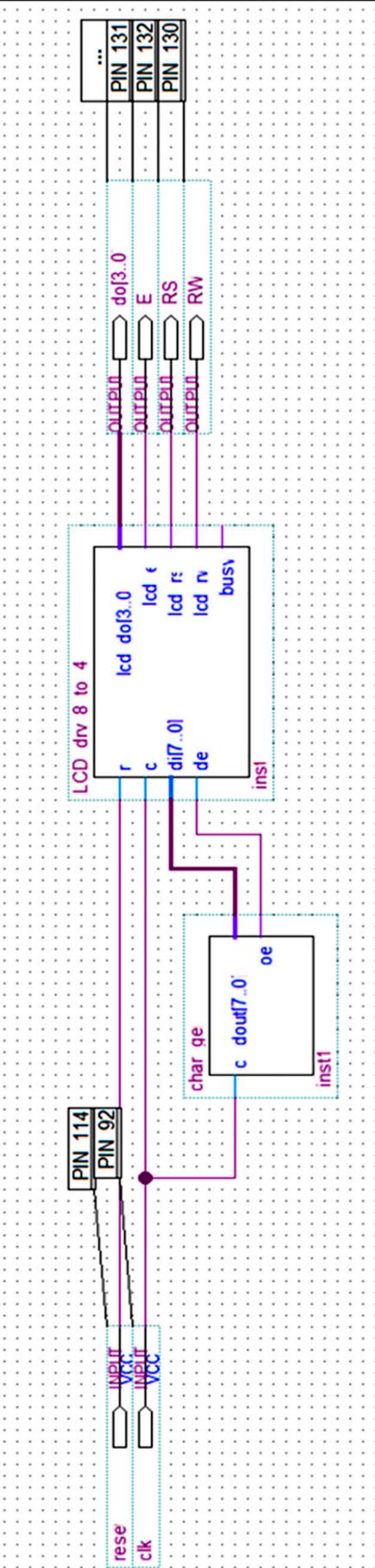
```

Для тестирования драйвера дисплея на языке Verilog создан также модуль `char_gen`, генерирующий 8 разрядные коды символов ASCII.

```

module char_gen (
  // системные сигналы
  input c,           // синхронизация
  // входные данные
  output [7:0] dout, // 8-битный ASCII
  output oe
);
reg [7:0] d_r;
reg [23:0] cnt;
  wire inc = cnt == 0;
  assign oe = inc;
  assign dout = d_r;
initial begin
  cnt <= 0;
  d_r <= 48;
end
always@(posedge c) begin
  cnt <= cnt + 1;
  if(inc) begin
    d_r <= (d_r == 122) ? 48 : d_r + 1;
  end
end
endmodule

```



*Схема тестирования драйвера ЖК дисплея для стендда SDK-6.1/E
Причеление: составлена автором по результатам данного-го исследования*

Результаты тестирования подтверждают корректную работу 4-разрядного интерфейса и эффективность архитектуры модуля драйвера в части ее универсальности (подходит для дисплеев на базе контроллера HD44780) и масштабируемости (возможность адаптации под другие разрешения ЖК дисплеев).

Практическая значимость исследования заключается в том, что разработанное решение упрощает процесс отладки и моделирования схем на учебном стенде, обеспечивая наглядную обратную связь через дисплей при изучении программирования ПЛИС, а также может быть использовано в лабораторных работах по цифровой схемотехнике и проектированию встраиваемых систем.

Заключение

В ходе проведенного исследования решена задача разработки и верификации образовательного проекта для обучения студентов технических колледжей основам языков программирования ПЛИС.

Исследование проводилось на примере решения проблемы интеграции ЖК дисплея модели WH1602B YGK CP со стеном SDK 6.1/E. В результате обоснована целесообразность применения 4-разрядного режима обмена данными, позволяющего оптимизировать использование выводов ПЛИС.

Разработан модуль драйвера ЖК дисплея на языке Verilog, который выполняет инициализацию дисплея согласно требованиям контроллера HD44780, преобразует 8-битные данные в последовательность полубайтов для передачи по 4-разряднойшине, управляет основными сигналами дисплея в соответствии с протоколом обмена.

Создан тестовый модуль char_gen, генерирующий 8-разрядные коды символов ASCII для проверки работоспособности интерфейса.

Экспериментально подтверждена корректность функционирования разработанного решения.

Результаты работы представляют интерес для студентов, изучающих проектирование на ПЛИС, преподавателей, разрабатывающих лабораторные работы и инженеров, работающих с интерфейсами ЖК дисплеев.

Список литературы

1. Алексеевский П.И. Обучение студентов архитектуре вычислительных систем с использованием языка Verilog // Педагогическое образование в России. 2016. № 7. С. 131-138. URL: <https://pedobrazovanie.ru/archive/345568/7/obuchenie-studentov-arkhitekture-vychislitel-nykh-sistem-s-ispolzovaniem-yazyka-verilog> (дата обращения: 22.11.2025).

2. Mayoz, C.A., da Silva Beraldo A.L., Villar-Martinez A., Rodriguez-Gil L., de Souza Seron W.F.M., Orduña P. FPGA remote laboratory: experience of a shared laboratory between UPNA and UNIFESP // 2020 XIV technologies applied to electronics teaching conference (TAE). 2020. Р. 1-8. URL: https://www.academia.edu/44036178/FPGA_remote_laboratory_experience_of_a_shared_laboratory_between_UPNA_and_UNIFESP (дата обращения: 22.11.2025).

3. Басс А.В., Антонов М.А. Работа с ПЛИС с использованием языка описания аппаратуры Verilog // Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. Вып. 3. С. 19-24. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38187279> (дата обращения: 22.11.2025).

4. Белащ О.Ю., Чиркова А.А. Оценка востребованности молодых специалистов на основе

опроса работодателей // Инновации. 2018. № 9. С. 86-89. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vostrebovannosti-molodyh-spetsialistov-na-osnove-oprosa-rabotodateley/viewer> (дата обращения: 22.11.2025).

5. Лоренс А.С., Петухов Г.А. Разработка стенда для удаленной асинхронной работы с ПЛИС // Маркуковские научные чтения. 2022. Т. 1. С. 120. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otobrazhenie-neskladiruemyh-resursov-v-modelyah-kalendarnogo-planirovaniya-proektov/pdf> (дата обращения: 22.11.2025). DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-71.

6. Boutros A., Betz V. FPGA architecture: Principles and progression // IEEE Circuits and Systems Magazine. 2021. Vol. 21. № 2. Р. 4-29. URL: https://andrewboutros.github.io/assets/pdf/papers/014_casm2021_architecture.pdf (дата обращения: 22.11.2025).

7. Nechi A., Groth L., Mulhem S., Merchant F., Buchty R., Berekovic M. Fpga-based deep learning inference accelerators: Where are we standing? // ACM Transactions on Reconfigurable Technology and Systems. 2023. Vol. 16. № 4. Р. 1-32. URL: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3613963> (дата обращения: 22.11.2025).

8. Максфилд К. Проектирование на ПЛИС. Архитектура, средства и методы. М.: ДМК Пресс, 2016. 408 с. ISBN: 978-5-97060-265-2.

9. Степаненко Д.Р., Болдырев А.В. Обзор учебных стендов для обучения программированию ПЛИС // Инновации и инжиниринг в формировании инвестиционной привлекательности региона: сборник научных трудов II открытого международного научно-практического форума. Ростов-на-Дону: Издательство ДГТУ-ПРИНТ, 2017. С. 446-451. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32329091> (дата обращения: 22.11.2025).

10. Ключев А.О., Плетунов А.Е., Дергачев А.М. Опыт использования лабораторных стендов SDK в учебном процессе // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 1. С. 184-187. URL: <https://ntv.ifmo.ru/file/article/18451.pdf> (дата обращения: 22.11.2025). DOI: 10.17586/2226-1494-2019-19-1-184-187.

11. Можный А.Д., Болдырев А.В. Применение стендов SDK-6.1 для отладки проектов в Altium Designer // Форум молодых ученых. 2017. № 5. С. 1439-1450. EDN: ZBNRAX.

12. Емец С. Verilog – инструмент разработки цифровых электронных схем // Компоненты и технологии. 2001. № 4. С. 76-79. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=mtxawx> (дата обращения: 22.11.2025).

13. Salcic Z., Smailagic A. Digital Systems Design and Prototyping: Using Field Programmable Logic and Hardware Description Languages. Springer Publishing Company, Incorporated, 2013. 621 p. ISBN: 978-1-4757-8419-0.

14. Еремин В.В., Мальчуков А.Н. О применении блочно-ориентированного подхода к разработке устройств на ПЛИС // Вестник науки Сибири. 2011. № 1. С. 379-381. URL: <https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/14958/1/132.pdf> (дата обращения: 22.11.2025).

15. Соловьев В.В. Основы языка проектирования цифровой аппаратуры Verilog. М.: Горячая линия-Телеком, 2024. 284 с. ISBN: 978-5-9912-0923-6.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 004.9

ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ QR-РАЗЛОЖЕНИЯ В ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ NOMOTEX

Зубарев К.М., Киреева Е.А., Дерябина Г.С., Милехина Е.Н., Волков В.Ю.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», Москва,
Российская Федерация, e-mail: zubarevkm@bmstu.ru*

Статья посвящена особенностям методики изучения QR-разложения матриц в цифровой образовательной среде Nomotex. Цель исследования – разработать алгоритм интерактивной визуализации различных методов нахождения QR и автоматизации контроля знаний. В работе рассмотрены различные способы нахождения QR-разложения, включая метод отражений Хаусхолдера и метод вращений Гивенса, и их геометрическая интерпретация. Авторами разработаны и внедрены специализированные компьютерные модули, которые наглядно демонстрируют пошаговое преобразование произвольной матрицы к верхнетреугольному виду. Кроме того, предложен алгоритм автоматической генерации задач по QR-разложению для индивидуальной практики студентов и реализована система автоматизированной поэтапной проверки решений. Внедрение этих инструментов обеспечило интерактивность учебного процесса, позволило избежать перегрузки вычислителями и предоставило мгновенную обратную связь. Результаты тестирования и внедрения разработанных алгоритмов в учебный процесс подтверждают, что использование платформы Nomotex для изучения QR-разложения повышает наглядность преподавания и способствует более глубокому пониманию материала при одновременном снижении нагрузки на преподавателя. Проведённое исследование вносит вклад в методику преподавания технических дисциплин, демонстрируя, как современная цифровая платформа способна усилить методическую составляющую курса.

Ключевые слова: цифровая образовательная среда NOMOTEX, QR-разложение, метод Гивенса, метод Хаусхолдера, автоматическая генерация заданий, проверка знаний, линейная алгебра

STUDYING QR DECOMPOSITION FEATURES IN THE NOMOTEX DIGITAL LEARNING SYSTEM

Zubarev K.M., Kireeva E.A., Deryabina G.S., Milehina E.N., Volkov V.Yu.

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
«Bauman Moscow State Technical University», Moscow,
Russian Federation, e-mail: zubarevkm@bmstu.ru*

The article focuses on the specifics of the methodology for studying QR matrix decomposition within the Nomotex digital educational environment. The primary objective of the research is to enhance the effectiveness of mastering this topic through the use of interactive visualization tools and automated knowledge assessment. The work examines various methods for computing the QR-decomposition, including the Householder reflections method and the Givens rotations method, along with their geometric interpretations. The authors have developed and implemented specialized computer modules that provide a clear, step-by-step visualization of the transformation of an arbitrary matrix into an upper-triangular form. Furthermore, the study proposes an algorithm for the automatic generation of QR-decomposition problems for students' individual practice and has realized a system for automated step-by-step verification of solutions. The implementation of these tools has ensured the interactivity of the educational process, helped to avoid computational overload, and provided students with instant feedback on their performance. The results of testing and integrating the developed algorithms into the curriculum confirm that using the Nomotex platform for studying QR-decomposition enhances the clarity of teaching and promotes a deeper understanding of the material, while simultaneously reducing the instructor's workload. The conducted research contributes to the methodology of teaching technical disciplines by demonstrating how a modern digital platform can strengthen the methodological framework of a course, making complex numerical methods more accessible and engaging for students through dynamic visual aids and automated support systems.

Keywords: DLS Nomotex, QR decomposition, Givens rotation method, Householder reflection method, generation task conditions, automatic verification, linear algebra

Введение

QR-разложение матриц является одним из фундаментальных инструментов линейной алгебры и вычислительной математики. Оно находит широкое применение в решении переопределенных систем линейных уравнений, вычислении собственных значений и многих других задачах [1; 2]. Понимание алгоритмов построения QR-разложения, таких как метод отраже-

ний и метод вращений, а также их геометрической интерпретации является важной составляющей математической подготовки студентов технических специальностей [3].

Однако процесс изучения и преподавания этой темы сопряжен с определенными трудностями. Сложность вычислительных процедур, необходимость визуализации геометрических преобразований и обеспечение эффективной практической отработки

навыков студентами требуют специальных подходов. Традиционные методы обучения, основанные на ручных вычислениях, часто не позволяют в полной мере продемонстрировать эффективность и суть алгоритмов, кроме того, проверка результатов выполнения заданий по QR-разложению вручную является трудоемкой задачей для преподавателя, особенно при большом потоке студентов.

В статье рассматривается инструментарий для интерактивного представления QR-разложения на платформе ИОС Nomotex [4; 5]. Как было отмечено в работе [6], внедрение специализированных компьютерных средств визуализации позволяет сделать абстрактные алгебраические преобразования наглядными и интерактивными. Автоматизация процессов генерации вариативных индивидуальных заданий и проверки ответов студентов способна кардинально повысить эффективность обучения и снизить нагрузку на преподавателя [7-9].

Цель исследования – разработать программный комплекс интерактивной визуализации различных методов нахождения QR-разложения матрицы и реализовать алгоритм автоматизации контроля знаний по теме «QR-разложение».

Материалы и методы исследования

QR-разложение матрицы – это метод линейной алгебры, позволяющий представить матрицу A в виде произведения двух матриц: Q и R , где Q – ортогональная (или унитарная в случае комплексных чисел) матрица, состоящая из столбцов, которые являются ортонормированными векторами, а R – верхняя треугольная матрица. Для матрицы A размера $m \times n$ (где $m \geq n$) разложение выглядит так:

$$A = QR.$$

При нахождении QR-разложения для матриц маленького размера удобно использовать ортогонализацию Грама – Шмидта: столбцы матрицы A интерпретируются как векторы a_i , далее на основе этой системы векторов находится ортонормированная система векторов q_i , которые являются столбцами матрицы Q , а матрица R состоит из коэффициентов разложения векторов q_i по векторам a_i . При решении задач без использования ЭВМ этот метод является предпочтительным.

В программной реализации чаще всего используются два метода: вращений и отражений. Ключевое преимущество обоих методов заключается в их численной устойчивости. Поскольку преобразования Гивенса и Хаусхолдера являются ортогональными,

они не усиливают вычислительную погрешность. Классический и модифицированный методы Грама – Шмидта существенно проигрывают в устойчивости. Из-за ошибок округления вычисляемые векторы q_i быстро теряют ортогональность, особенно если матрица A плохо обусловлена. Методы же вращений и отражений идеально сохраняют ортогональность в арифметике с плавающей точкой, что критически важно для итерационных алгоритмов, например QR-алгоритма для поиска собственных значений.

Результаты исследования и их обсуждение

В рамках данного исследования авторами были разработаны специализированные интерактивные программные модули, реализованные на платформе ИОС Nomotex, обеспечивающие геометрическую интерпретацию двух ключевых методов QR-разложения: вращений Гивенса и отражений Хаусхолдера.

Для метода вращений был разработан интерактивный пример, позволяющий наблюдать, как последовательность элементарных вращений в координатных плоскостях постепенно преобразует исходную матрицу к верхнетреугольному виду. Особое внимание уделяется визуализации преобразования столбцов матрицы: каждый столбец трактуется как вектор в многомерном пространстве, и пользователь может наблюдать, как эти векторы постепенно преобразуются в систему, которой будет соответствовать верхнетреугольная матрица. Для этого вектор a_1 должен оказаться на оси Ox , вектор a_2 в плоскости Oxy , а вектор a_3 может быть произвольным. На рисунке 1 можно видеть исходное положение векторов, задаваемых столбцами матрицы A .

Далее в примере демонстрируется преобразование поворота, которое приводит матрицу к верхнетреугольному виду. В данном случае необходимо «обнулить» только элемент в третьей строчке и первом столбце, это можно сделать с помощью поворота относительно оси Oy .

$$T_{13}A = \begin{pmatrix} \frac{3}{5} & 0 & \frac{4}{5} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\frac{4}{5} & 0 & \frac{3}{5} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 4 & 0 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 & 0 & 3 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = R$$

Все преобразования можно увидеть на графике в виде анимации, что наглядно демонстрирует приведение матрицы к верхнетреугольному виду. На рисунке 2 показано итоговое положение векторов.

$$A = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 4 & 0 & 3 \end{pmatrix}$$

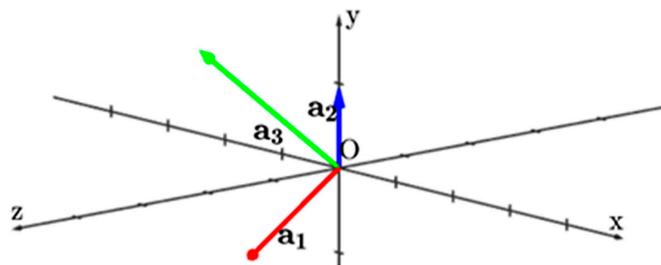


Рис. 1. Геометрическая визуализация матрицы, которую необходимо привести к верхнетреугольному виду

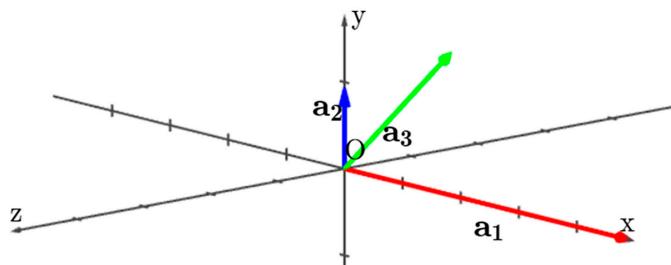


Рис. 2. Геометрическая визуализация матрицы, приведённой к верхнетреугольному виду

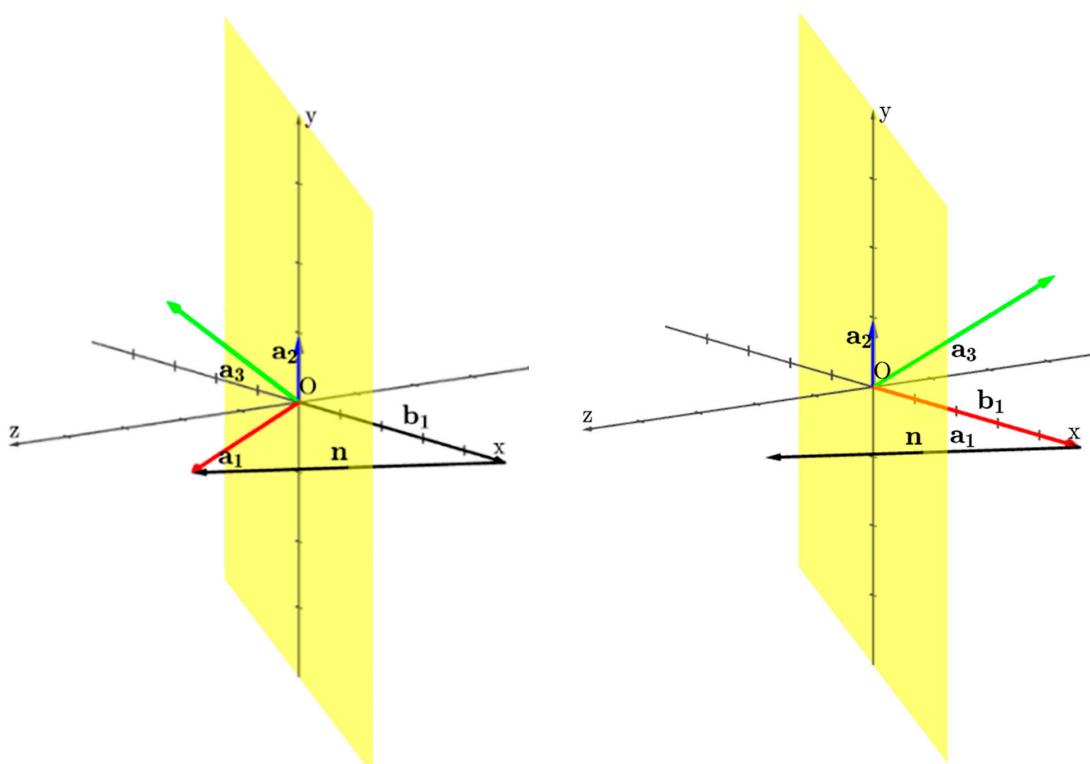


Рис. 3. Отражение векторов a_1, a_2, a_3

Для метода отражений также была создана визуализация, которая позволяет проследить геометрический смысл преобразования, приводящего матрицу к верхнетреугольному виду. На рисунке 3 слева можно видеть исходное положение векторов, координаты которых задаются той же матрицей A , и плоскость, относительно которой нужно отразить вектор $a_1 = (3 \ 0 \ 4)^T$, чтобы у него обнулились все координаты, кроме первой.

Матрица такого преобразования вычисляется по формуле

$$H = E - 2 \frac{nn^T}{|n|^2},$$

где E – единичная матрица, \vec{n} – нормаль к плоскости, относительно которой отражаются векторы. Тогда для матрицы A такое преобразование будет описываться матрицей

$$HA = \begin{pmatrix} \frac{3}{5} & 0 & \frac{4}{5} \\ 0 & 1 & 0 \\ \frac{4}{5} & 0 & -\frac{3}{5} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 4 & 0 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 & 0 & 3 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} = R$$

Итоговый вид QR-разложения можно найти, если умножить обе части равенства на матрицу, обратную к H , причём, так как она является ортогональной, то $H^{-1} = H^T$.

$$A = \begin{pmatrix} \frac{3}{5} & 0 & \frac{4}{5} \\ 0 & 1 & 0 \\ \frac{4}{5} & 0 & -\frac{3}{5} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 5 & 0 & 3 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

В рамках разработанного учебного модуля также была реализована уникальная возможность интерактивного исследования процесса QR-разложения. Студенты получают доступ к интуитивно понятному интерфейсу, где могут ввести произвольную матрицу и наблюдать весь процесс её преобразования в режиме реального времени. Данный подход позволяет преодолеть традиционные трудности в понимании QR-разложения. Студенты не просто запоминают алгоритмические шаги, а формируют глубокое интуитивное понимание геометрической сути процесса [10]. Наблюдая, как произвольно заданная матрица шаг за шагом преобразуется в верхнетреугольную, учащиеся устанавливают прочную связь между алгебраическими операциями и их геометрическим смыслом.

Автоматическая генерация условий

При автоматической генерации заданий такого вида необходимо в первую очередь учитывать арифметическую сложность решения и постараться минимизировать вероятность арифметической ошибки [11; 12]. Этого можно добиться, если сформулировать условия таким образом, чтобы в ходе решения не появлялись сложные, неократимые дроби, а также выражения с корнем. Для задачи нахождения QR-разложения исходную матрицу A можно сгенерировать, если подобрать произвольную ортогональную матрицу Q и верхнетреугольную матрицу R и перемножить их. Но элементы ортогональной матрицы чаще всего бывают корнями, и, как следствие, процесс нахождения такой матрицы будет подвержен большому количеству ошибок.

Авторами был предложен и реализован следующий алгоритм, который позволяет генерировать ортогональные матрицы с «удобными» коэффициентами для нахождения QR-разложения с помощью ортогонализации Грама – Шмидта.

1. Подбираются такие целые значения m и n , которые образуют пифагорову тройку, то есть сумма квадратов этих чисел равняется квадрату третьего целого числа. Это поможет избежать корней при нормировке векторов.

2. Тогда ортогональную матрицу Q можно в общем виде записать таким образом:

$$Q = \begin{pmatrix} \frac{m^2 - n^2}{m^2 + n^2} & \frac{-2mn}{m^2 + n^2} & 0 \\ \frac{2mn}{m^2 + n^2} & \frac{m^2 + n^2}{m^2 + n^2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

3. Далее для разнообразия матриц Q можно переставить столбцы или строки матрицы местами, транспонировать матрицу и умножить на исходную. По свойствам также будет получаться ортогональная матрица.

4. Матрица R подбирается как матрица со всеми диагональными элементами, равными 1 и со случайными значениями a, b, c , таким образом, чтобы значения матрицы A были целыми числами.

$$R = \begin{pmatrix} 1 & a & b \\ 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Ниже приведены результаты работы алгоритма.

Результаты работы алгоритма по генерации условий

Условие задачи. Матрица A	Ответ. Матрица Q	Ответ. Матрица R
$A = \begin{pmatrix} 0 & 3 & 2 \\ 3 & 0 & 3 \\ -4 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$Q = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ \frac{3}{5} & 0 & \frac{4}{5} \\ -\frac{4}{5} & 0 & \frac{3}{5} \end{pmatrix}$	$R = \begin{pmatrix} 5 & 0 & 1 \\ 0 & 3 & 2 \\ 0 & 0 & 3 \end{pmatrix}$
$A = \begin{pmatrix} -4 & 6 & 3 \\ -6 & 1 & -1 \\ 12 & 6 & 4 \end{pmatrix}$	$Q = \begin{pmatrix} -\frac{2}{7} & \frac{6}{7} & \frac{3}{7} \\ -\frac{3}{7} & \frac{2}{7} & -\frac{6}{7} \\ \frac{6}{7} & \frac{3}{7} & -\frac{2}{7} \end{pmatrix}$	$R = \begin{pmatrix} 14 & 3 & 3 \\ 0 & 8 & 4 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
$A = \begin{pmatrix} -2 & 3 & 2 \\ 2 & -6 & 2 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$Q = \begin{pmatrix} -\frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} \\ \frac{2}{3} & -\frac{2}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{2}{3} & \frac{2}{3} \end{pmatrix}$	$R = \begin{pmatrix} 3 & -6 & 0 \\ 0 & 3 & -2 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix}$

Разработанный алгоритм позволяет автоматически генерировать различные условия, и при этом решение задачи не сопровождается сложными арифметическими вычислениями, что позволяет студентам сосредоточиться на ходе решения задачи.

Автоматическая проверка

Одним из ключевых преимуществ современных образовательных платформ является мгновенная обратная связь [13; 14]. За этим стоит система автоматической проверки ответов, которая сравнивает решение пользователя с эталонным [15]. Подавляющее большинство автоматических проверок построено по принципу «всё или ничего». Это означает, что ответ учащегося признается либо абсолютно верным, либо полностью неверным [13; 14]. Система ищет точное совпадение с заранее заложенным правильным ответом. При таком подходе невозможно оценить частично правильное решение. Например, если студент правильно выстроил логику и совершил вычислительную ошибку в последнем действии, система не засчитает ему правильные этапы рассуждения – она увидит лишь неверный итоговый ответ и поставит «0» [14; 15].

Для решения этой проблемы при проверке задачи на нахождение QR-разложения был разработан алгоритм на базе информационно-образовательной среды Nomotex, который позволяет проверять не только итоговый ответ, но и ход решения, и оценивать задачу поэтапно. В рамках проверки знаний по данной теме студентам предлагается

найти QR-разложение с помощью ортогонализации Грама – Шмидта, и в качестве ответа указать матрицы Q и R . Введённый студентом ответ проверяется по следующему алгоритму.

1. Каждый столбец матрицы Q проверяется отдельно, так как является результатом последовательной ортогонализации Грама – Шмидта. Баллы начисляются за каждый верно найденный вектор.

2. Матрица R проверяется проверкой по формуле $A = QR$, где A – это матрица, заданная в условии, а Q – матрица, введенная студентом.

Таким образом, баллы начисляются за каждый верно найденный столбец матрицы Q и за правильно посчитанную матрицу R , что позволяет начислять баллы за частично верный ответ, а также указать студенту на шаг решения, в котором, вероятно, была допущена арифметическая ошибка.

Заключение

В процессе работы была достигнута поставленная цель: разработан комплекс инструментов, позволяющий наглядно продемонстрировать геометрическую сущность методов Гивенса и Хаусхолдера для нахождения QR-разложения матриц. Это позволяет студентам не только следовать алгоритму вычислений, но и интуитивно понимать, как последовательные вращения или отражения приводят матрицу к верхнетреугольному виду. Также был реализован алгоритм автоматической генерации индивидуальных заданий по QR-разложению, успешно

формирующий матрицы, решение которых не перегружено вычислительными трудностями. Студенты могут отрабатывать навыки на множестве разнообразных примеров, при этом внимание сосредоточено на сути метода, а не на ручном упрощении дробей. Была реализована система автоматизированной пошаговой проверки решений: она предоставляет мгновенную обратную связь и частично оценивает правильность каждого этапа разложения. Этот подход к контролю знаний более гибкий и справедливый по сравнению с принципом «всё или ничего», так как поощряет верные действия даже при наличии отдельных ошибок.

Внедрение разработанных средств в учебный процесс показало, что они повышают наглядность и интерактивность изучения линейной алгебры. Преподаватели отмечают сокращение временных затрат на проверку типовых задач благодаря автоматической оценке, а у студентов наблюдается рост интереса к теме за счёт игровой формы представления алгоритмов. Подход, описанный в статье, может быть распространён и на другие разделы высшей математики. В дальнейшем планируется накопление статистики об успеваемости студентов и сравнительный анализ с традиционными методами обучения, что позволит количественно оценить достигнутый эффект. Авторы полагают, что сочетание интерактивной визуализации и автоматизации оценки является перспективным направлением развития электронных курсов по математике.

Список литературы

- Sokolovskiy A.V., Veisov E.A., Tyapkin V.N., Dmitriev D.D. Hardware Architectures of the QR-Decomposition Based on a Givens Rotation Technique // Journal of Siberian Federal University. Mathematics and Physics. 2019. Vol. 12. № 5. P. 606-613. DOI: 10.17516/1997-1397-2019-12-5-606-613. EDN: OABBXHE.
- Цыганова Ю.В., Куликова М.В. О современных ортогонализованных алгоритмах оптимальной дискретной фильтрации // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. 2018. Т. 11. № 4. С. 5-30. DOI: 10.14529/mmp180401. EDN: YOTRJJ.
- Пчельник В.К. К вопросу реализации алгоритма QR-разложения матрицы на основе преобразований Хаусхолдера в пакете MS EXCEL // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. 2020. № 8. С. 337-344. EDN: PDAXII.
- Анисова Т.Л. Формирование педагогических компетенций в процессе обучения бакалавров и магистров по направлению подготовки «Математика и компьютерные науки» // Современные проблемы науки и образования. 2022. № 6-1. URL: <https://science-education.ru/article/view?id=32374> (дата обращения: 15.10.2025). DOI: 10.17513/sprno.32374. EDN: AHSIZI.
- Анисова Т.Л., Смехнова А.А. Математическая подготовка инженеров в цифровой образовательной среде NOMOTEX (на примере курса «Дифференциальные уравнения») // Современные проблемы науки и образования. 2020. № 5. URL: <https://science-education.ru/article/view?id=30168> (дата обращения: 15.10.2025). DOI: 10.17513/sprno.30168. EDN: ZNBFWY.
- Киреева Е.А., Дерябина Г.С., Иванова Т.Л., Зубарев К.М., Кузнецов Р.Б. Методика изучения систем линейных алгебраических уравнений в среде NOMOTEX // Научное обозрение. Педагогические науки. 2024. № 6. С. 11-16. DOI: 10.17513/srps.2552. EDN: NZBNGJ.
- Димитриенко Ю.И., Милехина Е.Н., Зубарев К.М., Васильев Д.Д. Автоматическая генерации задач по курсу «Аналитическая геометрия» в ИОС NOMOTEX // Дневник науки. 2023. № 12 (84). URL: https://dnevniknauki.ru/images/publications/2023/12/pedagogics/Dimitrienko_Milekhina_Zubarev_Vasilev.pdf (дата обращения: 15.10.2025). DOI: 10.51691/2541-8327_2023_12_37. EDN: KIZKIH.
- Гилев П.А., Казанков В.К., Табиева А.В. Автоматическая генерация и проверка задач по дисциплинам математического цикла в высшей школе // Современное педагогическое образование. 2022. № 11. С. 142-147.
- Кручинин В.В., Кузовкин В.В. Обзор существующих методов автоматической генерации задач с условиями на естественном языке // Компьютерные инструменты в образовании. 2022. № 1. С. 85-96. DOI: 10.32603/2071-2340-2022-1-85-96. EDN: KUQLNE.
- Анисова Т.Л., Облакова Т.В. Оценка уровней достижения математических компетенций бакалавров-инженеров // Математический вестник педвузов и университетов Волго-Вятского региона. 2016. № 18. С. 136-142. EDN: WAYLJN.
- Зорин Ю.А. Использование алгоритмов комбинаторной генерации при построении генераторов тестовых заданий // Дистанционное и виртуальное обучение. 2013. № 6 (72). С. 54-59. EDN: QAQHRN.
- Кручинин В.В., Морозова Ю.В., Зорин Ю.А. Построение и использование генераторов тестовых заданий в системах дистанционного обучения // Открытое и дистанционное образование. 2018. № 3 (71). С. 5-11. DOI: 10.17223/16095944/71/1. EDN: PADBUKU.
- Димитриенко Ю.И., Губарева Е.А., Зубарев К.М., Алексин А.В., Иванова Т.Л. Автоматизация проверки задач с перестановками в цифровой образовательной среде Nomotex // Дневник науки. 2022. № 8 (68). URL: https://dnevniknauki.ru/images/publications/2022/8/pedagogics/Dimitrienko_Gubareva_Zubarev_Alesin_Ivanova.pdf (дата обращения: 15.10.2025). DOI: 10.51691/2541-8327_2022_8_6. EDN: ESXGEN.
- Димитриенко Ю.И., Зубарев К.М., Алексин А.В., Милехина Е.Н., Бебенина А.А. Автоматическая проверка задач с собственными векторами в цифровой образовательной среде Nomotex // Дневник науки. 2022. № 12 (72). URL: https://dnevniknauki.ru/images/publications/2022/12/pedagogics/Dimitrienko_Zubarev_Alesin_Milekhina.pdf (дата обращения: 15.10.2025). DOI: 10.51691/2541-8327_2022_12_37. EDN: ZAEONI.
- Перязева Ю.В. Возможности автоматической проверки заданий в LMS Moodle // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т. 15. № 4. С. 876-885. DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.876-885. EDN: BECCUB.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 004.8

ПРИМЕНЕНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ (LARGE LANGUAGE MODELS) В МЕТОДОЛОГИИ DEVOPS

Лелейкин С.С.

*Образовательная автономная некоммерческая организация высшего образования
«Московский технологический институт», Москва, Российская Федерация,
e-mail: ssoft@mail.ru*

Настоящая статья посвящена изучению роли больших языковых моделей (Large Language Models) в современном подходе DevOps, направленном на обеспечение эффективной организации совместной работы команд разработчиков и администраторов. За последние годы крупные достижения в области искусственного интеллекта привели к созданию мощных моделей, способных обрабатывать естественный язык и эффективно решать разнообразные задачи. Такие модели представляют собой инструмент, способствующий увеличению продуктивности труда и уменьшению временных затрат на выполнение рутинных действий. Цель настоящего исследования заключается в определении наиболее перспективных областей применения больших языковых моделей в процессах DevOps и оценке влияния их внедрения на повышение производительности команды. Автор исследует перспективы внедрения больших языковых моделей в различных аспектах методологии DevOps, рассматривая конкретные примеры использования моделей в таких важных операциях, как помощь в написании и комментировании кода, дебаге и анализе логов приложения, конфигурации, освоении новых технологий, рефакторинге проекта, выборе архитектурного решения, подсчете технических ресурсов и документировании. Основное внимание уделено возможностям увеличения производительности труда разработчиков и оптимизации рабочих процессов за счет использования интеллектуального ассистента на базе больших языковых моделей. Вместе с тем автор подчеркивает наличие определенных рисков и ограничений, связанных с качеством результатов, безопасностью обрабатываемых данных и необходимостью дальнейшей адаптации моделей к специфическим требованиям каждого отдельного проекта. Приводятся выводы о том, что грамотное использование больших языковых моделей может оказать положительное влияние на организацию процессов DevOps, помогая компаниям достигать целей по повышению гибкости и устойчивости бизнес-процессов. Таким образом, исследование посвящено актуальным проблемам современного DevOps и предлагает практические рекомендации по расширению арсенала инженера посредством внедрения больших языковых моделей.

Ключевые слова: DevOps, большие языковые модели, автоматизация, интеграция, поставка

APPLICATION OF LARGE LANGUAGE MODELS IN DEVOPS METHODOLOGY

Leleykin S.S.

*Educational Autonomous Non-Commercial Organization of Higher Education
“Moscow Technological Institute”, Moscow, Russian Federation, e-mail: ssoft@mail.ru*

This article is devoted to the study of the role of Large Language Models in the modern DevOps approach aimed at ensuring effective collaboration between development teams and administrators. In recent years, major advances in artificial intelligence have led to the creation of powerful models capable of processing natural language and effectively solving a variety of tasks. Such models are a tool that helps to increase labor productivity and reduce the time required to perform routine actions. The purpose of this study is to identify the most promising areas of application of large language models in DevOps processes and to assess the impact of their implementation on increasing team productivity. The author explores the prospects for implementing large language models in various aspects of the DevOps methodology, considering specific examples of using models in such important operations as assistance in writing and commenting code, debugging and analyzing application logs, configuration, mastering new technologies, refactoring a project, choosing an architectural solution, calculating technical resources and documenting. The main focus is on the possibilities of increasing developer productivity and optimizing workflows through the use of an intelligent assistant based on large language models. At the same time, the author emphasizes the presence of certain risks and limitations related to the quality of the results, the security of the processed data and the need for further adaptation of models to the specific requirements of each individual project. It is concluded that the competent use of large language models can have a positive impact on the organization of DevOps processes, helping companies achieve goals to increase the flexibility and sustainability of business processes. Thus, the study is devoted to the current problems of modern DevOps and offers practical recommendations for expanding the arsenal of engineer's tools through the introduction of large language models.

Keywords: DevOps, large language models, automation, integration, delivery

Введение

Методология DevOps способствует ускорению доставки изменений в производственные среды через непрерывную интеграцию (continuous integration, далее по тексту CI), непрерывное развертывание (continuous de-

livery, далее по тексту CD) и автоматизацию инфраструктурных процессов.

Проблематика, решаемая данным исследованием: низкий уровень описания потенциальных точек внедрения больших языковых моделей (large language models,

далее по тексту будет использовано сокращение LLM) в методологию DevOps, блокирующий дополнительные возможности для оптимизации процедур разработки и эксплуатации.

Цель настоящего исследования заключается в определении наиболее перспективных областей применения больших языковых моделей (LLM) в процессах DevOps и оценке влияния их внедрения на повышение продуктивности команды разработчиков и администраторов.

Основные задачи исследования:

- определение потенциала LLM в поддержке основных этапов жизненного цикла разработки, тестирования и поставки ПО;
- оценка преимуществ и недостатков использования LLM в конкретных подходах DevOps;
- выявление факторов, влияющих на успешность внедрения LLM в процессы DevOps;
- формулирование практических рекомендаций по эффективному применению LLM в реальных проектах.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось в компактной DevOps [1] команде (1 Senior и 2 Middle инженера). В качестве основной модели использовалась бесплатная версия GigaChat, а также другие свободно доступные бесплатные версии LLM. Оценка эффективности велась по agile-метрикам [2], с фокусом на трудозатраты, метрики качества выполнения и скорость решения задач.

В результате исследования были получены и сопоставлены метрики выполнения

сходных по сложности задач сотрудниками, применяющими LLM и не применяющими. Замер контроля качества производился лидером компетенции. Трудозатраты оценивались всей командой по методологии Scrum [2] во избежание различия в сложности выполнения сравниваемых задач. Время выполнения задач формировалось на основе выгрузки статистики из Jira.

Рассматривались следующие направления работы DevOps инженера: генерация и рефакторинг кода, комментирование и документирование, анализ логов и отладка, конфигурация инфраструктуры, оценка ресурсов и проектирование архитектуры, освоение новых технологий. Для исследования использовались следующие методы: наблюдение, эксперимент, измерение.

Результаты исследования и их обсуждение

Помощь в написании кода. Автоматическая генерация фрагментов кода – одна из важнейших функций LLM. Она ускоряет разработку прототипов, реализацию функций и модернизацию существующих компонентов, сокращая время написания кода на 20–80 %. Основная проблема – сложность оценки качества генерируемого кода инженерами уровня Junior, что требует дополнительной проверки опытными коллегами (уровня Middle, Senior).

Анализ данных, представленных в табл. 1, показывает, что за более короткий период времени LLM выдала код, аналогичный написанному Senior DevOps инженером. Оба результата приемлемы и выполняют поставленную задачу.

Таблица 1

Примеры написанного кода по задаче «Необходимо открыть файл test.txt и распечатать все строки, содержащие FLAG» на языке программирования Python

Исполнитель	Senior DevOps инженер	LLM
Задача/промпт	Необходимо открыть файл test.txt и распечатать все строки, содержащие FLAG	Ты – профессиональный Senior DevOps. Необходимо открыть файл test.txt и распечатать все строки, содержащие FLAG. Используй Python
Результат	file = open('test.txt') for line in file: if 'FLAG' in line: print(line.strip())	# Открываем файл test.txt в режиме чтения with open('test.txt', 'r') as file: # Читаем все строки файла lines = file.readlines() # Проходим по каждой строке и проверяем наличие слова 'FLAG' for line in lines: if 'FLAG' in line: print(line.strip()) # Печать строки без символа новой строки
Время	2 минуты	20 секунд

Примечание: составлена автором на основе ответа LLM и программного кода собственной разработки; промпт [3] составлен автором.

Помощь в комментировании. Комментирование кода улучшает его прозрачность и читаемость. Исследование показало, что LLM повышают покрытие кода комментариями на 20–40 %, детально описывая логику и учитывая контекст. Однако требуется контроль инженера, хорошо погруженного в контекст проекта, так как комментарии модели могут требовать коррекции. Качество генерации улучшается при доступе к широкому контексту

всего проекта и грамотно сформулированных промптах.

С примером комментирования собственного кода LLM можно ознакомиться в табл. 1.

Пример комментирования кода по промпту «Ты – Senior Java Developer. Добавь комментарии в код» (как контекст был передан код интеграционного теста, написанный автором на Java с использованием фреймворка SpringBoot) [4]:

```
// Интеграционный тест для HelloController с полной загрузкой контекста Spring Boot
@SpringBootTest
// Включает автоматическое создание экземпляра MockMvc для тестирования веб-эндпоинтов
@AutoConfigureMockMvc
public class HelloControllerTest {
    // Автоматически внедряется экземпляр MockMvc для выполнения тестов
    @Autowired
    private MockMvc mvc;
    // Точка входа в тестирование метода getHello контроллера
    @Test
    public void getHello() throws Exception {
        // Отправляем GET-запрос на корень «/» с ожиданием JSON-ответа
        mvc.perform(MockMvcRequestBuilders.get("/"))
            .accept(MediaType.APPLICATION_JSON)) // Устанавливаем Accept-заголовок для JSON
            .andExpect(status().isOk()) // Проверяем, что статус ответа равен 200 OK
            .andExpect(content().string(equalTo("Greetings from Spring Boot!"))); // Проверяем,
что тело ответа соответствует ожидаемому значению
    }
}
```

Представленный фрагмент демонстрирует, как LLM добавила комментарии без отрыва от контекста всего отрывка кода интеграционного теста.

Помощь в дебаге / Анализ логов приложения. Процесс обнаружения и исправления ошибок в коде приложений и скриптов занимает значительную долю рабочего времени разработчиков и инженеров DevOps. Использование LLM помогает упростить этап локализации проблемы и оперативней найти возможные пути ее решения.

Помощь со стороны LLM в анализе причин неисправности сокращает время устранения в несколько раз. Ответ модели, даже в случае отсутствия в нем явной причины возникновения проблемы, позволяет акцентировать внимание инженера на важной информации, которая, в свою очередь, может сыграть решающую роль в локализации и устранении неисправности.

В табл. 2 представлен пример результата анализа лога ошибки с помощью LLM.

Практика показывает, что в случае возникновения подобной ошибки время решения инженером уровня Junior без помощи более квалифицированного коллеги может составить до 1 ч. Столь длительный поиск

причин ошибки связан с неоднозначностью трактования сообщения в логе «partially initialized module ‘requests’ has no attribute ‘get’», что, в свою очередь, наводит инженера на неправильный путь решения (поиск потерянного атрибута get, проверка кода на правильность, повышение уровня логирования и т.д.).

LLM в данном случае выявила зависимость между названием запускаемого файла и названием стандартной библиотеки Python, что и являлось причиной возникновения ошибки, а также дала рекомендации, как избежать повторения подобных проблем.

Помощь в конфигурации. Конфигурация серверов и сервисов представляет собой трудоемкий и подверженный ошибкам процесс [5]. Использование LLM способно сократить число ошибок, возникающих вследствие применения некорректных настроек. В ходе исследования было проведено сравнение методов конфигурации человеком без и с использованием модели GigaChat, проведена оценка корректности конфигураций. Доля правильных конфигураций на стендах разработки увеличилась на 40 % (> 20 % – только за счет отсутствия орографических и синтаксических ошибок).

Таблица 2

Пример анализа лога ошибки, с которой часто встречаются новички при запуске приложения, написанного на Python

Исходный код	<pre>Файл requests.py import requests url = 'https://httpbin.org/get' response = requests.get(url)</pre>
Ошибка	<pre>Traceback (most recent call last): File "/home/in2thevoid/Документы/Научная деятельность/Применение LLM в методологии DevOps/requests.py", line 1, in <module> import requests File "/home/in2thevoid/Документы/Научная деятельность/Применение LLM в методологии DevOps/requests.py", line 4, in <module> response = requests.get(url) ^^^^^^^^^^ AttributeError: partially initialized module 'requests' has no attribute 'get' (most likely due to a circular import)</pre>
Промпт	Ты – профессиональный Python разработчик. Найди причину ошибки
Ответ LLM	<p>Проблема вызвана конфликтом имен модулей. У вас имеется файл с именем requests.py, который совпадает с названием популярной сторонней библиотеки requests. Из-за этого возникает циклический импорт.</p> <p>Решение: Переименовать файл requests.py в новый уникальный файл (например, my_requests.py)</p> <p>Рекомендация: Лучше избегать совпадения собственных файлов с названиями популярных пакетов Python, чтобы избежать подобных конфликтов.</p>
Время	10 секунд

Примечание: составлена автором на основе ответа LLM и программного кода собственной разработки; промпт составлен автором

Таблица 3

Пример конфигурации ingress и service для маршрутизации трафика внутри кластера k8s

Промпт	Ты – Senior DevOps Engineer. Напиши конфигурацию k8s ingress и service, распределяющие трафик на 8 разных сервисов и покрывающие соединение ssl
Результат	<pre>Файл конфигурации ingress.yaml apiVersion: networking.k8s.io/v1 kind: Ingress ... rules: - host: example.com http: paths: - path: /svc1(/ \$)(.*) pathType: Prefix backend: service: name: svc1 port: number: 8080 ... Пример Service ресурса для сервиса svc1 (остальные сервисы аналогичны) apiVersion: v1 kind: Service ... ports: - protocol: TCP port: 8080 targetPort: 8080 type: ClusterIP</pre>
Время	< 1 минуты

Примечание: составлена автором на основе ответа LLM; промпт составлен автором

Таблица 4

Пример очень глубокого рефакторинга кода, написанного на языке программирования Python, выполняющего сортировку «пузырьком»

Промпт	Ты – профессиональный Python разработчик. Проведи рефакторинг и расставь комментарии в коде. Сделай код масштабируемым, вынеси нужные блоки в классы. Классы кратко прокомментируй
Код	<pre>from random import randint N = 10 a = [] for i in range(N): a.append(randint(1, 99)) print(a) for i in range(N-1): for j in range(N-1-i): if a[j] > a[j+1]: a[j], a[j+1] = a[j+1], a[j] print(a)</pre>
Код после рефакторинга	<pre>import random class RandomArrayGenerator: """Класс для генерации случайного массива""" def __init__(self, size=10, min_value=1, max_value=99): """ :param size: размер массива :param min_value: минимальное значение элемента :param max_value: максимальное значение элемента """ self.size = size self.min_value = min_value self.max_value = max_value def generate(self): """Генерация случайного массива""" return [random.randint(self.min_value, self.max_value) for _ in range(self.size)]</pre>
	<pre>class BubbleSorter: """Класс для сортировки массива методом пузырьковой сортировки""" def sort(self, array): """ Сортируем массив методом пузырьковой сортировки :param array: массив для сортировки :return: отсортированный массив """ n = len(array) for i in range(n - 1): for j in range(n - 1 - i): if array[j] > array[j + 1]: array[j], array[j + 1] = array[j + 1], array[j] return array if __name__ == "__main__": generator = RandomArrayGenerator(size=10) unsorted_array = generator.generate() print(f'Несортированный массив:\n{unsorted_array}') bubble_sorter = BubbleSorter() sorted_array = bubble_sorter.sort(unsorted_array[:]) # Создаем копию массива, чтобы сохранить оригинал print(f'Сортированный массив:\n{sorted_array}')</pre>
Время	< 1 минуты

Примечание: составлена автором на основе ответа LLM и программного кода собственной разработки; промпт составлен автором

Полная автоматизация процесса пока невозможна ввиду сложности требований и необходимости контроля со стороны персонала. Поскольку от скорости конфигурации стендов разработки и тестирования напрямую зависит скорость конфигурации промышленных стендов, можно выявить прямую зависимость прироста скорости вывода новой функциональности и предоставления ее конечным пользователям (что, по факту, является уменьшением бизнес-метрики *time-to-market* [6]). В табл. 3 представлен пример конфигурации сети кластера k8s [7], составленной LLM.

Помощь в освоении технологий. Частое обновление техстека и версий ПО увеличивает нагрузку на команду DevOps, стимулируя обучение. LLM могут помочь, давая советы и подсказки. Однако неправильное использование LLM может усложнить процесс обучения: отсутствие нужного контекста ведет к выдаче некорректных рекомендаций. Например, запросы о нетипичных или новых сочетаниях технологий, таких как Gradle 8.8 с Kotlin [8], часто приводят к выдаче некорректных ответов. Для митигации последствий рисков некачественного обучения рекомендуется использование микротестирования [9], изучение официальных курсов и документации в сочетании с возможностями LLM (объяснения кода, его доработка или краткий пересказ статей и параграфов документации).

Помощь в рефакторинге. Рефакторинг [10] существующего кода является важной частью поддержания высокого качества программного продукта (в контексте DevOps – пайплайна и настроек инфра-

структур). Использование LLM позволяет автоматизировать создание небольших исправлений и оптимизаций, снижая нагрузку на команду. Также LLM позволяет полностью переписать большие объемы кода, но требует контроля и тестирования со стороны команды. Правильно составленный промпт позволяет существенно улучшить уровень рефакторинга LLM, пример показан в табл. 4.

В контексте данной статьи автор не будет углубляться в качество кода и его масштабируемость. Пример выше показывает, что во время рефакторинга [10] код не обязательно уменьшится в объеме, но, при правильно составленном промпте, может стать более масштабируемым/быстрым/экономным к ресурсам и т.д. В конкретном случае LLM была поставлена задача перевести код в парадигму объектно-ориентированного программирования, с чем она успешно справилась.

Выбор архитектурного решения. При выборе архитектурных решений должны быть учтены ключевые факторы: бизнес-требования, технические характеристики, бюджет и сроки реализации [11]. LLM помогают принять оптимальное решение, предлагая рекомендации на основе большого количества данных. Передача на вход LLM контекста инфраструктуры, языков программирования, протоколов и бизнес-требований позволяет ей строить схемы концептуальной и детальной архитектуры и предлагать несколько альтернативных вариантов. В DevOps данная функциональность может быть применена для выбора инфраструктурных решений, проектирования пайплайнов [12] и каналов передачи данных [13].

Таблица 5

Подсчет ресурсов приложения и кластера k8s

Промпт	Ты – Senior Solution Architect. Посчитай ресурсы (сри, гам, реплики), необходимые сервису, написанному на rust, использующему базу данных postgres и отвечающему на 100000 запросов в секунду. Сервис расположен в k8s. Также посчитай ресурсы кластера k8s и базы данных postgres. Запас по нагрузке – 30 %
Результат	Окончательные оценки ресурсов: Rust-сервис CPU130 RAM1.3 GB, Реплика Rust-сервиса CPU43 RAM 0.43 GB, База данных Postgres CPU4, RAM 16 GB Исходя из этих оценок, минимальная конфигурация узлов k8s-кластера может выглядеть следующим образом: Количество реплик Rust-сервиса: 3 Ресурсы узла k8s-кластера: CPU: 150 (для обслуживания всех реплик и самой базы данных) RAM: 20 GB (суммарно для трех реплик и одной базы данных). Это лишь ориентировочные расчеты, реальная потребность может варьироваться в зависимости от архитектуры сервиса, характеристик оборудования и инфраструктуры. Рекомендуется провести стресс-тестирование и профилирование перед внедрением.
Время	30 секунд

Примечание: составлена автором на основе ответа LLM; промпт составлен автором

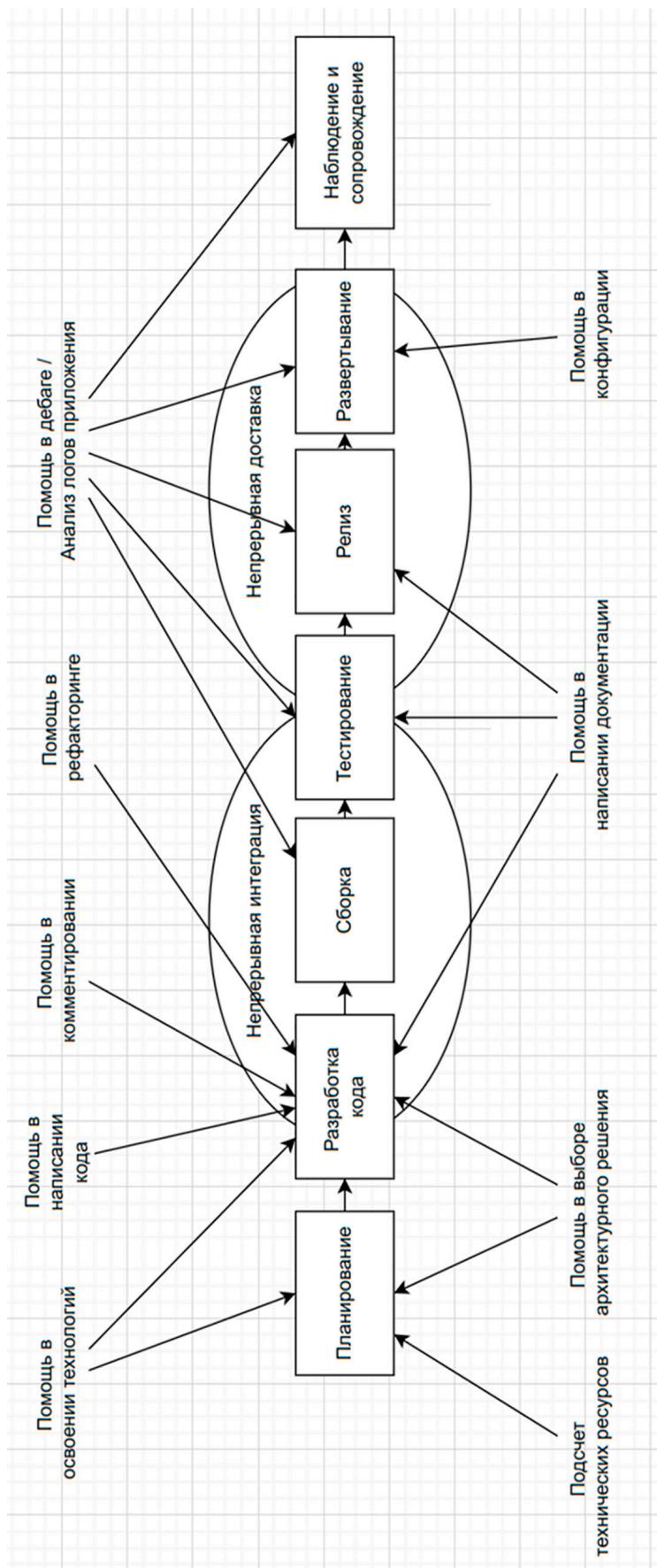


Схема точек потенциально целесообразного внедрения ИИ в этапы процесса ПО. Примечание: составлен автором на основе проведенного исследования, собранных данных и сделанных выводов

Подсчет технических ресурсов. Оценка вычислительных ресурсов – важная задача DevOps на начальном этапе разработки. LLM эффективно помогает в расчете потребности, используя исторические статистические данные и прогнозируя потенциальные нагрузки. Поскольку нагрузочное тестирование [14] на ранних этапах разработки приложения, как правило, отсутствует, расчет носит предварительный характер. Точность расчета LLM на данном этапе не критична, так как дальнейшая коррекция осуществляется по результатам реального НТ. Пример расчета ресурсов, сделанного LLM, представлен в табл. 5. Помощь в написании документации. Документация является неотъемлемой частью любого проекта, обеспечивающей передачу знаний внутри команды. LLM способны быстро формировать документацию на основании кода и архитектуры. Проведенное исследование подтверждает целесообразность написания документации с помощью LLM, но только при контроле результата командой. Языковые модели хорошо описывают не только свой код, но и код, переданный в контексте, отлично могут описать часть «легаси» кода [15], сокращая время на его исследование, а также хорошо обогащают уже существующую документацию примерами и уточнениями.

Как итог, автором составлена схема точек целесообразного внедрения языковых моделей в этапы процесса методологии DevOps. Схема представлена на рисунке.

Заключение

Проведенное исследование выявило значительный потенциал больших языковых моделей (LLM) в повышении эффективности практик DevOps. Получены положительные результаты во всех выбранных направлениях. Результатом стали снижение среднего времени выполнения задач, повышение качества артефактов и автоматизация рутинных задач. Также выявлены и риски, связанные с точностью рекомендаций и корректностью выдачи ответов. Таким образом, можно сделать вывод о том, что внедрение LLM в методологию DevOps является целесообразным и эффективным и позволяет добиться заметной оптимизации работы команды, а следовательно, и сокращения time-to-market и количества инцидентов, что на дистанции использования положительно влияет на финансовый эффект как DevOps подразделения, так и программного продукта в целом.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Список литературы

1. Пеленицына П.А. DEVOPS как взаимодействие между разработкой и эксплуатацией // Издательство. 2024. № 21–4 (338). С. 14–16. URL: <https://internauka.org/journal/science/internauka/338> (дата обращения: 12.10.2025).
2. Яковлева М.В., Лысенко М.В., Овсянникова У.С. Концепция Agile: возможность применения гибких методологий в производственных отраслях промышленности // Вестник качества. 2023. № 3. С. 207–217. URL: <http://www.agequal.ru/pdf/2023/323009.pdf> (дата обращения: 12.10.2025).
3. Aadi Juthani Optimizing ILM strategies for playing mendikot using prompt engineering // International Journal For Multidisciplinary Research. 2024. Т. 6. № 6. URL: <https://www.ijfmr.com/papers/2024/6/30130.pdf> (дата обращения: 22.10.2025).
4. Ибраимов Р.И., Джемалетдинов А.Б., Шевченко А.А. Spring boot: создание тестов для spring mvc контроллеров // Информационно-компьютерные технологии в экономике, образовании и социальной сфере. 2017. № 4 (18). С. 104–111. EDN: VQLFBC.
5. Патрикеев А.В. Разработка отказоустойчивой конфигурации серверной инфраструктуры // Научный электронный журнал Меридиан. 2019. № 12 (30). С. 312–314. URL: <https://meridian-journal.ru/site/article/1fl-2/> (дата обращения: 22.10.2025).
6. Mishra A., Otaiwi Z. Devops and software quality: a systematic mapping // Computer Science Review. 2020. Т. 38. С. 100308. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574013720304081> (дата обращения: 14.10.2025).
7. Ковтун Д.П., Лапонина О.Р. Использование управления доступом на основе атрибутов и mTLS в микросервисной архитектуре // International Journal of Open Information Technologies. 2025. Т. 13. № 6. URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/791271027/> (дата обращения: 14.10.2025).
8. Луценко Д.Ю. Сборка (CI / CD) проектов, не использующих JVM с помощью GRADLE / KOTLIN // Информационные технологии в управлении и экономике. 2021. № 2 (23). С. 61–67. URL: <https://itue.ru/Issue/Article/155> (дата обращения: 14.10.2025).
9. Бугаева А.А., Денисенко В.В. Процесс тестирования, методы и типы тестирования программного обеспечения // Синергия Наук. 2022. № 72. С. 92–102. EDN: WPKFPG.
10. Дерюгин Д.С. Рефакторинг, как метод обеспечения качества продукта // Синергия Наук. 2020. № 43. С. 409–415. EDN: MASOUSH.
11. Magomedova Z. Enterprise architecture framework (TOGAF) // Экономика и социум. 2018. № 10 (53). С. 715–717. URL: https://www.iupr.ru/files/ugd/b06fdc_90ab2c89da0840b4b82cacb0b2cc7739.pdf?index=true (дата обращения: 14.10.2025).
12. Priyanka M., Sindhuja K., Madhuvani V., Prasoona Sowpithika K., Kranti Kumar K. DevOps optimized navigation: building a DevOps CI/CD pipeline // EPRA International Journal of Research & Development. 2024. С. 376–382. URL: <https://eprajournals.com/IJSR/article/12653> (дата обращения: 22.10.2025).
13. Абдраимова А.С. Оценка и контроль качества канала передачи данных с помощью его характеристик // Проблемы науки. 2017. Т. 2. № 5 (18). С. 19–24. URL: <https://scienceproblems.ru/images/PDF/2017/18/pn-5-18--2.pdf> (дата обращения: 22.10.2025).
14. Лебедев В.С., Михаэлис В.В. Обзор программных инструментов для проведения нагрузочного тестирования информационных систем // Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами. 2021. № 2 (10). С. 40–45. DOI: 10.26731/2658-3704.2021.2(10).40-45. EDN: KKZECX.
15. Duvvuri V. Overcoming the challenges of legacy code in a modern IT landscape // International Journal of Science and Research. 2021. Т. 10. № 12. С. 1500–1502. URL: <https://www.ijsr.net/archive/v10i12/SR24517162432.pdf> (дата обращения: 27.10.2025).

УДК 69:624

РУССКИЕ ШПУНТОВЫЕ СТЕНЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ И РАБОТ НУЛЕВОГО ЦИКЛА НА АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

¹Субботин А.С., ²Табаев И.М., ¹Филина М.Е., ¹Тарнушкина В.В.

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Российская Федерация, e-mail: mariafilina575@mail.ru;

²Центр трансфера технологий и технической политики «Атомстройэкспорт», Москва, Российская Федерация

В данной работе авторы рассмотрели технологию русских шпунтовых стен, применяемую при гидротехнических работах и на этапе нулевого цикла на атомных электростанциях большой мощности. Эта технология охватывает ключевые аспекты использования шпунтовых конструкций для строительства объектов атомной энергетики. Шпунтовые стены выступают эффективным средством для стабилизации грунта и защиты строительных площадок. Авторы проанализировали различные профили и крепежные элементы русских шпунтовых стен, а также привели примеры их практического применения на крупных атомных станциях как в России, так и за рубежом. Кроме того, был проведен анализ опыта использования потребностей и технических характеристик русских шпунтовых стен при выполнении гидротехнических работ во время строительства атомных объектов. Рассмотрены основные технологические решения, связанные с установкой шпунтов, выбором методов погружения свай и их извлечения. Также выделены преимущества русских шпунтовых стен по сравнению с традиционными типами. Правильный выбор и способ монтажа русской шпунтовой стенки могут значительно повысить эффективность гидротехнических работ и обеспечить надежную защиту сооружения на этапе нулевого цикла при высоких нагрузках.

Ключевые слова: русская шпунтовая стена, гидротехнические работы, работы нулевого цикла, шпунтовая свая, вибропогружатель

RUSSIAN SHEET PILE WALLS FOR HYDRAULIC ENGINEERING AND ZERO-CYCLE WORK AT HIGH-CAPACITY NUCLEAR POWER NUCLEAR POWER PLANTS

¹Subbotin A.S., ²Tabaev I.M., ¹Filina M.E., ¹Tarnushkina V.V.

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“National Research Moscow State University of Civil Engineering”,
Moscow, Russian Federation, e-mail: mariafilina575@mail.ru;

²The ASE Technology Transfer and Technical Policy Center, Moscow, Russian Federation

In this paper, the authors examined the technology of Russian sheet piling walls used in hydraulic engineering and at the zero cycle stage in high-power nuclear power plants. This technology covers key aspects of the use of sheet pile structures for the construction of nuclear power facilities. Tongue-and-groove walls are an effective tool for soil stabilization and protection of construction sites. The authors analyzed various profiles and fasteners of Russian sheet piling walls, and also gave examples of their practical application at large nuclear power plants both in Russia and abroad. In addition, an analysis of the experience of using the needs and technical characteristics of Russian sheet piling walls during hydraulic engineering work during the construction of nuclear facilities was carried out. The main technological solutions related to the installation of sheet piles, the choice of methods for sinking piles and their extraction are considered. The advantages of Russian tongue-and-groove walls in comparison with traditional types are also highlighted. The correct choice and method of mounting a Russian sheet pile wall can significantly increase the efficiency of hydraulic engineering work and ensure reliable protection of the structure at the zero cycle stage under high loads.

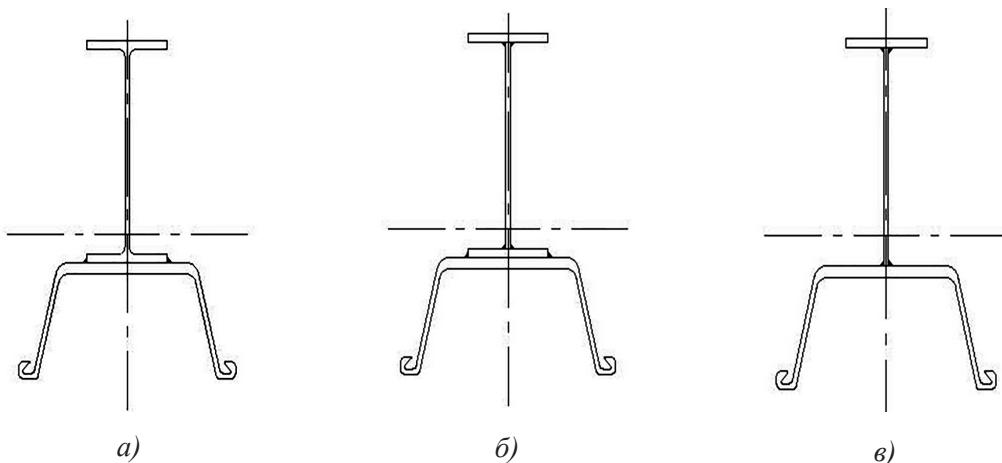
Keywords: Russian sheet pile wall, hydraulic engineering works, zero cycle works, sheet pile, vibration loader

Введение

Повышение экономической эффективности строительства объектов атомной энергетики и гидротехники напрямую связано с внедрением инновационных решений, сокращающих продолжительность наиболее затратных этапов, к которым относится нулевой цикл. Одной из таких пер-

спективных разработок является технология русских шпунтовых стен (РШС), демонстрирующая высокий потенциал в области оптимизации строительных процессов.

Русские шпунтовые стены представляют собой универсальное решение, благодаря которому можно достичь решения в множестве производственно-технических задач.



*Рис. 1. Варианты усиления базового шпунтового корытного профиля:
а) прокатной двутавровой балкой [2]; б) сварной двутавровой балкой [2];
в) сварной тавровой балкой [2]*

Примечание: составлен авторами на основе источника [1, с. 4]

Благодаря сложному профилю поперечного сечения стальные сваи шпунта могут выдерживать значительные статические и динамические нагрузки. Шпунтовые стены решают задачу удержания грунта и ограничения фильтрации при минимальной площади строительного контура. При глубине котлованов более 20 м и высоком уровне подземных вод такие конструкции позволяют исключить массивные бетонные ограждения и снизить объем земляных работ. Это делает технологию особенно востребованной в строительстве не только гидротехнических объектов, но и объектов атомной отрасли, например, при устройстве котлованов. Однако в отдельных случаях жесткости шпунта недостаточно и требуется применение дополнительных усиливающих конструкций, таких как анкерное крепление в массив грунта и распорные пространственные каркасы, что, в свою очередь, связано с дополнительным расходом материалов, необходимостью проведения сложных технологических операций, использования специальной техники.

Решение данной проблемы стало возможным вследствие развития технологии шпунтовых стен и появления стального шпунта комбинированного профиля, имеющего название «Русские шпунтовые стены» (РШС).

Особенностью данной технологии является усиление шпунтовой сваи за счет присоединения к ней продольного усиливающего элемента, чаще в виде двутавровой балки (рис. 1). Номенклатура шпунтовых свай и проката усиливающего элемента позволяют подобрать варианты конструкций

под различные гидрогеологические, физико-механические условия при проектировании сооружений.

Цель исследования – выявление оптимальных технологий установки и эксплуатации РШС в условиях специфических требований атомной энергетики.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является РШС как действенная конструкция, применяемая в современном строительстве. РШС представляет собой шпунтовую сваю корытного типа, усиленную балкой таврового или двутаврового сечения.

Данная конструкция сплошной стены соединяется при помощи сварки.

В конструкции шпунтовых стен, в зависимости от требуемого усиления базового профиля, могут использоваться следующие варианты конструкции (рис. 2):

а – РШС с одной промежуточной шпунтовой сваей;

б – РШС с тремя промежуточными шпунтовыми сваями;

в – двухсторонние РШС.

Шпунтовые стенки служат для создания прочного ограждения котлованов и гидротехнических объектов, обеспечивая стабильность грунта и исключение сдвига по ослабленным слоям. Конструкция воспринимает давление грунта и гидростатические нагрузки, обеспечивая устойчивость контура без массивных бетонных укреплений. Применение РШС рационально при больших глубинах и сложных инженерно-геологических условиях, где традиционные шпунтовые системы теряют жесткость и герметичность [3].

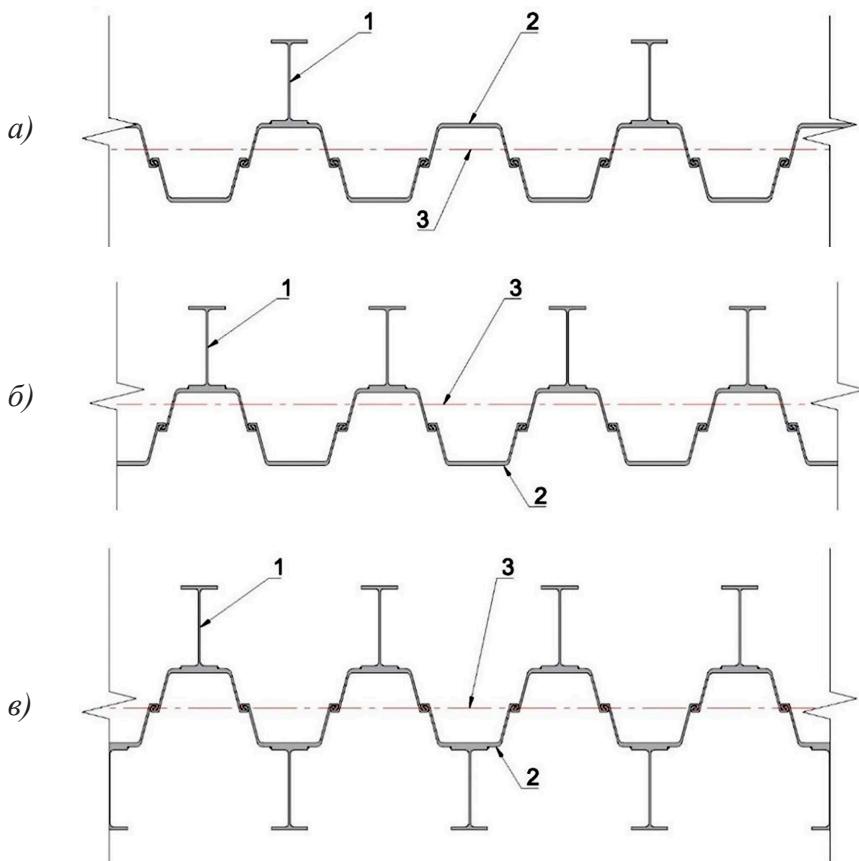


Рис. 2. Виды русских шпунтовых стен:
1 – усиливающая балка; 2 – шпунтовая свая; 3 – нейтральная ось стенки
Примечание: составлен авторами на основе источника [1, с. 4]

Балка РШС повышает изгибную жесткость шпунтовой сваи и снижает амплитуду деформаций под действием неравномерных нагрузок. При статическом расчете учитывается совместная работа балки и грунта по схеме защемленного элемента, воспринимающего поперечные усилия и изгибающие моменты. При необходимости в систему вводятся анкеры или распорные пояса, перераспределяющие нагрузку и ограничивающие прогиб стенки.

Сваи РШС производят как на заводах металлоконструкций, так и в полевых условиях при развернутых сборочных линиях. Заводской вариант обеспечивает стабильную геометрию профиля и точность замковых соединений, что критично при устройстве водонепроницаемых контуров. На строительных площадках преимущество заключается в оперативной подгонке длины и конфигурации элементов без потери качества сварных швов [4].

Усиливающая балка изготавливается из горячекатаного [1, с. 5–18] или сварно-

го профиля в соответствии с нормативами национальных стандартов. Конфигурация подбирается по расчетной схеме на основании требуемого момента инерции и допускаемых напряжений. Сварные конструкции [2] применяются при больших пролетах и повышенных изгибных нагрузках, что характерно для котлованов реакторных и турбинных блоков.

Для проведения настоящего исследования необходимо: проанализировать опыт применения, потребность, технические и технологические характеристики РШС.

Результаты исследования и их обсуждение

На сегодняшний день технология РШС активно применяется в атомной отрасли. Успешно реализованы гидротехнические сооружения на строительной площадке АЭС «Руппур», ведутся работы по устройству ограждения объединенного котлована насосных станций на площадке АЭС «Бушер».

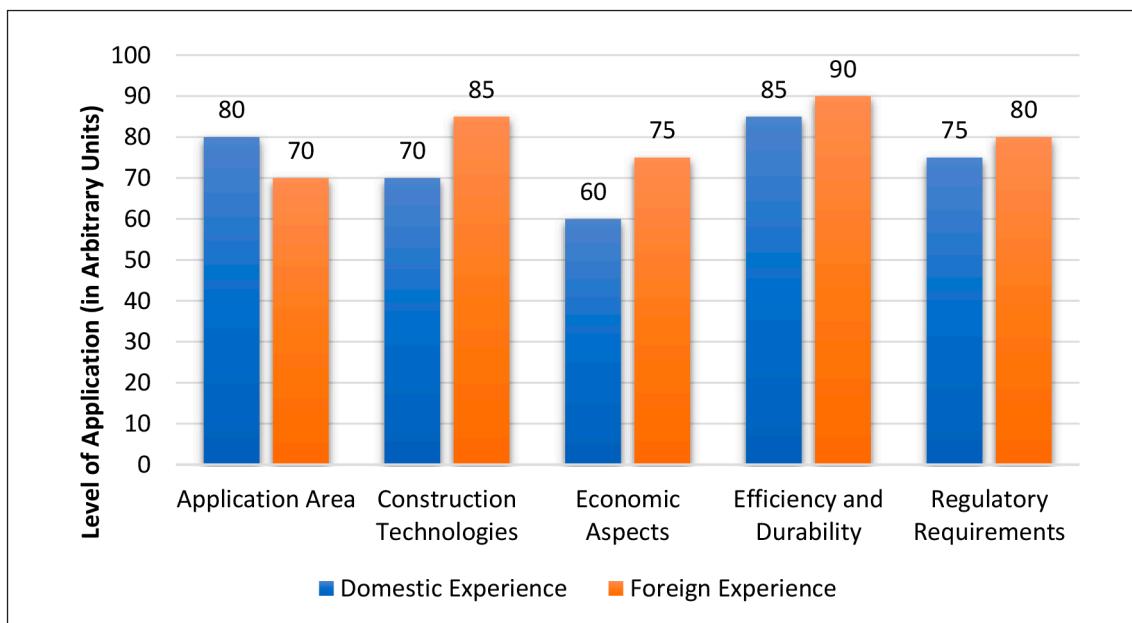


Рис. 3. Сравнительный анализ применения российской шпунтовой стенки
Примечание: составлен авторами на основе полученных данных в ходе исследования

В настоящее время рассматривается возможность применения данной технологии при возведении комплекса гидротехнических сооружений для стоянки плавучих энергоблоков (МПЭБ) в рамках строительства морского терминала порта Певек. Опыт использования технологии РШС продемонстрировал, что результаты работ соответствуют проектной документации, а также подтвердил практическую осуществимость требований проекта на строительной площадке. Сравнительный анализ применения РШС на отечественных и зарубежных объектах представлен на рис. 3.

Несмотря на то, что за рубежом РШС используются реже, особенности производства и монтажа занимают лидирующую позицию, так как они выигрывают по стоимости и доступности материалов, а также долговечности конструкции [5, с. 1–2].

Существующие строящиеся и перспективные проекты АЭС предусматривают строительство зданий и сооружений в котлованах, имеющих значительное заглубление, устраиваемых, как правило, в обводненных грунтах береговой зоны какого-либо водоема. Сама технология выработки электроэнергии турбогенераторными установками с большим потреблением воды на охлаждение конденсационных установок и водоподготовку для обеспечения технологического процесса зачастую предусматривает размещение АЭС в непосредственной близости к водному объекту и строитель-

ство гидротехнических сооружений, в том числе водозаборных сооружений. В настоящее время для решения подобных задач используется «классический» стальной или полимерный шпунт корытного типа. Исходя из технических параметров данных элементов при возведении из них ограждающих конструкций, как правило, используются дополнительные усиливающие элементы для восприятия или перераспределения нагрузок, такие как распорные каркасы или анкеры. Применение РШС позволит значительно упростить конструктив и технологию возведения шпунтовых стен котлованов и гидротехнических сооружений, параллельно снизив материалоемкость, трудозатраты и время строительства [6].

Основными требованиями к конструкциям, применяемым на АЭС, являются требования к надежности и унификации конструкций при различных условиях работы. Применяемые строительные решения должны позволять реализовать их в различных климатических, гидрогеологических (физико-химических) условиях. При этом должна быть реализована концепция унификации технологических решений (используемая техника, персонал, оснастка, трудоемкость и т.п.) [5, с. 1–2].

Технические характеристики РШС полностью соответствуют требованиям существующих проектов АЭС, так как составными элементами РШС являются типовые прокаты стали, изготавливаемые по стандартам,

прошедшим отраслевой контроль. При этом физико-механические свойства свай РШС значительно выше, чем у систем, применяемых для решения аналогичных задач.

По сравнению с классическими видами шпунта РШС имеют ряд дополнительных возможностей, увеличивающих прочность и устойчивость готовых конструкций, в том числе устройство скальных болтов.

Примечание: Скальные болты применяются в условиях устройства стен из РШС на скальном основании или при недостаточной мощности глинистых или песчаных грунтов, для необходимого пассивного отпора, залегающих на скальных породах. После погружения РШС до упора в скалу выполняется бурение скважин и погружение стальных стержней, воспринимающих нагрузки на стенку и передающие их на основание.

Технологические особенности системы РШС полностью соответствуют общестроительным работам, выполняемым при строительстве АЭС. При погружении и выдергивании свай РШС применяется аналогичная техника, используемая для погружения других типов свай.

Рассмотрим основные технологические решения, применяемые для русских шпунтовых стен:

– *Основные способы погружения РШС*

Погружение свай русских шпунтовых стен выполняется тремя способами: забивкой, выбropогружением и задавливанием. Выбор технологии определяется типом грунта, глубиной заложения и требованиями к сохранности профиля. Основная цель – достижение проектной отметки без деформации шпунта и нарушения замковых соединений.

Выбропогружение обеспечивает наименьшее динамическое воздействие на конструкцию и прилегающий грунт [7]. Колебания снижают сопротивление трения, ускоряя заглубление и уменьшая риск изгиба профиля. Метод применяется при песчаных, супесчаных и слабосвязанных грунтах, где требуемая глубина достигается без добивки. Контроль параметров вибрации и частоты позволяет исключить повреждение замков и перегрев металла [8].

Забивка используется при высокопластичных и связанных грунтах, где выбропогружение теряет эффективность из-за вязкости массива. При снижении скорости внедрения ниже 10 см в минуту переходят на ударное воздействие одиночным молотом. Ударная добивка применяется также для достижения конечной отметки после выбропогружения, если шпунт остановился на плотном слое или в зоне включений.

Задавливание применяется в районах плотной городской застройки и на площадках с повышенными требованиями к вибрационной безопасности. Метод исключает динамическое воздействие на грунт и соседние конструкции, но требует мощного гидравлического оборудования и высокой точности позиционирования шпунта.

Комбинированная схема – выбропогружение с последующей добивкой молотом – используется при неоднородной структуре грунта [9, с. 41–42]. Она обеспечивает достижение проектной глубины без потери геометрии и позволяет контролировать состояние шпунта на каждом этапе. Выбор метода фиксируется в технологической карте, где задаются параметры погружения, усилия и контроль допуска по отклонению вертикали.

Использование вибрации для погружения РШС основано на снижении сопротивления как связанных, так и несвязанных грунтов при внедрении погружаемой сваи под воздействием колебаний определенной частоты, направляемых вдоль оси шпунтовой сваи.

– *Выбор типа выбропогружателя*

Тип выбропогружателя определяют исходя из массы шпунта, глубины погружения, характеристик грунта и требуемого режима вибрации. Основной критерий – соотношение между вынуждающей силой выбропогружателя и сопротивлением грунта. Недостаточная амплитуда приводит к залипанию шпунта, избыточная – к разрушению замков и нарушению структуры прилегающего массива.

Минимальное значение вынуждающей силы выбропогружателя (F_0 , кН) рассчитывается по формуле, обеспечивающей преодоление сопротивления грунта и веса системы:

$$F_0 \geq \left[\frac{(1,4N - 2,8G)}{Kc} \right], \quad (1)$$

где N – расчетная нагрузка на сваю, кН;

G – полный вес вибrosистемы, включая выбропогружатель, наголовник и основной элемент РШС, кН;

Kc – безразмерный коэффициент, учитывающий снижение трения грунта о боковую поверхность сваи в результате вибрационного воздействия, определяемый по [10, с. 187].

На основе полученного значения F_0 производится предварительный подбор выбропогружателя. Ключевым критерием является выбор агрегата минимально достаточной мощности, у которого статический

момент дебалансов (K_d , кг \times м), соответствует условию

$$\frac{K_d^3 \times M_s \times A_n}{100}, \quad (2)$$

где M_s – общая масса вибrosистемы, включая динамическую массу вибропогружателя, зажимов и погружаемого элемента, кг;

A_n – требуемая амплитуда колебаний вибrosистемы без контакта с грунтом, соответственно без учета сопротивления грунта.

На завершающем этапе подбора вибропогружателя необходимо учитывать следующие практические рекомендации:

- при одинаковой вынуждающей силе F_0 более высокую производительность и эффективность погружения демонстрируют вибропогружатели с увеличенным статическим моментом дебалансов Kd ;

- наибольшей универсальностью и адаптивностью к изменяющимся грунтовым условиям обладают вибропогружатели с возможностью регулировки параметров в процессе работы [10, с. 188].

Для подтверждения корректности выбранной технологии погружения РШС рекомендуется провести не менее шести испытательных погружений.

В случае встречи с плотными прослойками грунта, которые затрудняют достижения проектной отметки и увеличивают сроки работ, применяются дополнительные методы, облегчающие погружение, а именно устройство лидерных скважин и подмыв грунта [9, с. 42]. Устройство лидерных скважин заключается в предварительном бурении скважины меньшего диаметра, которая направляет сваю и позволяет уменьшить лобовое сопротивление [11].

Подмыв грунта является технологией, при которой вода, нагнетаемая под высоким давлением, разрыхляет грунт основания грунта РШС, что приводит к значительному снижению как лобового сопротивления, так и сил трения боковой поверхности шпунта [12, с. 41–42].

Подмыв прекращают при достижении глубины 1–1,5 м до проектной отметки погружения. Чтобы ускорить процесс, тяжелые грунты предварительно разрыхляют, подавая воду через трубу, заглубленную на 3,5–4,5 м.

При значительной глубине погружения РШС рекомендуется комбинировать подмыв с подачей сжатого воздуха, который нагнетается в зону подмыва через специальные воздухопроводящие трубы.

В особо сложных геологических условиях производства работ применяют предварительное устройство лидерных скважин. При этом способе погружения необходимо

следить за изменением плотности грунта после извлечения лидерной сваи.

– *Описание методики погружения РШС*

РШС погружается с использованием кондуктора, обеспечивающего заданное положение шпунтина в процессе забивки. Конструкция кондуктора подбирается с учетом типа шпунта, технологии погружения и характеристик площадки.

Работы выполняются захватками длиной от 10 до 30 м, определяемой производительностью оборудования и гидрогеологическими условиями. Для снижения трения в замках применяются заглушки или бентонитовые смеси, уменьшающие сопротивление и риск деформации замковых элементов.

Первая шпунтина и анкерная свая задают геометрию всей стенки, поэтому контроль вертикальности выполняется в двух плоскостях с использованием уровней или геодезических приборов. Проверка повторяется через каждые две шпунтины. Положение замков относительно оси стенки фиксируется шаблонами, перемещающимися по направляющим кондуктора. Нарушение ориентации приводит к отклонениям ряда и образованию веерности.

Веерность возникает из-за одностороннего выбора зазоров в замках. Компенсация достигается смещением оси погружающего механизма на 5 % ширины шпунта в сторону, противоположную отклонению. Точная величина устанавливается опытным путем при начальной забивке. Небольшие отклонения устраняются оттяжкой шпунтина в процессе погружения. При приближении к предельному отклонению по вертикали (1 %) применяются шпунтины с клиновидными замковыми элементами,правляющими траекторию движения [13, с. 100].

Если смещение всей стены остается в пределах допуска, коррекция выполняется при установке последующих шпунтина с использованием оттяжек. При превышении допустимых значений шпунт извлекается и погружается заново. Невозможность извлечения требует согласования решений с проектной организацией. Минимальный отказ шпунта при забивке должен составлять не менее 0,5 см, но не ниже значения, установленного производителем оборудования. Несоблюдение отказа приводит к повышенной нагрузке на замки и их разрушению [14].

Добивка шпунта при попадании на препятствие запрещена. Замедление движения и характерный удар свидетельствует о контакте с твердым включением. Приложение ударных импульсов не устраивает препятствие, а вызывает разрыв замков или повреждение профиля.

При слабых основаниях возможен самопроизвольный уход ранее погруженных шпунтины ниже проектной отметки. Для фиксации отметки погруженные элементы соединяются сваркой. Если шпунтина не достигает требуемой глубины, применяется оборудование повышенной мощности – гидромолоты или молоты с увеличенной массой ударной части. Подмыв допускается при согласовании технологии и обеспечении стабильности соседних элементов.

– *Описание технологии извлечения РШС*

Извлечение РШС выполняется после завершения удерживающих или ограждающих функций шпунтовой стенки. Основная цель – повторное использование шпунта и восстановление естественного состояния грунта. Работы проводят механизированным способом с применением вибрационного, ударного или комбинированного оборудования, обеспечивающего передачу вытягивающего усилия через захват к шпунтине [15].

Выбор оборудования зависит от глубины погружения, характеристик грунта и состояния шпунтовых замков. В песчаных и слабосвязанных грунтах используют вибровытаскиватели, создающие чередующиеся динамические усилия, снижающие трение между стенками шпунта и грунтом. В плотных глинистых и сильно сцепленных основаниях применяют ударно-вибрационные системы или установки с гидравлическим приводом, способные развивать постоянное тяговое усилие с регулируемой амплитудой колебаний. Оптимальный вариант – комбинированная схема с подмывом, обеспечивающая снижение сопротивления грунта и уменьшение нагрузок на оборудование.

Начальная стадия извлечения направлена на срыв шпунта с места и разрушение сцепления с грунтом. Для этого шпунт осаживается вниз вибромашиной на 3–5 см при ослабленном тросе. При недостаточном эффекте допускается кратковременная осадка молотом. После потери сцепления выполняется плавное выдергивание с постоянным вибровоздействием.

Скорость подъема ограничивается характеристиками грунта. В песчаных слоях допускается не более 3 м/мин, в глинистых – не более 1 м/мин. Превышение скорости вызывает рост динамических нагрузок, разрушение замков и деформацию профиля шпунта. Контроль усилий и параметров подъема выполняется непрерывно, отклонения корректируются изменением амплитуды вибрации и режима тяги.

Работы выполняются участками, в последовательности, исключающей потерю устойчивости прилегающих грунтов. Извлечение ведут в обратном порядке отно-

сительно погружения, начиная с последующей забитой шпунтины. В зонах с разнородными грунтами допускается частичное оставление шпунта, если его удаление приводит к обрушению откоса или деформации соседних конструкций.

При заедании шпунтины применяются кратковременные реверсивные колебания или чередование тяговых и ударных импульсов. Попытки извлечения без снятия сопротивления грунта приводят к деформации профиля. Поврежденные элементы не подлежат повторному использованию. При систематическом заклинивании анализируют фактическое состояние основания и корректируют технологический режим извлечения.

Завершающий этап включает промывку и осмотр шпунтов, оценку состояния замковых соединений и геометрии профиля. Наличие остаточных изгибов или вмятин служит основанием для сортировки и частичного списания материалов. Повторное применение шпунта допускается только после дефектоскопии и восстановления профиля методом правки или наплавки.

Заключение

Рассмотренная в статье технология возведения подпорных сооружений с применением свай РШС является развитием широко распространенной в строительстве технологией шпунтовых ограждений. Технология и организация работ по возведению сооружений из РШС аналогична используемым для «классических» типов шпунта и не требует применения специальных механизмов и методов работ.

Также преимуществом применения РШС является удешевление шпунтовых ограждающих конструкций за счет отказа от дорогостоящих замков-коннекторов, земляных и бетонных работ. Конструктив РШС использует только цельные стандартные шпунты, что позволяет ограничиться от патентных рисков, связанных с замками-коннекторами. За счет использования РШС можно обойтись без распоров при возведении котлованов, что позволяет эффективнее работать внутри самого котлована, так как распоры не будут мешать строительной технике.

Существующая нормативная база позволяет использовать данную технологию как в гражданском, так и в промышленном строительстве, в том числе на объектах использования атомной энергии.

Список литературы

- ГОСТ Р 57837-2017. Двутавры стальные горячекатаные. М.: Стандартинформ 2017, Стандартинформ 2019, 50 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200158293> (дата обращения: 20.12.2025).

2. СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции». Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. М.: Минстрой России, 2017. 151 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054190> (дата обращения: 12.12.2025).
3. ГОСТ Р 53629-2009. Шпунт и шпунт-сваи из стальных холодногнутых профилей. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2010. 21 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200073529> (дата обращения: 20.12.2025).
4. Панкратьев Е.Г. Новый российский шпунт: крепче, легче и удобнее // Гидротехника. 2024. № 4 (77). С. 76–78. URL: <https://hydroteh.ru/jour/issue/view/57/showToc> (дата обращения: 22.12.2025).
5. Соболь И.С., Глебов А.П. Исследование эффективности применения шпунтовых свай при строительстве атомных электростанций // Достижения науки и образования. 2019. № 8–3 (49). С. 115–117. EDN: GFSXWJ.
6. Ашастин А.В. Отечественный шпунт для гидротехнического строительства // Гидротехника. 2022. № 3 (68). С. 80–81. URL: <https://hydroteh.ru/jour/issue/view/40/showToc> (дата обращения: 22.12.2025). DOI: 10.55326/22278400_2022_3_80.
7. Юдина А.Ф., Верстов В.В. Контроль и снижение уровня динамических воздействий при вибропогружении шпунта в грунт // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2017. № 1. С. 31–34. URL: <https://ofmg.ru/journal/2017/1/> (дата обращения: 22.12.2025).
8. Аладин А.М., Акинфиев А.А. Экспериментальное исследование эффективности погружения шпунта гидравлического вибропогружателя // Гидравлика. 2018. № 6. URL: <https://hydrojournal.ru/images/JOURNAL/NUMBER6/Aladin.pdf> (дата обращения: 22.12.2025).
9. СП 80.13330.2016 «Гидротехнические сооружения речные». Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87. М.: Минстрой России, 2017. 54 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456033398> (дата обращения: 22.12.2025).
10. СП 45.13330.2017 «Земляные сооружения, основания и фундаменты». Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87. М.: Минстрой России, 2017. 239 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054188> (дата обращения: 23.12.2025).
11. Верстов В.В., Гайдо А.Н., Егорова Н.А. Технология устройства свайных фундаментов заводского излучения // Молодой ученый. 2018. № 20 (206). С. 138–141. URL: <https://moluch.ru/archive/206/50524/> (дата обращения: 23.12.2025). EDN: XNMCQP.
12. Корчагин Е.А. Выполнение работ с балочно-шпунтовыми системами (БШС) и шпунтом Л5-УМ в гидротехническом строительстве: методическое пособие. 2025. С. 41–42.
13. СП 381.1325800.2018. Подпорные конструкции. Правила проектирования. М.: Стандартинформ, 2018. 161 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/552498317> (дата обращения: 22.12.2025).
14. Мангушев Р.А., Фадеев А.Б. Учет расчетных параметров шпунтовых стенок профиля Ларсена при проектировании ограждений котлованов // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2017. Т. 13. № 4. С. 114–120. DOI: 10.22337/2587-9618-2017-13-4-114-120.
15. Гайдо А.Н., Капустин М.А. Статический способ извлечения стального шпунта из грунта // Экономика строительства. 2025. № 1. С. 454–458. URL: <https://econom-journal.ru/upload/iblock/9b6/2d105bv47ocssy72s6fql6uhnxzy7t86/№1%202025%20ЭС.pdf> (дата обращения: 23.12.2025).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.