

ISSN 1997-9347

Components of Scientific and Technological Progress

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL



№ 8(110) 2025

Paphos, Cyprus, 2025

Journal "Components
of Scientific and Technological
Progress"
is published 12 times a year

Founder
Development Fund for Science
and Culture
Scientific news of Cyprus LTD

The journal "Components of Scientific
and Technological Progress" is included
in the list of HAC leading peer-reviewed
scientific journals and publications
in which the main scientific results
of the dissertation for the degree
of doctor and candidate of sciences
should be published

Chief editor
Vyacheslav Tyutyunnik

Page planner:
Viktoria Solodova

Copy editor:
Natalia Gunina

Director of public relations:
Ellada Karakasidou

Postal address:
1. In Cyprus:
8046 Atalanta court, 302
Paphos, Cyprus
2. In Russia:
13 Shpalernaya St,
St. Petersburg, Russia

Contact phone:
(+357)99-740-463
8(915)678-88-44

E-mail:
tmbprint@mail.ru

Subscription index of Agency
"Rospechat" No 70728
for periodicals.

Information about published
articles is regularly provided to
Russian Science Citation Index
(Contract No 124-04/2011R).

Website:
<http://moofrnk.com/>

Editorial opinion may be different
from the views of the authors.
Please, request the editors'
permission to reproduce
the content published in the journal.

ADVISORY COUNCIL

Tyutyunnik Vyacheslav Mikhailovich – Doctor of Technical
Sciences, Candidate of Chemical Sciences, Professor, Director of
Tambov branch of Moscow State University of Culture and Arts,
President of the International Information Center for Nobel Prize,
Academy of Natural Sciences, tel.: 8(4752)504600,
E-mail: vmt@tmb.ru, Tambov (Russia)

Bednarzhevsky Sergey Stanislavovich – Doctor of Technical
Sciences, Professor, Head of Department of Safety, Surgut State
University, laureate of State Prize in Science and Technology,
Academy of Natural Sciences and the International Energy Academy,
tel.: 8(3462)762812, E-mail: sbed@mail.ru, Russia

Voronkova Olga Vasilyevna – Doctor of Economics, Professor,
Academy of the Academy of Natural Sciences, tel.: 8(981)9720993,
E-mail: voronkova@tambov-konfcentr.ru, St. Petersburg (Russia)

Omar Larouk – PhD, Associate Professor, National School
of Information Science and Libraries University of Lyon,
tel.: +0472444374, E-mail: omar.larouk@enssib.fr, Lyon (France)

Wu Songjie – PhD in Economics, Shandong Normal University,
tel.: +86(130)21696101; E-mail: qdwucong@hotmail.com,
Shandong (China)

Du Kun – PhD in Economics, Associate Professor, Department of
Management and Agriculture, Institute of Cooperation of Qingdao
Agrarian University, tel.: 8(960)6671587,
E-mail: tambovdu@hotmail.com, Qingdao (China)

Andreas Kyriakos Georgiou – Lecturer in Accounting, Department of
Business, Accounting & Finance, Frederick University,
tel.: (00357) 99459477 E-mail: bus.akg@frederick.ac.cy, Limassol
(Cyprus)

Petia Tanova – Associate Professor in Economics, Vice-Dean of
School of Business and Law, Frederick University,
tel.: (00357)96490221, E-mail: ptanova@gmail.com, Limassol
(Cyprus)

Sanjay Yadav – Doctor of Philology, Doctor of Political Sciences,
Head of Department of English, Chairman St. Palus College Science,
tel.: 8(964)1304135, Patna, Bihar (India)

Levanova Elena Alexandrovna – Doctor of Education, Professor,
Department of Social Pedagogy and Psychology, Dean of the Faculty
of retraining for Applied Psychology, Dean of the Faculty of Pedagogy

and Psychology of the Moscow Social and Pedagogical Institute; tel.: 8(495)6074186, 8(495)6074513; E-mail: dekanmospi@mail.ru, Moscow (Russia)

Petrenko Sergey Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Mathematical Methods in Economics, Lipetsk State Pedagogical University, tel.: 8(4742)328436, 8(4742)221983, E-mail: viola@lipetsk.ru, viola349650@yandex.ru, Lipetsk (Russia)

Tarando Elena Evgenievna – Doctor of Economics, Professor of the Department of Economic Sociology, St. Petersburg State University, tel.: 8(812)2749706, E-mail: elena.tarando@mail.ru, St. Petersburg (Russia)

Veress József – PhD, Researcher in Information Systems Department, Business School of Corvinus University, tel.: 36 303206350, 36 1 482 742; E-mail: jozsef.veress@uni-corvinus.hu, Budapest (Hungary)

Kochetkova Alexandra Igorevna – Doctor of Philosophy and Cultural Studies (degree in organizational development and organizational behavior), PhD, Professor, Department of General and Strategic Management Institute of Business Administration of the Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, E-mail: dak6966@gmail.com, Moscow (Russia)

Bolshakov Sergey Nikolaevich – Doctor of Political Sciences, Doctor of Economics, Vice-Rector for Academic Affairs, Professor, Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin, tel.: 8(921)6334832, E-mail: snbolshakov@mail.ru, Syktyvkar (Russia)

Gocłowska-Bolek Joanna – Center for Political Analysis, University of Warsaw, tel. 48691445777, E-mail: j.gocłowska-bolek@uw.edu.pl, Warsaw (Poland)

Karakasidou Ellada – A&G, Kotanides LTD, Logistic, tel.: +99346270, E-mail: espavoellada9@gmail.com, Paphos (Cyprus)

Artyukh Angelika Alexandrovna – Doctor of Art History, Professor of the Department of Dramatic and Cinema Studies, St. Petersburg State University of Cinema and Television; tel.: +7(911)9250031; E-mail: s-melnikova@list.ru, St. Petersburg (Russia)

Melnikova Svetlana Ivanovna – Doctor of Art History, Professor, Head of the Department of Dramatic Art and Cinema Studies at the Screen Arts Institute of St. Petersburg State University of Cinema and Television; tel.: +7(911)9250031; E-mail: s-melnikova@list.ru, St. Petersburg (Russia)

Marijan Cingula – Tenured Professor, University of Zagreb, Faculty of Economics and Business, tel.: +385(95)1998925, E-mail: mcingula@efzg.hr, Zagreb (Croatia)

Pukharensky Yuri Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Materials Technology and Metrology at St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences; tel.: +7(921)3245908; E-mail: tsik@spbgasu.ru, St. Petersburg (Russia)

Przygoda Mirosław – Dr. hab., Head of Institute of Economic Analysis and Planning, Department of Management, University of Warsaw, tel.: 225534167, E-mail: mirosławprzygoda@wp.pl, Warsaw (Poland)

Recker Nicholas – PhD, Associate Professor, Metropolitan State University of Denver, tel.: 3035563167, E-mail: nrecker@msudenver.edu, Denver (USA)

Содержание

Строительные конструкции, здания и сооружения

- Карманова М.М., Фомин Н.И., Машкин О.В.** Разработка скрипта для сбора свойств информационной модели, созданной в Renga 6

Строительные материалы и изделия

- Shalomova E.V., Filatova K.D.** Substantiation of Technical Solution for Using Secondary Concrete as Artificial Crushed Stone..... 13

Технология и организация строительства

- Хубаев А.О., Голицын В.С., Макачук М.Р., Кручинов Е.А.** Усиление железобетонных конструкций методом NSM 17

Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

- Saveleva N.N., Savelev Y.V.** Water Purification Technology Using Perennial Aquatic Plants 28

Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды

- Бурмейстер М.В., Самойлов А.А., Чесноков Д.К.** Анализ методик выбора накопителя электроэнергии на основе АКБ для интеграции в микрогрид 33
- Исаков Д.Ф., Поляков Р.Н.** Интеллектуальная навигация беспилотных летательных аппаратов для мониторинга ЛЭП в условиях электромагнитных помех: опыт и перспективы применения визуальных технологий 41

Contents

Civil Structures, Buildings and Related Structures

Karmanova M.M., Fomin N.I., Mashkin O.V. Developing a Script for Collecting Properties of an Information Model Created in Renga.....	8
---	---

Building Materials and Products

Shalomova E.V., Filatova K.D. Substantiation of Technical Solution for Using Secondary Concrete as Artificial Crushed Stone.....	13
---	----

Construction Technology and Management

Khubaev A.O., Golitsyn V.S., Makarchuk M.R., Kruchinov E.A. Strengthening of Reinforced Concrete Structures Using the NSM Method	17
---	----

Environmental Safety of Construction and Urban Economy

Saveleva N.N., Savelev Y.V. Water Purification Technology Using Perennial Aquatic Plants	28
---	----

Methods and Devices for Monitoring and Diagnosing Materials, Products, Substances and the Natural Environment

Burmeister M.V., Samoilov A.A., Chesnokov D.K. Analysis of Methods for Selecting an Electric Energy Storage Device Based on Batteries for Integration into a Microgrid	33
Isakov D.F., Polyakov R.N. Intelligent Navigation of Unmanned Aerial Vehicles for Power Line Monitoring in Conditions of Electromagnetic Interference: Experience and Prospects for the Application of Visual Technologies.....	41

УДК 721.021

Разработка скрипта для сбора свойств информационной модели, созданной в Renga

М.М. Карманова, Н.И. Фомин, О.В. Машкин

ФГБОУ ВО «Уральский федеральный университет имени
первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург (Россия)

Ключевые слова и фразы: объект капитального строительства (**ОКС**); скрипт; технологии информационного моделирования (**ТИМ**); цифровая информационная модель (**ЦИМ**); экспертиза ЦИМ; язык программирования *Python*; *BIM*-система *Renga*; *Renga API*.

Аннотация. Целью исследования являются разработка и реализация алгоритма, выполняющего сбор свойств цифровой информационной модели. Гипотеза исследования: автоматизация проверки свойств позволит сократить время на этапе атрибутивной проработки модели. Применялись методы исследования: анализ, синтез, моделирование. В результате исследования был разработан скрипт «Обозреватель свойств» на языке программирования *Python*. Данный скрипт позволяет собрать информацию о свойствах всех типов объектов ЦИМ, разработанной в системе *Renga*, в едином файле за 1–2 мин., что поможет быстрее и корректнее выполнить подготовку модели для проведения экспертизы.

Введение

При разработке ЦИМ следует придерживаться требований к геометрической и атрибутивной проработке, необходимой для проведения экспертизы проектной документации. Перечень состава элементов и обязательных атрибутов, относящихся к технологическим решениям каждого конкретного объекта капитального строительства, должен быть сформулирован в задании на архитектурно-строительное проектирование [1]. В настоящее время формирование требований к ЦИМ, проходящих государственную экспертизу, формируют сами органы госэкспертизы с учетом специфики работы в собственном регионе РФ [2].

Предпосылки для разработки скрипта

В связи с наличием разных критериев на данный момент универсального способа под-

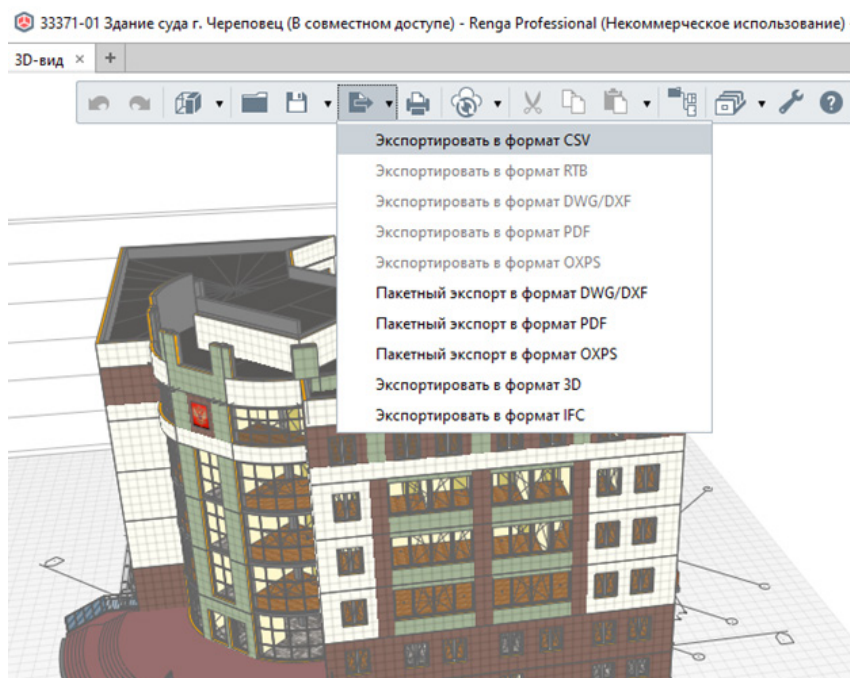


Рис. 1. Выгрузка данных в формат CSV

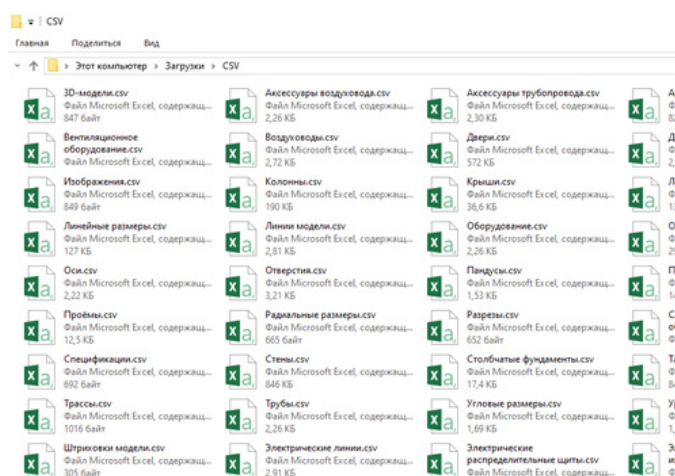


Рис. 2. Результат выгрузки данных в формат CSV

готовки ЦИМ к проверке нет. При работе с большими полноценными проектами количество свойств и атрибутов увеличивается, и приходится вручную перепроверять их наличие и корректность наполнения данными.

Встроенные средства программы *Renga* позволяют использовать для этого спецификации/ведомости, фильтры, а также есть возможность выгружать данные в табличной форме в формате CSV (рис. 1, 2).

При таком способе выгрузки формируется набор из 52 файлов CSV, что соответствует количеству типов объектов. Документы после дополнительного преобразования можно открыть в *Excel*, в определенных случаях это удобно, но это не поможет быстро оценить, все

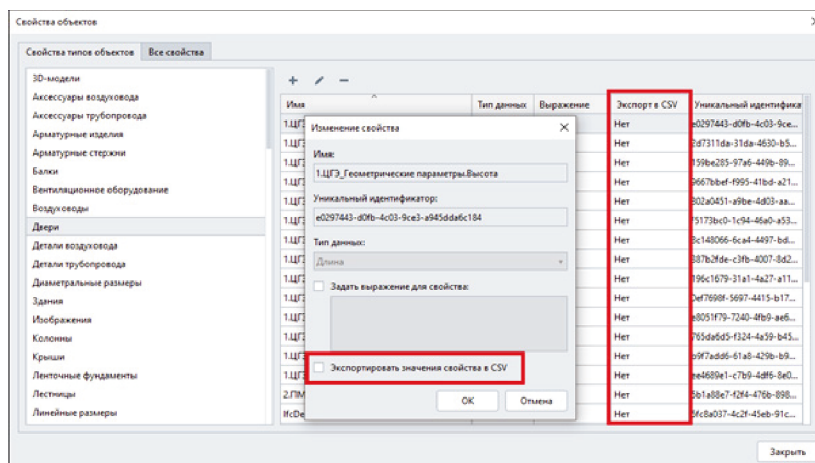


Рис. 3. Опция «Экспортировать значения свойства в CSV»



Рис. 4. Схема взаимодействия Python и Renga

ли требуемые свойства есть в модели и корректно ли задан тип данных.

Важно заметить, что если у свойства не отмечена опция «Экспортировать значения свойства в CSV», то такое свойство не экспортируется (рис. 3) [3].

Обобщенный алгоритм скрипта

Для взаимодействия с проектом с помощью языка программирования используется *Renga API* с поддержкой технологии *COM* для обеспечения доступа к функциям *Renga* (рис. 4) [4].

В предлагаемом разработанном алгоритме выполняется сбор всех свойств, как созданных пользователем, так и по умолчанию представленных в шаблоне (рис. 5).

Для удобного взаимодействия пользователя со скриптом разработан графический интерфейс, что позволяет получить информацию наглядно на экране и при необходимости более полную информацию о каждом свойстве (рис. 6). Для реализации интерфейса использована библиотека *tkinter*.

С помощью разработанной программы можно проверить, все ли необходимые свойства созданы в проекте, правильно ли задан тип данных, а также ко всем ли необходимым элементам привязано определенное свойство.

Разработанный скрипт собирает информацию обо всех свойствах проекта, независимо от того, была ли включена опция «Экспортировать значения свойства в CSV».

Экспорт данных во внешний файл табличной формы позволяет выполнить более глубокий анализ по свойствам проекта и найти ошибки, которые необходимо исправить, на-

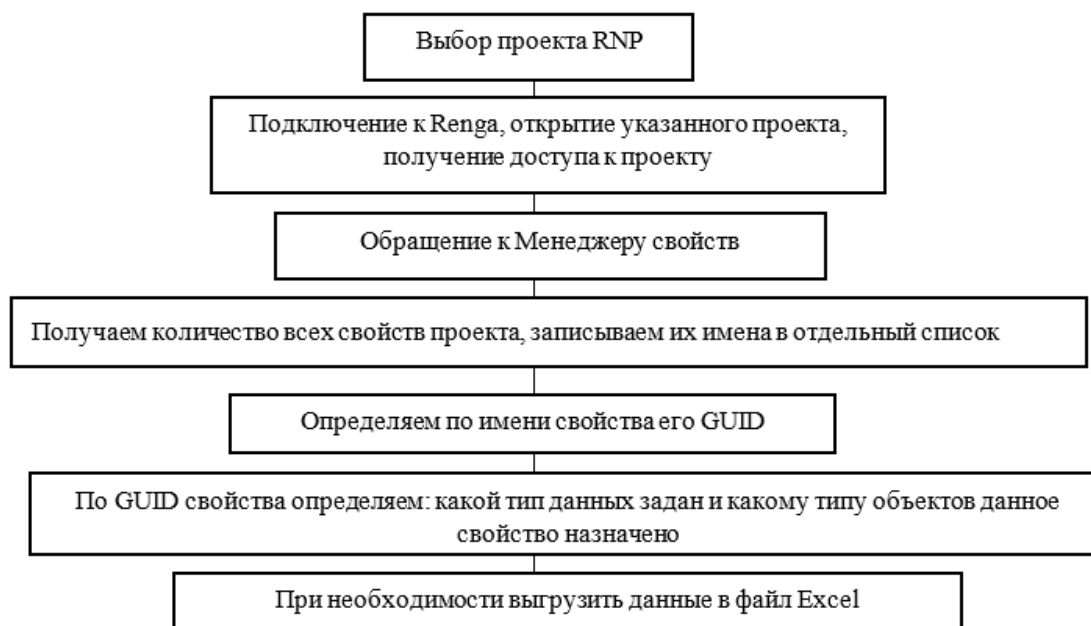


Рис. 5. Обобщенный алгоритм скрипта

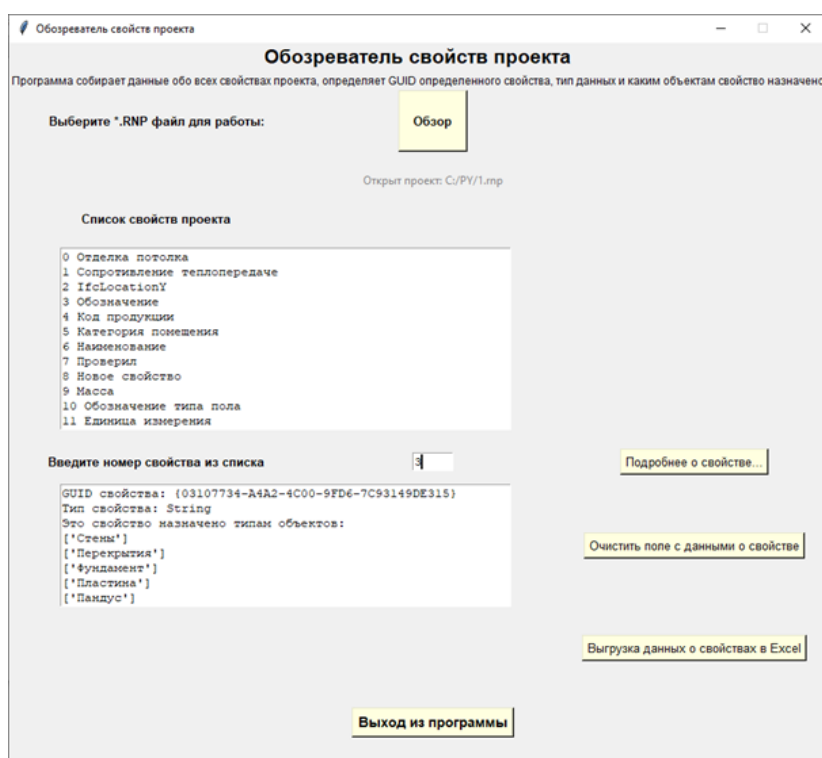


Рис. 6. Пример работы скрипта

пример, выявить отсутствующие свойства, некорректный тип данных или тип объекта, к которому должно быть привязано определенное свойство. Обработку полученного файла можно выполнить средствами *Excel* (рис. 7).

A	B	C
1 Название свойства	GUID свойства	Тип данных свойства
2 Отделка потолка	{9839B619-8CC9-445C-A108-799E6D962EAB}	String
3 Соппротивление теплопередаче	{EB3CB81B-18EF-4299-AAEC-32BC2109E325}	Double
4 IfcLocationY	{215C872E-BE79-4084-BA22-79A967693937}	Length
5 Обозначение	{03107734-A4A2-4C00-9FD6-7C93149DE315}	String
6 Код продукции	{48E12F41-46CF-4D3D-88A2-D7FFF1A48635}	String
7 Категория помещения	{502A2A43-9D1A-4FB6-AE92-7059040B4C98}	String
8 Наименование	{FF2E904E-04E4-4F6E-85D4-A6FA7A7D2CDA}	String
9 Проверил	{08D88B50-2949-403C-952C-7398F755082B}	String
10 Новое свойство	{29715060-F00F-4673-B13A-E74E4FC75A7C}	Double
11 Масса	{942B1B61-FA9B-422A-8BA9-F185996734E0}	Mass
12 Обозначение типа пола	{C4EE2861-B028-4B89-B8FE-C0445721FC89}	String
13 Единица измерения	{3398CC6A-AEEF-4396-B1D0-485EBF9D9D90}	String
14 Обозначение стеклопакета	{4851F07C-2B97-4CDA-9A47-77CF14A8CAB8}	String
15 1.Ц/Э_Геометрические параметры.Высота стены	{853C3691-91C9-421A-A873-A1E44AC9D03A}	Length
16 Примечание	{A4617591-6BCD-4322-BA73-67F011658930}	String
17 Разработал	{D3C51A95-A78D-4572-AC15-DB8C2E9AD885}	String
18 Уклон	{D261B3AA-FDEC-4714-9B42-25BF7B4636B3}	Double
19 Отделка пола	{3713BAAC-2F29-4A49-8C6E-F1910A165E2E}	String
20 1.Ц/Э_Геометрические параметры.Длина стены	{2DEF77AD-924D-4241-961C-493C2F0D5283}	Length
21 Индекс изоляции воздушного шума	{D9B891C2-7D48-4E34-8CB2-4683B2D92DE8}	Double
22 Наименование организации-разработчика	{9B0836CB-EDD5-4A71-9DE4-D2FC6CBA6791}	String
23 IfcLocationX	{EF8BDCES-E68C-4A72-9506-A93919440736}	Length
24 Предел огнестойкости	{5C0FFFE5-5C9B-4540-BD80-6227CF87D635}	String

Рис. 7. Фрагмент экспортированных табличных данных результатов работы скрипта

Таблица 1. Сбор информации о свойствах проекта

Способы сбора информации о свойствах проекта	Среднее значение времени
Создание ведомости/спецификации вручную	На каждый тип объекта: ~2–3 мин. На 52 типа объектов: ~104–156 мин.
Экспорт в формат CSV	52 отдельных файла: ~2 мин.
Использование скрипта	На 52 типа объектов в едином файле: ~1,5–2 мин.

Заключение

Разработанный скрипт можно использовать для готовых проектов в качестве инструмента сбора и проверки свойств, корректности типа данных и их назначения типам объектов. Это позволяет сэкономить время на этапе атрибутивной проработки модели для проведения экспертизы.

Функционал скрипта в дальнейшем можно усовершенствовать, что позволит получать информацию о свойствах конкретного раздела ЦИМ или добавлять недостающие свойства в проект через графический интерфейс [5].

При разработке любого скрипта можно выделить основные логические этапы реализации, что позволяет осваивать методику программирования и автоматизации достаточно быстро и легко даже на начальном уровне обучения [6].

К сожалению, возможности *Python* не позволяют интегрировать скрипт в интерфейс *Renga*, для этого нужно использовать другие программные средства разработки. Но можно преобразовать скрипт в исполняемый файл и использовать без встраивания в программном обеспечении.

Литература

1. СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/5de/SP-333.1325800.2020.pdf>.
2. Развитие информационных технологий в строительстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rengabim.com/stati/prohodim-gosekspertizu-informacionnoj-modeli-pravilno>.
3. Практическое руководство пользователя [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://manual.rengabim.com>.
4. Документация API Renga [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://help.rengabim.com/api>.
5. Статья «Автоматизируем создание свойств» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://blog.rengabim.com/2020/07/blog-post.html>.
6. Карманова, М.М. Методика обучения инженеров-строителей разработке скриптов для Renga на языке Python / М.М. Карманова, О.В. Машкин, М.А. Шестеров // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы VIII Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А.А. Семенова; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2025. – С. 316–324.
7. Крылов, Д.С. Использование библиотеки ТИМ-компонентов для проектирования жилых многоквартирных домов (Корпорация Атомстройкомплекс) / Д.С. Крылов, С.В. Придвижкин, М.М. Карманова, А.В. Сатылаев // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 5(83). – С. 18–24.

References

1. SP 333.1325800.2020 «Informatsionnoye modelirovaniye v stroitel'stve. Pravila formirovaniya informatsionnoy modeli ob'yektov na razlichnykh stadiyakh zhiznennogo tsikla» [Electronic resource]. – Access mode : <https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/5de/SP-333.1325800.2020.pdf>.
2. Razvitiye informatsionnykh tekhnologiy v stroitel'stve [Electronic resource]. – Access mode : <https://rengabim.com/stati/prohodim-gosekspertizu-informacionnoj-modeli-pravilno>.
3. Prakticheskoye rukovodstvo pol'zovatelya [Electronic resource]. – Access mode : <https://manual.rengabim.com>.
4. Dokumentatsiya API Renga [Electronic resource]. – Access mode : <https://help.rengabim.com/api>.
5. Stat'ya «Avtomatiziruyem sozdaniye svoystv» [Electronic resource]. – Access mode : <https://blog.rengabim.com/2020/07/blog-post.html>.
6. Karmanova, M.M. Metodika obucheniya inzhenerov-stroiteley razrabotke skriptov dlya Renga na yazyke Python / M.M. Karmanova, O.V. Mashkin, M.A. Shesterov // Informatsionnoye modelirovaniye v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury: materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii / pod obshch. red. A.A. Semenova; Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet. – Sankt-Peterburg: SPbGASU, 2025. – S. 316–324.
7. Krylov, D.S. Ispol'zovaniye biblioteki TIM-komponentov dlya proyektirovaniya zhilykh

mnogokvartirnykh domov (Korporatsiya Atomstroykompleks) / D.S. Krylov, S.V. Pridvizhkin, M.M. Karmanova, A.V. Satylayev // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 5(83). – S. 18–24.

Developing a Script for Collecting Properties of an Information Model Created in Renga

M.M. Karmanova, N.I. Fomin, O.V. Mashkin

Ural Federal University, Yekaterinburg (Russia)

Key words and phrases: capital construction object (**CCO**); information modeling technologies (**IMT**); digital information model (**DIM**); Renga BIM system; Renga API; script; Python programming language; CIM examination.

Abstract. The aim of the study is to develop and implement an algorithm that collects the properties of a digital information model. The research hypothesis suggests that automation of property checking will reduce the time at the stage of attributive development of the model. The following research methods were used: analysis, synthesis, modeling. As a result of the study, a Property Browser script was developed in the Python programming language. This script allows collecting information about the properties of all types of CIM objects developed in the Renga system in a single file in 1–2 minutes, which will help to prepare the model for examination faster and more correctly.

© М.М. Карманова, Н.И. Фомин, О.В. Машкин, 2025

UDC 691.5

Substantiation of Technical Solution for Using Secondary Concrete as Artificial Crushed Stone

E.V. Shalomova, K.D. Filatova

*Vladimir State University named after Alexander and Nikolay
Stoletovs, Vladimir (Russia)*

Keywords: high-strength concrete; casting technology; artificial crushed stone; artificial aggregate; secondary concrete; texture.

Abstract. The purpose of the article: to justify the technical solution for the use of secondary concrete as artificial crushed stone. The research objectives are to consider the creation of artificial crushed stone using high-strength concrete technologies. The research hypothesis assumes that the use of secondary concrete as artificial crushed stone will expand the possibilities of architectural solutions for the use of composite material without reducing its physical and mechanical properties. Research methods included examination, observation, analysis, synthesis, and generalization. Research results are as follows: in the process of research, we found that the creation of various textures based on high-strength concrete using artificial crushed stone will not differ in the complexity of the technology, which results in a composite structure similar to granite.

Currently, recycling is the current direction, which served as the origin of the purposeful creation of crushed stone from secondary concrete. Recycling implies the processing of “waste”, but passing the freeze-thaw cycles in concrete, the physical and mechanical characteristics decrease, which affects the durability of the final composite. Using the technology of high-strength concrete, you can get not only artificial crushed stone that is not inferior in strength to analogues, but also the ability to adjust its color from pastel to bright colors.

Architectural concrete is mainly made of white cement and components of light shades: white cement Cemix produced by the Republic of Bashkiria; superplasticizer PK-1 manufactured by Polyplast, Novomoskovsk; coarse marble sand of 2–5 mm fraction, Chelyabinsk region; microcalcite 5 µm, Chelyabinsk region; pulverized quartz grade «B», manufactured by Ramensky GOK, Moscow region; white soot BS-50 produced by the Republic of Mordovia; white soot BS-120 produced by the Republic of Mordovia; quartz and PB-150 manufactured by Ramensky GOK, Moscow region.

The same materials are used in the manufacture of artificial crushed stone. Dyeing takes place in bulk by the addition of iron oxide pigments, in this case yellow, green, as well as carbon black. Compression strength is determined on the first day according to samples 100x100x100mm

Table 1. Artificial crushed stone sample compositions

Composition brand	Content of components, wt %						
	Cement Cemix	Supersoftener «Polyplast»	Pigments			Microcalcite (5 μm fraction)	Water
			Yellow	Green	Carbon		
CS-15	54.98	0.82	0.55	3.26	0.38	24.74	15.27
CS-18	55.11	0.84	0.55	3.31	0.22	24.81	15.18
CS-24	55.12	0.83	0.55	3.31	0.14	24.80	15.25

Table 2. Compositions of samples of high-strength concrete

Composition brand	Content of components, wt %									
	Cement Cemix	Supersoftener «Polyplast»	Reactive additives		Microcalcite (5 μm fraction)	B-grade pulverized quartz	Marble sand (fraction 2–5 mm)	Quartz sand	Artificial aggregate	Water
			BS-50	BS-120						
BCS-22	30.79	0.28	0.33	0.46	3.91	14.70	23.51	14.00	6.02	10.89
BCS-26	29.35	0.27	0.31	0.44	3.73	8.69	11.10	25.72	4.82	15.58
BCS-31	31.00	0.28	0.33	0.45	3.93	9.18	15.45	19.43	8.98	10.97

according to GOST 5802-86. Artificial crushed stone is obtained by crushing samples with a press and subsequent sieving.

To create artificial crushed stone, a powder-activated matrix of the first level of Kalashnikov is used. Preservation of mobility is achieved by using microcalcite in the base. The casting technology should be preserved, since large porosity is unacceptable for the aggregate in this case-pores in crushed stone will be visible on the texture. The plasticizer is used for the purpose of self-sealing. Table 1 shows the compositions of the obtained samples.

Table 2 shows the compositions of high-strength concrete using artificial aggregate. The first level matrix and quartz sand are also used. Large marble is used for texturing. Reactive additives thicken the system and give it homogeneity.

Powder-activated cement concrete has high reactive chemical activity due to the use of fine powders. The artificial aggregate on this basis will retain, to some extent, reactive chemical activity. The degree of reactivity will be related to the dimension of the aggregate. The use of an artificial aggregate in the form of a fine powder will play the role of a reactive filler additive. The reactivity increases the adhesion between the aggregate and the binder and thereby increases the strength of the composite. Since the base is similar for the colored crushed stone and the modifying binder of high-strength concrete, the densities, as a result, are approximately the same, due to which the crushed stone in the fluid system will not delaminate.

The detailed content of artificial aggregate in the composite is presented in Table 3 with the properties of concrete on the first day.

Compositions of BTsShch-22, BTsShch-26, BTsShch-31 have a stabilized, cast system that differ in the content of pigments in crushed stone, TsShch-15, TsShch-18, TsShch-24, respectively.

Thus, the use of a plasticizing system on a microcalcite with a high dosage of pigments makes

Table 3. Fractions used and physical and mechanical properties

Brand of composition	Artificial aggregate, %			Properties	
	Fraction 2.5–5 mm	Fraction 1.25–2.5 mm	Fraction 0.316–0.63 mm	Density ρ , kg/m ³	Compression strength R, MPa
BCS-22	1.18	1.69	3.15	2 135	62
BCS-26	1.11	1.62	2.10	2 110	65
BCS-31	1.95	2.73	4.29	2 150	70

it possible to obtain high strength crushed stone of bright color, despite the content of carbon black in the mixture. One of the applications of artificial crushed stone from such a material is the creation of textures similar to natural stones, for example granite, marble, as well as its use in architectural elements (cladding) and decorative products.

Литература

1. Ананьев, С.В. Состав, топологическая структура и реотехнологические свойства реологических матриц для производства бетонов нового поколения: дисс. ... канд. техн. наук / С.В. Ананьев; Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. – Пенза, – 2011. – 162 с.
2. Калашников, В.И. Что такое порошково-активированный бетон нового поколения / В.И. Калашников // Строительные материалы. – 2012. – № 10. – С. 70–71.
3. Колесников, В.А. Разработка методики расчета трещиностойкости железобетонных сборно-монолитных комбинированных перекрытий / В.А. Колесников, А.И. Никулин // Science prospects. – 2024. – № 6. – С. 129–137.
4. Сотскова, К.А. К вопросу оценки эффективности модификаторов в строительных композициях / К.А. Сотскова, Г.А. Корольков, С.А. Евстигнеев, Д.К. Тимохин // Components of Scientific and Technological Progress. – 2025. – № 3(105). – С. 38–44.
5. Филатова, К.Д. Ремонтные составы для стеклофибробетона по технологии порошковой активации минеральных систем / К.Д. Филатова, Г.А. Лазарев, С.В. Ананьев // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов – 2023 : Материалы XVIII Международной научно-технической конференции молодых ученых, посвященной памяти профессора В.И. Калашникова. Под общей редакцией М.О. Коровкина и Н.А. Ерошкиной (Пенза, 25-27 октября 2023). – Пенза : Издательство : Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2023. – С. 227–230.

References

1. Anan'yev, S.V. Sostav, topologicheskaya struktura i reotekhnologicheskiye svoystva reologicheskikh matrits dlya proizvodstva betonov novogo pokoleniya: diss. ... kand. tekhn. nauk / S.V. Anan'yev; Penzenskiy gosudarstvennyy universitet arkhitektury i stroitel'stva. – Penza, – 2011. – 162 s.
2. Kalashnikov, V.I. Chto takoye poroshkovo-aktivirovanny beton novogo pokoleniya / V.I. Kalashnikov // Stroitel'nyye materialy. – 2012. – № 10. – S. 70–71.
3. Kolesnikov, V.A. Razrabotka metodiki rascheta treshchinostoykosti zhelezobetonnykh

sborno-monolitnykh kombinirovannykh perekrytiy / V.A. Kolesnikov, A.I. Nikulin // Science prospects. – 2024. – № 6. – S. 129–137.

4. Sotskova, K.A. K voprosu otsenki effektivnosti modifikatorov v stroitel'nykh kompozitsiyakh / K.A. Sotskova, G.A. Korol'kov, S.A. Yevstigneyev, D.K. Timokhin // Components of Scientific and Technological Progress. – 2025. – № 3(105). – S. 38–44.

5. Filatova, K.D. Remontnyye sostavy dlya steklofibrobetona po tekhnologii poroshkovoy aktivatsii mineral'nykh sistem / K.D. Filatova, G.A. Lazarev, S.V. Anan'yev // Teoriya i praktika povysheniya effektivnosti stroitel'nykh materialov – 2023 : Materialy XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy pamyati professora V.I. Kalashnikova. Pod obshchey redaktsiyey M.O. Korovkina i N.A. Yeroshkinoy (Penza, 25-27 oktyabrya 2023). – Penza : Izdatel'stvo : Penzenskiy gosudarstvennyy universitet arkhitektury i stroitel'stva, 2023. – S. 227–230.

Обоснование технического решения по использованию вторичного бетона в качестве искусственного щебня

Е.В. Шаломова, К.Д. Филатова

*ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени
А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Владимир (Россия)*

Ключевые слова и фразы: вторичный бетон; высокопрочный бетон; искусственный заполнитель; искусственный щебень; литевая технология; фактура.

Аннотация. Цель статьи – обосновать техническое решение по использованию вторичного бетона в качестве искусственного щебня. Задачи исследования: рассмотреть создание искусственного щебня по технологиям высокопрочного бетона. Гипотеза исследования: мы предполагаем, что использование вторичного бетона в качестве искусственного щебня расширит возможности архитектурных решений применения композитного материала без снижения его физико-механических свойств. Методы исследования: изучение, наблюдение, анализ, синтез, обобщение. Достигнутые результаты исследования: в процессе исследования мы установили, что создание различных фактур на основе высокопрочного бетона с использованием искусственного щебня не будет отличаться сложностью технологии, в результате которой получается композит по структуре, подобный граниту.

© E.V. Shalomova, K.D. Filatova, 2025

УДК 624.012.45

Усиление железобетонных конструкций методом NSM

А.О. Хубаев, В.С. Голицын, М.Р. Макаrchук, Е.А. Кручинов

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Москва (Россия)

Ключевые слова и фразы: внешнее армирование; метод *EBR*; метод *NSM*; обследование; реконструкция; строительные конструкции; усиление; усиление конструкций; усиление конструкций композитными материалами; *Externally Bonded Reinforcement*; *Near-Surface Mounted Reinforcement*.

Аннотация. Работа посвящена новому методу усиления строительных конструкций композитными материалами – методу *NSM*. В статье рассматриваются наиболее распространенные способы усиления элементов зданий в Российской Федерации, далее приводятся ключевые технологические аспекты применения данного способа усиления железобетонных конструкций методом *NSM*, осуществляется сравнение метода *NSM* с его альтернативой – методом *EBR (EPT)*. В результате была составлена сравнительная таблица ключевых аспектов применения обоих методов усиления железобетонных конструкций с использованием различных применяемых в методах армирующих материалов.

Введение

В настоящее время в Российской Федерации активно применяются современные технологии по усилению несущих элементов зданий с использованием композитных материалов. В зарубежной практике и литературе подробно описаны два основных метода усиления конструкций композитными материалами: метод *Externally Bonded Reinforcement (EBR или EPT)* и метод *Near-Surface Mounted Reinforcement (NSM)*. В отечественной литературе отсутствуют упоминания о применении метода *NSM* на территории России. Очевидно, внедрению метода в нашей стране мешает недостаточность теоретической основы из нормативной документации для проектирования усиления конструкций методом *NSM*. Также внедрению новой технологии мешает отсутствие теории организационно-технологического проектирования данного метода усиления: отсутствует типовая документация, которую можно было бы отредактировать под конкретный объект. Исследование современных методов усиления несущих конструкций зданий композитными материалами весьма

актуально.

Целью исследования является повышение эффективности усиления железобетонных конструкций с использованием композитных материалов в Российской Федерации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач. Нужно с опорой на отечественные и зарубежные источники осуществить анализ технологий, применяемых при усилении железобетонных конструкций в Российской Федерации, раскрыть сущность метода усиления железобетонных конструкций технологией *NSM*, описать область его применения, его технологические аспекты, выделить преимущества и недостатки метода.

Традиционные методы усиления железобетонных конструкций

По данным Росстата и Минстроя России в 2024 г., состояние 25–30 млн кв. м. жилых построек было признано аварийным. Долгий срок эксплуатации существующей застройки делает актуальным вопрос усиления несущих конструкций, имеющих высокую степень износа.

Здания требуют мероприятий по усилению их несущих конструкций под влиянием различных факторов, среди которых можно выделить ключевые: физический износ, нарушение условий ведения эксплуатации, ошибки, допущенные при разработке проекта, нарушения технологии производства работ, изменение режима эксплуатации, изменения грунтовых условий, воздействия пожара, взрыва, землетрясения, наводнения и пр. Текущее техническое состояние здания, его степень физического износа определяются в ходе комплексного инженерно-технического обследования. По результатам обследования, на основании поверочных расчетов выявляются конструкции, несущая способность которых исчерпана. В зависимости от степени износа, дефектов, условий эксплуатации и оставшейся несущей способности элементов здания в проекте осуществляется выбор метода усиления [1].

Рассмотрим наиболее часто применяемые методы усиления несущих конструкций зданий в Российской Федерации. Методы усиления несущих элементов зданий делят на категории: усиление с изменением расчетной схемы и без изменения расчетной схемы усиливаемой конструкции. В данной статье будут рассмотрены методы усиления последней категории.

Рассмотрим внешнее армирование конструкций с использованием обоймы из железобетона. Принцип метода заключается в увеличении сечения конструкции за счет наращивания арматуры и бетона по ее периметру [2]. Из-за высокой плотности бетона данный метод приводит к дополнительным нагрузкам на нижестоящие конструкции, на основание и фундамент, требуются дополнительные расчеты. Увеличение объема конструкции уменьшает полезную площадь здания, данный фактор исключает возможность использования метода при ряде случаев, когда изменение технико-экономических показателей (**ТЭП**) здания недопустимо. Стоит отметить, что метод имеет значительную трудоемкость.

Также существует внешнее армирование конструкций с использованием обоймы из стальных профилей. Суть метода заключается в снижении напряжений в ослабленной конструкции за счет их перераспределения со стальной обоймой [2]. К данному методу обращаются в случаях, когда изменение площади помещений недопустимо или когда работы необходимо провести все оперативно. Внешнее армирование стальными профилями



Рис. 1. Колонны промышленного объекта, усиленные внешним армированием с использованием стальной обоймы



Рис. 2. Усиление железобетонной колонны методом EBR

существенно меняет облик конструкции, это ограничивает область применения метода. Данный метод является довольно металлоемким, поэтому его применение может быть неоправданным в ряде случаев с экономической точки зрения.

Применение описанных в статье методов внешнего армирования, в том числе методами EBR, EPT и NSM, исключено без мероприятий по омоноличиванию трещин, сколов бетона, пор, пустот, удалению исчерпавшего несущую способность слоя бетона конструкции. Поэтому при разработке технологии усиления учитывается применение инъектирования, торкретирования, применение ремонтных смесей, герметиков и пескоструйной обработки элемента и т.д. [4].



Рис. 3. Усиление железобетонного перекрытия методом *EPT*

Технологии усиления элементов зданий методами *EBR*, *EPT* и *NSM*

Внешнее армирование конструкций с использованием углеродных ламелей и холстов – метод *EBR* (*EPT*) (в отечественных источниках – «метод внешнего армирования»). Суть технологии заключается в наклейке на предварительно обработанную поверхность железобетонного элемента бондажей из углеволокна.

Следует разделять методы: *EBR* – метод усиления конструкции холстами и *EPT* – метод усиления конструкции ламелями. Ключевое отличие усиления из холстов и из ламелей заключается в восприятии нагрузок: волокна углеволокна в холстах располагаются перпендикулярно друг другу, в то время как волокна в ламелях располагаются в одном направлении.

Таким образом, имея свойство воспринимать нагрузки в двух направлениях, усиление *EBR* может быть выполнено в виде обоймы, в таком случае холсты устанавливаются по периметру сечения элемента. Усиление *EBR* предпочтительно, когда усиляемая конструкция имеет сложную геометрическую форму или при производстве работ представляется возможность обернуть конструкцию по периметру.

Усиление методом *EPT* выполняется путем наклейки углеродных лент на сторону железобетонного элемента, подверженную растяжению.

Состав технологических операций при усилении конструкции методом *EBR*: обработка бетонной поверхности; снятие слоя бетона, потерявшего прочность; нанесение слоя грунтовки на конструкцию; нанесение клеевого состава на конструкцию; установка холстов; пропитка холстов армирующим составом; огнезащита.

Усиление методом *EBR* (*EPT*) – как холстами, так и ламелями – может вестись в несколько слоев, они скрепляются между собой и пропитываются армирующим составом.

Состав технологических операций при усилении конструкции методом *EPT*: обработка бетонной поверхности; снятие слоя бетона, потерявшего прочность; резка и разметка материалов усиления; нанесение клеевого состава на усиливаемую конструкцию; нанесение

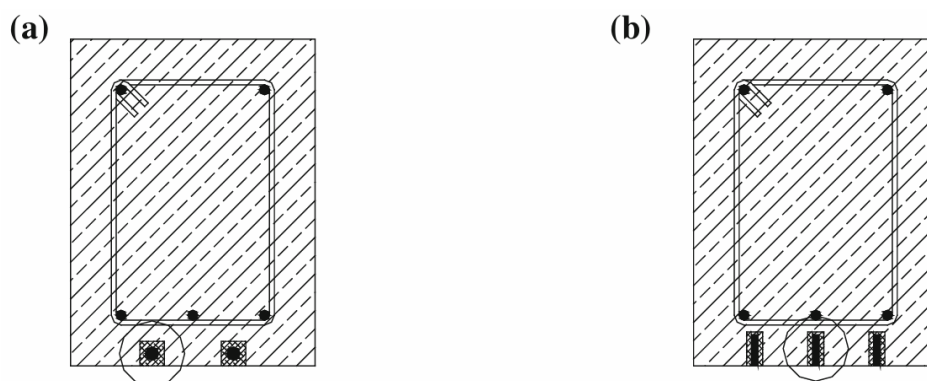


Рис. 4. Разрез ж/б балки, усиленной системой *NSM* с применением композитной арматуры круглого и прямоугольного профиля

клеевого состава на ламель; установка ламелей в несколько слоев; разглаживание поверхности ламелей; огнезащита.

Технология усиления конструкций композитными материалами методом *NSM* (в отечественных источниках – «метод затяжки») возникла в начале 2000-х гг. как альтернатива методу *EBR* (*EPT*) [6]. Концепция технологии *NSM* возникла еще значительно ранее, в 1940-х гг. в странах Европы. Метод был впервые применен в Швеции при реконструкции моста. Суть метода заключалась в установке стальной арматуры в предварительно заготовленные каналы на поверхности железобетонной конструкции с последующим заполнением их цементным раствором.

Спустя несколько десятилетий технология приобрела другой вид. Отличие современного метода *NSM* от аналога, как правило, заключается в применении вместо арматуры из стали арматуры из композитных материалов, при этом заполнение штробы вместе с армированием выполняется двухкомпонентным эпоксидным или полимерцементным клеем. Роль связующего материала заключается в передаче напряжений от усиливаемого элемента таким образом, чтобы при действии нагрузок на конструкцию образовалась система, включающая в работу армирование.

Состав технологических операций при усилении конструкции методом затяжки *NSM*: подготовка канавок на поверхности усиливаемого элемента при помощи штробореза и отбойного молотка; придание поверхности канавки шероховатости при помощи наждачной бумаги; очистка штробы от пыли сжатым воздухом; обработка применяемого армирования ацетоном; нанесение адгезива тонким слоем по периметру штробы; установка арматуры в паз; фиксация арматуры на слое адгезива; создание предварительного напряжения путем натяжения армирования на домкраты; окончательное заполнение канавки с арматурой связующим составом; выравнивание поверхности связующего состава при помощи шпателя; выдерживание связующего состава; снятие предварительного напряжения.

Преимущества и особенности применения метода *NSM*

Особенностью метода *NSM* является возможность применения в технологии усиления армирующих стержней как из стали, так и из различных композитных материалов: углепластика, стеклопластика, базальткомпозита, арамида. Выбор стального армирова-

ния, несмотря на лучшие прочностные характеристики арматуры из композитов, может быть в ряде случаев более предпочтительным: характер разрушения элемента, усиленного стальными стержнями, – пластический, в то время как стержнями из композита – хрупкий. В исследовании [10] было установлено, что применение в методе *NSM* стальной арматуры со специальным ребристым резьбовым профилем значительно увеличивает сцепление с адгезионным составом усиленного элемента и его несущую способность на фоне обычной стальной арматуры. Композитная арматура может выполняться в виде стержней различных форм поперечного сечения (круглое, прямоугольное, квадратное), а также различного профиля (гладкого, ребристого, подверженного пескоструйной обработке и пр.). В роли связующего материала могут выступать эпоксидный клей, полимерцементное связующее или цемент. Связующий материал во многом детерминирует поведение усиленного элемента под нагрузкой: ряд исследований показывает, что наибольшее сцепление арматуры и железобетонного элемента можно добиться, применяя двухкомпонентный эпоксидный состав, при этом использование цементного связующего может быть ограниченным из-за повышенных требований к трещиностойкости. Выбор того или иного материала применяемой арматуры, его свойств, геометрических характеристик ее сечения, выбор типа связующего материала индивидуален для каждого конкретного случая организации проведения работ. Преимуществом применения в технологии *NSM* армирования из композитных материалов является их коррозионная стойкость, данное свойство считается критически важным при расположении армирования вблизи поверхности элемента. Также среди преимуществ применения композитов в методах *EBR*, *EPT*, *NSM* следует выделить их малый вес, а также прочностные и жесткостные характеристики, сравнимые с характеристиками стальной арматуры.

Недостатком композитного армирования, общим для всех представленных в статье методов усиления, является низкая огнестойкость связующего материала между железобетоном и армированием. В исследовании [4] было установлено, что образцы, армированные методом *EBR* при воздействии температуры 800° в течение трех часов, потеряли до 90 % массы эпоксидного связующего в ходе эксперимента. Было установлено, что по результатам термического воздействия снижение массы армирования стеклопластиком и углепластиком было незначительным (до 10 %). Далее в исследовании [4] приводится эксперимент испытаний на огнестойкость железобетонных плит, усиленных методом *NSM*, с различными типами связующего. В результате был сделан вывод о том, что конструкции, усиленные методом *NSM*, сопротивляются воздействию огня в течение нескольких часов, при этом существенное увеличение огнестойкости возможно добиться, используя полимерцементное связующее. Тем не менее в проекте усиления с применением композитных материалов как методом *EBR* (*EPT*), так и методом *NSM* необходимо предусмотреть огнезащиту усиливаемой конструкции и ее внешнего армирования. При этом объем работ мероприятий по огнезащите усиленной конструкции и ее внешнего армирования методом *NSM* представляется значительно меньше, чем для альтернативного метода.

Большинство исследований показывает, что системы усиления конструкций методом *NSM* существенно лучше реализуют потенциал применяемых композитных материалов с точки зрения прироста несущей способности усиленного элемента, в сравнении с методом *EBR* (*EPT*), за счет лучших характеристик сцепления с бетоном [7]. В зарубежных источниках способы внешнего армирования конструкций по использованию в технологии предварительного напряжения разделяют на «активное» и «пассивное» усиление. Усиление *EBR*, *EPT* и *NSM* может значительно повысить предел прочности железобетонного эле-

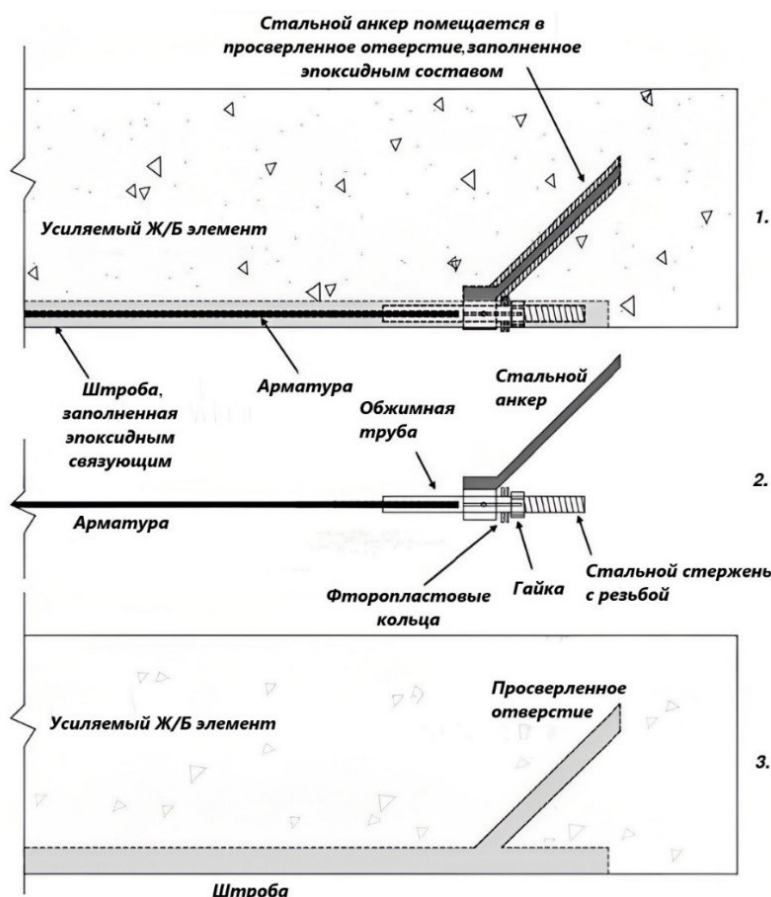


Рис. 5. Система создания перенапряжения арматуры для метода *NSM*, предложенная исследователем Де-Лорензисом [7]

мента, однако оно существенно не меняет поведение элемента под эксплуатационными нагрузками и не увеличивает жесткость элемента. Чтобы добиться увеличения жесткости усиливаемого элемента, система усиления должна быть «активной», это означает, что для повышения эффективности использования применяемого материала армирование должно быть предварительно напряженным. Однако необходимо отметить: предварительно напряженное армирование из композитных материалов существенно теряет свойство пластичности из-за специфики применяемого материала усиления.

Важным аспектом применения метода *NSM* является возможность подачи устанавливаемому армированию предварительного напряжения различными технологиями, применение того или иного метода создания предварительного напряжения обуславливается условиями производства работ и типом усиливаемой конструкции.

С другой стороны, поскольку усиление методом *EPT* выполняется плоскими лентами, предварительное напряжение армирования данным способом может быть затруднено. В обоих случаях необходимо применение специализированных домкратов и анкерующих устройств, при этом трудоемкость процесса усиления конструкции с предварительным напряжением значительно увеличивается, необходимы принятие и осуществление дополнительных организационно-технологических решений по монтажу и последующему демонтажу анкерных устройств и домкратов, необходимо выделение времени на набор прочности клеевым составом перед снятием предварительного напряжения

Таблица 1. Сравнение ключевых характеристик методов *NSM*, *EBR* и *EPT*

Критерий сравнения	Метод усиления				
	Метод <i>NSM</i> , арматура стекловолоконная (Композит 21)	Метод <i>NSM</i> , арматура углеволоконная (<i>MBrace Rod CF 165/3 000</i>)	Метод <i>NSM</i> , Арматура стальная (A500 по ГОСТ 34028-2016)	Метод <i>EBR</i> , углеволоконные холсты (<i>Fiber Arm Tape</i>)	Метод <i>EPT</i> , углеволоконные ламели (<i>Fiber Arm Lamel</i>)
Прочностные характеристики материала усиления*	Сопротивление растяжению $R = 1\ 100$ МПа, на сжатие материал не работает, модуль упругости материала на растяжение $E = 54,3$ ГПа	Сопротивление растяжению $R = 3\ 000$ МПа, на сжатие материал не работает, модуль упругости материала на растяжение $E = 165$ ГПа	Нормативное сопротивление арматуры растяжению/сжатию $R = 500$ МПа, модуль упругости $E = 200$ ГПа,	Сопротивление растяжению $R = 3\ 000$ МПа, на сжатие материал не работает, модуль упругости материала на растяжение $E = 200$ ГПа	Сопротивление растяжению $R = 3\ 500$ МПа, на сжатие материал не работает, модуль упругости материала на растяжение $E = 170$ ГПа
Трудоемкость монтажа системы усиления	Трудоемкость монтажа системы определяется трудовыми затратами на: подготовку канавок на ж/б элементе, обработку штробы по периметру, нанесение адгезива по периметру штробы, установку арматуры, заполнение канавки с арматурой связующим составом, выдерживание связующего состава до набора прочности			Трудоемкость монтажа системы определяется трудовыми затратами на: обработку бетонной поверхности, нанесение слоя грунтовки и клеевого состава на усиливаемую конструкцию, установку холстов (ламель)	
Создание преднапряжения армирования	Создание предварительного напряжения возможно путем применения специализированных систем домкратов			Придание предварительного напряжения армированию усложнено, необходимо применение специальных техник его создания и специального оборудования	
Характеристики огнестойкости усиленного элемента	За счет расположения армирования в штробе обеспечение требуемой огнестойкости возможно за счет минимальных мероприятий по огнезащите			Степень огнестойкости критически зависит от использования эффективной теплоизоляции	
Показатели надежности системы усиления	Стойко к влажным и химически агрессивным средам, подвержено старению в ходе эксплуатации		Приповерхностное усиление из стали существенно подвержено коррозии	Стойко к влажным и химически агрессивным средам, подвержено старению в ходе эксплуатации	

армирования [10].

Стоит отметить, что в ряде случаев применение техники *NSM* является существенно менее экономичным решением в сравнении с альтернативным методом. Это объясняется высокой стоимостью применяемого армирования, связующего состава, а также значительной трудоемкостью процесса штробления канавок для установки арматуры. В ходе проведения работ неизбежен перерасход дорогостоящего связующего состава. При этом, с другой стороны, в зависимости от степени износа конструкции, усиление методом *EBR* (*EPT*) будет требовать различных мероприятий по предварительной подготовке бетонной поверхности усиливаемого элемента, в частности, перед наклейкой армирования технологией предусматриваются обработка бетонной поверхности, снятие слоя бетона,

потерявшего несущую способность, нанесение на обработанную поверхность грунтовок. Возможно, при прочих равных, применение метода *NSM* даст преимущество в снижении трудозатрат процесса монтажа системы усиления за счет меньших требований к обработке бетонной поверхности усиливаемого элемента, требований к мероприятиям по его огнезащите [9].

Таким образом, нельзя однозначно дать оценку экономичности метода *NSM*, каждый отдельный случай усиления конструкции требует технико-экономического обоснования.

Сравнение ключевых аспектов методов представлено в табл. 1.

Заключение

В заключение необходимо отметить: применение метода *NSM* при усилении железобетонных конструкций зданий имеет значительный потенциал. На основании изученной литературы можно сделать вывод о существенной эффективности нового метода усиления железобетонных конструкций в сравнении с аналогичными методами *EBR (EPT)*. Перспективы дальнейшего исследования заключаются в поиске возможных способов удешевления технологии производства работ усиления конструкций методом *NSM*.

Литература

1. СП 164.1325800.2014 Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами. Правила проектирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : minstroyrf.gov.ru/docs/3826.
2. Пистун, А.А. Способы и методы усиления железобетонных конструкций / А.А. Пистун // Международная научно-практическая конференция: Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар [Электронный ресурс]. – Режим доступа : cyberleninka.ru/article/n/sposoby-i-metody-usileniya-zhelezobetonnyh-konstruktsiy.
3. Маилян, Д.Р. Свойства материалов, используемых при исследовании работы усиленных железобетонных конструкций / Д.Р. Маилян, П.П. Польской, С.В. Георгиев // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 2.
4. Смоляго, Г.А. Обзор эффективности усиления полимеркомпозитными материалами. Огнестойкость конструкции / Г.А. Смоляго, Я.Л. Обернихина // Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова [Электронный ресурс]. – Режим доступа : cyberleninka.ru/article/n/obzor-effektivnosti-usileniya-polimerkompozitnymi-materialami-ognestoykost-konstruktsiy.
5. Морозова, Ю.А. Методы контроля качества усиления железобетонных конструкций системами внешнего армирования из композитных материалов / Ю.А. Морозова, Г.Э. Окольников // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2024. – Т. 24. – № 3. – С. 15–23.
6. Burke, P.J. Low and High Temperature Performance of Near Surface Mounted FRP Strengthened Concrete Slabs / P.J. Burke. – Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, 2008. – P. 11–30.
7. De Lorenzis, L. Near-surface mounted FRP reinforcement: An emerging technique for strengthening structures / L. De Lorenzis, J.G. Teng // Composites Part B: Engineering. – 2007. – Vol. 38. – No. 1. – P. 119–143.

8. Szabó, Z.K. Near surface mounted FRP reinforcement for strengthening of concrete structures / Z.K. Szabó, G.L. Balázs // *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. – 2007. – Vol. 51. – No. 1. – P. 33–38. – Режим доступа : doi.org/10.3311/pp.ci.2007-1.05.
9. Sena-Cruz, J. NSM systems / J. Sena-Cruz, J. Barros, V. Bianco, A. Bilotta, D. Bournas, F. Ceroni, G. Dalfré, R. Kotynia, G. Monti, E. Nigro, T. Triantafillou // *Design Procedures for the Use of Composites in Strengthening of Reinforced Concrete Structures: State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee* / Eds.: C. Pellegrino, J. Sena-Cruz. – Springer Netherlands, 2016. – P. 303–348.
10. Повышение эффективности сортировки мусорных отходов использованием современных технологий / А.О. Хубаев, В.С. Голицын, М.С. Бужынский, Н.В. Макаев // *Components of Scientific and Technological Progress*. – 2023. – № 12(90). – С. 91–98.

References

1. SP 164.1325800.2014 Usileniye zhelezobetonnykh konstruktsiy kompozitsionnymi materialami. Pravila proyektirovaniya [Electronic resource]. – Access mode : minstroyrf.gov.ru/docs/3826.
2. Pistun, A.A. Sposoby i metody usileniya zhelezobetonnykh konstruktsiy / A.A. Pistun // *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya: Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, g. Krasnodar* [Electronic resource]. – Access mode : cyberleninka.ru/article/n/sposoby-i-metody-usileniya-zhelezobetonnyh-konstruktsiy.
3. Mailyan, D.R. Svoystva materialov, ispol'zuyemykh pri issledovanii raboty usilennykh zhelezobetonnykh konstruktsiy / D.R. Mailyan, P.P. Pol'skoy, S.V. Georgiyev // *Inzhenernyy vestnik Dona*. – 2013. – № 2.
4. Smolyago, G.A. Obzor effektivnosti usileniya polimerkompozitnymi materialami. Ognestoykost' konstruktsii / G.A. Smolyago, YA.L. Obernikhina // *Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet im. V.G. Shukhova* [Electronic resource]. – Access mode : cyberleninka.ru/article/n/obzor-effektivnosti-usileniya-polimerkompozitnymi-materialami-ognestoykost-konstruktsiy.
5. Morozova, YU.A. Metody kontrolya kachestva usileniya zhelezobetonnykh konstruktsiy sistemami vneshnego armirovaniya iz kompozitnykh materialov / YU.A. Morozova, G.E. Okol'nikova // *Vestnik YUUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i arkhitektura»*. – 2024. – T. 24. – № 3. – S. 15–23.
10. Povysheniye effektivnosti sortirovki musornykh otkhodov ispol'zovaniyem sovremennykh tekhnologiy / A.O. Khubayev, V.S. Golitsyn, M.S. Buzhynskiy, N.V. Makayev // *Components of Scientific and Technological Progress*. – 2023. – № 12(90). – S. 91–98.

Strengthening of Reinforced Concrete Structures Using the NSM Method

A.O. Khubaev, V.S. Golitsyn, M.R. Makarchuk, E.A. Kruchinov

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia)

Key words and phrases: building structures; reinforcement; reconstruction; survey; reinforcement of structures; reinforcement of structures with composite materials; external reinforcement; NSM method; EBR method; near-surface mounted reinforcement; externally

bonded reinforcement.

Abstract. The paper describes a new method of strengthening building structures with composite materials – the NSM method. The article considers the most common methods of strengthening building elements in the Russian Federation, then provides key technological aspects of the application of this method of strengthening reinforced concrete structures by the NSM method, a comparison of the NSM method with its alternative – the EBR (EPT) method. As a result, a comparative table of the key aspects of the application of both methods of strengthening reinforced concrete structures using various reinforcing materials used in the methods was compiled.

© А.О. Хубаев, В.С. Голицын, М.Р. Макаrchук, Е.А. Кручинов, 2025

UDC 696.1.

Water Purification Technology Using Perennial Aquatic Plants

N.N. Saveleva, Y.V. Savelev

Tyumen Industrial University, Tyumen (Russia)

Keywords: clean-up of water bodies; higher aquatic perennial plants; water resources; environmental pollution reduction technology.

Abstract. The aim of our research is to develop an environmentally friendly technology for reducing oil pollution in water bodies. The technology of purification of water bodies with use of high aquatic perennial plants in conditions of Western Siberia and Far North was created. Methods of literature study on the topic of research and analysis of scientific sources. Determination of the number of phytomodules per unit area by calculation method to reduce the content of petroleum products in the water. Based on scientific analysis, a set of high aquatic perennial plants for purification of water bodies from petroleum products is proposed. The proposed technology is based on natural mechanisms of transformation of technogenic water bodies into natural environment in the form of lakes and marshes. For the functioning of phyto-cleaning systems, perennial macrophytes are used which are submerged in water in shallow water and grow actively immersed in water completely or mostly. These are plants that accumulate a large biomass and can effectively remove pollutants from water. The proposed technology will improve the pollution of water bodies and will improve the ecology of Western Siberia and the Far North.

It is known that the main deposits of hydrocarbons in Russia are located in Western Siberia and the Far North. Oil production leads to waste, which ends up in water bodies. According to the World Health Organization, every tenth person in the world suffers from poor quality drinking water. More and more water sources are polluted by human activities every year.

To prevent adverse environmental effects, standards are set for permissible concentrations of pollutants in water bodies. The main rule is the maximum permissible concentration of harmful substances in water [1]. Exceeding the established limit of harmful substance concentration harms aquatic flora and fauna. Large amounts of harmful substances can even lead to the death of plants and animals, which is unacceptable. With an increase in the permissible concentration of harmful substances, it is necessary to monitor water bodies and prevent uncontrolled pollution, and to clean up water continuously.

Water treatment may include mechanical, chemical, physico-chemical and biological treatment, the latter in natural and artificial biological lakes and marshes. In addition, the bottom and banks of natural shallow biological marshes consist of peat substrates. The lakes and marshes are mostly covered with perennial moisture-loving vegetation. On them grow, for example, cereal, sedge, succulent (oaks) plants, fragrant air, evergreen shrubbery (swamp myrtle, subbel, sagittarius). It has hydrological and geochemical properties that allow high-quality purification of petroleum products. Natural shallow biological swamps can effectively clean up water bodies in the conditions of Western Siberia and the Far North, as there are many marshes and lakes. Biological lakes and swamps allow to clean water bodies from harmful pollution under certain conditions. The cleaning conditions are different filters. It can be sand, pebbles, gabions. In the lakes and swamps on shallow water are planted perennial aquatic plants. For the organization of water purification, it is possible to use many lakes and marshes that are located in Western Siberia and the Far North. Usually, the lakes and marshes are selected near wells for oil extraction. Along the shore are installed gabion structures. Bacteria are placed in the water and special aquatic plants are planted. The ecological purification of petroleum products takes place in the roots of aquatic plants, under the influence of special microbes. After the purification of petroleum products, the water enters the natural environment: lakes, marshes and rivers.

The main field of application of plant treatment facilities – purification and post-treatment of water bodies, industrial effluents. Beautifully designed landscapes improve the appearance of water bodies. It is possible to use the lake for rest and walks for everyone, the diversity of aquatic plants increases.

Lakes and ponds have been used for cooling and cleaning harmful emissions of petroleum products for several decades. Water treatment plants are used in almost all countries of the world where hydrocarbons are extracted. Great popularity is due to low cost and ease of use. In Western Siberia this experience is promising. Figure 2 shows the different types of bioplastic for oil removal depending on the direction of flow. The use of bioplastic is due to the ease of maintenance of natural water bodies, the possibility of continuous cleaning of petroleum products and other contaminants. Bioplastic works for a long time due to the possibility of recovery using various microorganisms living in root systems of aquatic plants. Therefore, for high-quality and fast water purification, the establishment of aquatic vegetation is necessary. When discharging the effluent into the water, it is necessary to first purify them by mechanical cleaning to remove the suspended impurities.

For active cleaning of petroleum products and polluting particles, it is necessary that the water flows continuously through the water object. The flows moving under the surface of the water through the phyto-system, on which aquatic plants grow, are cleaned from petroleum products and other contaminants. Bacteria living in the roots of aquatic plants are responsible for the degradation and absorption of harmful particles. Water flows should be uniform and distributed over the entire surface of the pond. If this condition is not met, stagnant zones will be formed in lakes and marshes. The process of cleaning petroleum products will be disrupted. There will be patches of residual pollution. They will eventually spread throughout the water.

Creating uniform currents is a rather difficult task in natural water bodies. In lakes and swamps, the water flows are practically not moving, forming stagnant zones. For sewage treatment plants, you need to create a uniform laminar movement with the same flow rate of liquid. Figure 2 shows the different types of phyto-systems according to the direction of flow. Depending on the direction of movement of the liquid, different types of higher aquatic vegetation are planted. Also, the growth of green mass occurs in different volumes and directions depending on the speed and direction of water flow.

Usually, it is several bodies of water that are arranged in a sequence. The movement of a liquid occurs due to different levels of liquid in sequentially arranged bodies of water. For example, a cascade of lakes on Lake Nizhniy Kaban in Kazan. The aim is to create a uniform flow of liquid. On the lake of Nizhniy Kaban, sewage treatment plants were created, which consist of a cascade of lakes, gabions, aquatic plants. In the course of a scientific experiment, the authors found that phytomass successfully cleanses the water from contaminants provided by laminar flow of liquid, additional aeration, settlement on the lake of microorganisms and higher aquatic plants.

In the city of Kazan, the Institute of Ecology and Natural Resource Management of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan was engaged in the creation of phyto-purification facilities on Lake Nizhniy Kaban, observation and further study of the studied issues. The scientific experiment was successful, the water object was cleaned from the pollution that accumulated for decades. Cleaning efficiency depends on the flow rate of liquid and higher aquatic plants that are introduced into the water to be cleaned. They are selected based on the natural and weather conditions observed in the area of the water body. In the marshy area of Western Siberia there is a great diversity of vegetation. In the marshy area of Western Siberia there is a great diversity of vegetation. For example, sedge (*Carex rostrata*), sedge (*Carex lasiocarpa*+*Carex limosa*), Typha (*Typha angustifolia*), Swamp marsh (*Eleocharis palustris*) and other plants. For water bodies in Western Siberia can be selected higher water plants that can survive long winters. It may be the willow-herb (*Chamaenerion angustifolium*), mother-and-father of the common (*Tussilago farfara*), puccinellia (*Puccinella distans*) and other herbaceous species plants. To effectively organize the cleaning of the water environment, water samples are initially taken to determine the composition of harmful impurities. With large quantities of suspended particles and pollution, the flora and fauna of the pond can die. After studying the chemical and physical composition of water, conclusions are made about the state of the water body and the possibility of purification from petroleum products and other contaminants with the use of high aquatic plants, filtration and other methods.

For the normal growth of tall aquatic plants, it is necessary to prevent the drying up of water bodies, have high vegetation of aquatic plants, additionally saturate the water with oxygen to accelerate various chemical processes, carry out pre-filtration of the water flow and even physico-chemical cleaning. The presence of oxygen significantly accelerates the reaction rate and enhances the purification process of the water environment. The biodiversity of aquatic plants is becoming very important, as each individual species of aquatic plant contributes to the cleaning of a limited range of harmful substances. For more efficient cleaning, it is necessary to select a complex of aquatic plants that complement each other.

The water flow should have a low flow rate of liquid and be delayed for some time for contact with higher aquatic plants, root system and microorganisms living on plants, bottom and sides of the pond [17]. Cleaning occurs at this contact. For example, in 3–12 days the quantity of petroleum products decreases by 25–30 % from the initial content at the beginning of the experiment at a flow rate of 0.05 m³/ day. The flow of liquid cannot be stopped, otherwise stagnant phenomena will occur and there will be blurring of contamination on other parts of the pond and secondary pollution. The depth of the water can vary from 0.5 meters to 3–5 meters. The deeper and more liquid, the greater the amount of pollution can be cleaned up in a water body. Water pH is a parameter that determines the flow of many physical, chemical and biological processes in plant treatment plants. The functioning of the phytosystem is possible in the range from 4 to 12 pH. An extremely low or high pH value affects the growth and development of plants and the state of microbial communities.

An important factor is the liquid temperature of the water object. It depends on the speed of reactions and the efficiency of cleaning of harmful substances, including petroleum products. In

the summer months, at temperatures of $+20^{\circ}\text{C}$ – $+30^{\circ}\text{C}$ reactions pass quickly, cleaning up the contamination takes a short amount of time. We are conducting a water purification experiment in Western Siberia and the Far North. The winter in this area is long (about 7 months), so the cleaning of the pond is effective only in summer, autumn and spring. The chemical reactions take place at the beginning of autumn (1 month) and end of spring (1 month). The wastewater treatment plants built more than half a year are in a frozen state and not functioning. In Nizhnevartovsk falls a large amount of snow, so under the snow does not freeze the highest aquatic vegetation and in the spring begins to grow again and produce various bacteria and microorganisms for cleaning water. Methods of literature study on the topic of research and analysis of scientific sources. Conducting a laboratory experiment to select higher perennial plants. Determination of the number of phytomodules per unit area by calculation method to reduce the content of petroleum products in the water. The proposed technology will improve the pollution of water bodies and will improve the ecology of Western Siberia. The ability to clean from petroleum products and other contaminants depends on temperature, set of high aquatic plants, oxygen saturation of liquid, pH of water.

If the water is more than 200 g/m^3 polluted with oil, it is not advisable to clean the water in a phyto-cleaning system. Most plants and living things will die. Fast and effective cleaning is carried out with oil in water 40 g/m^3 . The quality of cleaning is degraded when the amount of oil in the water increases, and more time or larger bodies of water are needed for effective cleaning.

A comparative analysis of existing methods for cleaning water bodies from petroleum products has shown that biological technologies are effective ways to clean water from biogenic and organic toxics. As biotechnological solutions for effective purification of water bodies, it is proposed to use the methods of ricofiltration, phytoremediation, phytoextraction, biofiltration, and use of gabion filters with sorbing and filtering loads. Following the results of laboratory studies, it is planned to transfer the experiment to a real water facility in the Khanty-Mansiysk Autonomous Region to test the proposed technology for cleaning water facilities [19; 20]. An experiment to purify water from oil and petroleum products was organized in the laboratories of the Tyumen Industrial University. For purification used high aquatic plants, oxygen saturation of water, temperature $25\text{--}28^{\circ}\text{C}$. From the results of laboratory studies, it is possible to conclude on the effectiveness of purification of petroleum products by higher aquatic plants. The next task of the study is to select a set of higher aquatic plants for the area near Nizhnevartovsk. The study has been conducted in Nizhnevartovsk.

Литература

1. Комаров, А.К. Теория и практика устройства защитных сооружений с использованием габионов / А.К. Комаров, И.А. Иванов, Б. Лундэнбазар // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2019. – Т. 9. – № 1(28). – С. 78–89.
2. Савельева, Н.Н. Строительство водных объектов для комплексной фильтрационной габионной очистки от нефтепродуктов / Н.Н. Савельева, Я.В. Савельев // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 11(89). – С. 34–37.
3. Amir Gholipour. Treatment wetlands in Iran: A review, Ecological Engineering, Volume 212, 2025, 107494.
4. Saveleva, N.N. Creation of an environmental complex for the finishing of water facilities in oil fields / N.N. Saveleva, Y.V. Savelev // Bio Web of Conferences : International Scientific Conference on Biotechnology and Food Technology (BFT-2024), Saint Petersburg, 03–06 September 2024. Vol. 130. – Les Ulis: EDP Sciences, 2024. – P. 03013.

5. Saveleva, N.N. Construction of water objects for comprehensive filtration gabion treatment / N.N. Saveleva, Y.V. Savelev // International Scientific Forestry Forum 2023: Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions (Forestry Forum 2023), Voronezh, Russian Federation, October 23-25, 2023. Vol. 93. – Les Ulis, 2024. – P. 04005.

References

1. Komarov, A.K. Teoriya i praktika ustroystva zashchitnykh sooruzheniy s ispol'zovaniyem gabionov / A.K. Komarov, I.A. Ivanov, B. Lundenbazar // Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'. – 2019. – T. 9. – № 1(28). – S. 78–89.

2. Savel'yeva, N.N. Stroitel'stvo vodnykh ob'yektov dlya kompleksnoy fil'tracionnoy gabionnoy ochistki ot nefteproduktov / N.N. Savel'yeva, YA.V. Savel'yev // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 11(89). – S. 34–37.

Технология очистки водных объектов с использованием многолетних водных растений

Н.Н. Савельева, Я.В. Савельев

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень (Россия)

Ключевые слова и фразы: водные объекты; водные ресурсы; высшие водные многолетние растения; экологическая технология уменьшения загрязнений.

Аннотация. Целью нашего исследования является технология восстановления водных объектов после загрязнения нефтепродуктами. Очистка водных объектов проходит с использованием высших водных многолетних растений в условиях Западной Сибири и Крайнего Севера. На основе научного анализа предложен набор высших водных многолетних растений для очистки водоемов от нефтепродуктов. Технология базируется на естественных механизмах преобразования техногенных водоемов в естественную природную среду в виде озер и болот. Для функционирования фитоочистных систем используют многолетние макрофиты. Это растения, которые накапливают большую биомассу и способны эффективно извлекать загрязняющие вещества из воды. Предлагаемая технология позволит восстанавливать водные объекты Западной Сибири и Крайнего Севера.

© N.N. Saveleva, Y.V. Savelev, 2025

УДК 621.311

Анализ методик выбора накопителя электроэнергии на основе АКБ для интеграции в микрогрид

М.В. Бурмейстер, А.А. Самойлов, Д.К. Чесноков

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва (Россия)

Ключевые слова и фразы: аккумуляторные батареи (**АКБ**); возобновляемые источники энергии (**ВИЭ**); микрогриды; накопители электроэнергии; система накопления электрической энергии (**СНЭЭ**); электрозарядная инфраструктура.

Аннотация. Целью статьи является обзор передовых российских методик выбора параметров СНЭЭ. Задачами статьи являются: обзор трех современных методик выбора параметров СНЭЭ, систематизация параметров, учитываемых при выборе емкости СНЭЭ, а также выявление значимых параметров, которые пока не учитываются в существующих методиках.

Гипотеза исследования заключается в выявлении значимых параметров, которые пока не учитываются в существующих методиках, это позволит учесть их при формировании новых, более эффективных методик выбора емкости АКБ СНЭЭ. Методом исследования является сравнение методик по техническим и экономическим факторам. Результатом статьи является набор таблиц, характеризующих методики выбора СНЭЭ, а также выявление потенциальных направлений для развития методик выбора накопителя электроэнергии.

Введение

В настоящее время идет активное развитие СНЭЭ и расширение их применения в электроэнергетических системах (**ЭЭС**).

В 2020-х гг. в правовое поле внедрено несколько нормативно-правовых актов, регламентирующих функционирование СНЭЭ в энергетических системах. Основные вопросы, регламентирующие функционирование СНЭЭ, закреплены в следующих нормативно-правовых актах (табл. 1).

В данный момент, когда основные технические требования сформированы, необходима разработка методик экономически эффективного применения СНЭЭ, с помощью которых возможно будет производить выбор оптимальных параметров аккумуляторных бата-

Таблица 1. Нормативные акты, регламентирующие область применения СНЭЭ в России

Номер стандарта	Наименование стандарта	Регламентируемая область
ГОСТ Р 58092.2.1-2020	Параметры установок и методы испытаний [1]	Стандарты параметров работы СНЭЭ и методы их испытаний
ГОСТ Р 58092.1-2021	Термины и определения СНЭЭ [2]	Терминология и понятия, подлежащие к использованию при описании СНЭЭ
ГОСТ Р 58092.3.3-2023	Проектирование и оценка рабочих параметров [3]	Руководство по проектированию, расчету и оценке параметров работы СНЭЭ
ГОСТ Р 58092.2.200-2023	Совмещение СНЭЭ, электрозарядной инфраструктуры и ВИЭ [4]	Технические требования к СНЭЭ в составе электрозарядных станций, в том числе взаимодействие с ВИЭ
ГОСТ Р 71521-2024	Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Технические требования к системам накопления электроэнергии, работающим в составе энергосистемы [5]	Технические требования к СНЭЭ мощностью от 5 МВт, предназначенных для работы в электроэнергетической системе

рей (**АКБ**) в составе СНЭЭ с точки зрения экономической эффективности.

Области применения СНЭЭ

СНЭЭ могут применяться на различных этапах производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии:

- для стабилизации выработки на объектах ВИЭ, а также на объектах АЭС для повышения их регулировочных возможностей [6];
- в качестве сетевого накопителя электроэнергии, предназначенного для прохождения пиков потребления в дефицитных энергосистемах;
- могут применяться на стороне потребителя и быть интегрированы в микрогрид для регулирования уровня напряжения, компенсации реактивной мощности и регулирования частоты [7].

Применение СНЭЭ позволяет регулировать баланс между генерацией и потреблением электрической энергии, что способствует прохождению пиков потребления электроэнергии в энергетических системах без увеличения установленной мощности объектов генерации, что также содействует отсрочке инвестиций в реконструкцию тепловых электростанций.

Аккумуляторные СНЭЭ могут играть ключевую роль в интеграции инверторов, формирующих сеть (*grid forming converters* – **GFC**), обеспечивая быстрые отклики на изменения частоты и мощности в сети. Они способны работать как резервные источники энергии, поддерживая систему при высоком уровне интеграции ВИЭ. **GFC** могут быть интегрированы с различными установками, связанными с ветрогенераторами, фотоэлектрическими установками, системами хранения энергии на батареях (**BESS**). На сегодняшний день наиболее распространенное применение **GFC** связано с системами **BESS**, в основном используемым совместно с фотоэлектрическими установками [8].

Система накопления энергии (**BESS**) также может быть использована в качестве си-

стемы виртуальной инерции (**СВИ**), что позволяет компенсировать дефицит инерции в энергосистемах. Виртуальная инерция представляет собой способность системы быстро реагировать на изменения частоты и поддерживать стабильность сети, имитируя поведение традиционных синхронных генераторов, которые обладают физической инерцией. В отличие от традиционных генераторов, которые имеют ограничения на скорость изменения мощности, *BESS* может быстро адаптироваться к изменениям в сетевой частоте, улучшая динамическую стабильность системы [9].

Совершенствование методик выбора параметров СНЭЭ необходимо и важно по следующим причинам.

1. СНЭЭ представляет собой источник питания, который может быть использован в качестве источника бесперебойного питания, повышая тем самым надежность электропитания. Надежность – это свойство объекта выполнять заданные функции в заданном объеме при определенных условиях эксплуатации [10]. Надежность электроснабжения напрямую влияет на стабильность работы критической информационной инфраструктуры (серверов), так как перерыв их электроснабжения может приводить к потерям данных, а следовательно, к существенным финансовым потерям. При выборе параметров СНЭЭ должна учитываться в том числе способность СНЭЭ обеспечивать питание критической нагрузки на протяжении требуемого промежутка времени.

2. Обостряется проблема повышения пропускной способности линий электропередачи и надежности электроснабжения потребителей. В данный момент для технологического присоединения потребителей по первой категории надежности строится две параллельно идущие линии электропередачи (**ЛЭП**). СНЭЭ могут способствовать снижению капитальных затрат в сооружение линий электропередачи при технологическом присоединении, поскольку наличие СНЭЭ при достаточной энергоемкости может обеспечить требуемый уровень надежности электроснабжения без строительства новой ЛЭП.

3. В современных распределительных сетях все более актуальной становится проблема превышения пропускной способности элементов сети при интеграции большого количества электрозарядной инфраструктуры. Пиковые нагрузки энергосистемы при наложении на них пикового спроса на услуги по заряду электромобилей перегружают распределительные электрические сети, что приводит к недоотпуску электроэнергии [11]. СНЭЭ позволяют справиться с ограничениями пропускной способности распределительных сетей, позволяют покрыть пиковый спрос на услуги по предоставлению электрозаряда.

С 2017 г. в России формируются рыночные механизмы, делающие выгодным снижение потребления в пиковых режимах энергетической системы. Механизмы управления спросом, обязывающие снижать потребление электроэнергии и мощности по требованию Системного оператора Единой энергетической системы (**СО ЕЭС**), позволяют потребителям заработать на своей способности снизить потребление. При этом не важно, действительно ли снижается потребление, или просто СНЭЭ переходят в режим выдачи мощности. Эти рыночные механизмы дополнительно стимулируют применение СНЭЭ в системах электропитания.

Электроэнергия, вырабатываемая из низкоуглеродных источников энергии в базовой части графика нагрузки (АЭС, ГЭС в вынужденном режиме), имеет сравнительно низкий углеродный след. Электроэнергия, вырабатываемая в пиковой части графика нагрузки, использует менее эффективную генерацию с большим углеродным следом (газопоршневые агрегаты и газотурбинные установки). Таким образом, заряжаясь в базовой части графика нагрузки и разряжаясь в пиковой части графика нагрузки, СНЭЭ имеет возможность снижения углеродного следа электрической энергии.

Анализ методик

Существует несколько современных методик выбора параметров СНЭЭ, разработанных российскими исследователями – Г.А. Пранкевичем, Р.В. Булатовым, Н.А. Шамаровой и другими.

Из числа рассмотренных методик последних лет первой была сформирована методика выбора основных параметров СНЭЭ на основе анализа амплитудно-частотных характеристик графиков нагрузки для задач демпфирования колебаний мощности нагрузки заданной частоты. Одним из основных понятий в исследовании является термин «обменная энергоемкость» (**ОЭ**), под которым понимается то количество энергии, которым СНЭЭ должна обмениваться с энергосистемой в процессе управления мощностью. Именно параметр ОЭ используется для поиска оптимальной величины номинальной энергоемкости (**НЭ**).

При расчете НЭ СНЭЭ должны выполняться два условия:

1) НЭ должна иметь такое значение, при котором СНЭЭ обеспечивает способность выдать / потребить требуемую мощность;

2) НЭ должна быть такой, чтобы при данном значении ОЭ глубина разряда СНЭЭ позволяла бы обеспечить требуемый срок службы.

В качестве НЭ должно быть принято максимальное значение энергоемкости.

В данной методике производится учет таких параметров СНЭЭ, как общий коэффициент полезного действия (**КПД**) системы преобразования, минимальное время заряда/разряда без ухудшения эксплуатационных свойств аккумулятора, максимальный ток заряда/разряда, расчетный срок службы СНЭЭ (циклов или лет) [12].

Таким образом, методика осуществляет выбор основных параметров СНЭЭ на основе анализа амплитудно-частотных характеристик графиков нагрузки для задач демпфирования колебаний мощности нагрузки заданной частоты. Данная методика выбора накопителя не учитывает реальную скорость старения аккумулятора, а только обозначает граничные условия допустимой эксплуатации СНЭЭ. Дальнейшие исследования Р.В. Булатова устранили этот недостаток.

Применение СНЭЭ может решить проблему резервирования по активной мощности и пропускной способности сети для увеличения доли ВИЭ в Единой энергетической системе (**ЕЭС**). Поскольку резкое увеличение выработки электроэнергии ВИЭ может привести к запиранию мощности ТЭС и ухудшению качества электроэнергии, целесообразно использовать СНЭЭ для накопления невостребованной электроэнергии.

СНЭЭ также применяется для снижения резких колебаний выходной мощности ЭС на базе ВИЭ. Методика расчета мощности и энергоемкости СНЭЭ включает следующие шаги.

1. Подготовка исходных данных: схема сети, начальная мощность и энергоемкость СНЭЭ, параметры конвертора, КПД, состояние заряда, температура, графики мощности ВИЭ.

2. Для каждого временного интервала ($i = 1...N$):

- проверка режима ЭЭС и корректировка мощности при отклонениях;
- определение полной мощности СНЭЭ как разности мощности ВИЭ и комбинированной мощности;
- проверка перегрузки преобразовательного оборудования;
- для заряда и разряда СНЭЭ проверяется поглощение энергии и изменение энергоемкости;
- расчет циклической и календарной деградации аккумулятора.

Таблица 2. Факторы, учитывающиеся при выборе параметров СНЭЭ

Группа факторов	Фактор	Методика Пранкевича	Методика Булатова	Методика Шамаровой
Технические факторы	Глубина разряда	+	+	+
	КПД	+	+	+
	Величина энергообмена	+	–	–
	Обеспечение потребления и выдачи мощности	+	+	+
Экономические факторы	Деградация	–	+	–
	Учет ЭЗС	–	–	+
	Учет CO ₂	–	–	–
	Коммерческая диспетчеризация	–	–	–
	СВИ	–	–	–
	Повышение надежности электро-снабжения	–	–	+
Технико-экономические факторы	Балансовая надежность	+	+	+
	Сравнение стоимости реконструкции сети и установки СНЭЭ	–	–	+

3. Определение остаточной энергоемкости и итоговой комбинированной мощности ЭС с СНЭЭ.

4. Повторение расчетов до достижения минимальных значений мощности и энергоемкости для решения задачи.

Таким образом, методика Булатова позволяет получить расчетные значения мощности и энергоемкости СНЭЭ для эффективного управления выходной мощностью ЭС на базе ВИЭ с учетом стохастичности выработки ВИЭ, технических и экономических факторов [13]. Кроме ВИЭ в энергосистемы активно интегрируются электрозарядные станции (ЭЗС), что учитывается в методике Н.А. Шамаровой.

Тренд на размещение электрозарядной инфраструктуры в крупных городах подчеркнул проблему износа и морального устаревания распределительных электрических сетей. Как показывает практика, спрос на зарядную нагрузку ЭЗС в некоторых локациях может совпадать с максимумом потребления нагрузки. Для обеспечения стабильного отпуска электроэнергии ЭЗС-инфраструктуре в условиях ограниченной пропускной способности может быть эффективно использована СНЭЭ.

Выбор накопителя рассматривается в подходе сокращения недоотпуска электроэнергии потребителю в пиковых режимах нагрузки. Учитывается стохастический характер выдачи мощности ВЭУ, который в рамках данного исследования задавался исходя из климатических условий местности.

Достоинство подхода Н.А. Шамаровой заключается в проработанной модели спроса на услуги по зарядке электромобилей. Потребность в зарядке электромобилей задается с помощью плотности вероятности Вейбулла на основе статистических данных. Учитывались параметры графика нагрузки ЭЗС – коэффициент формы, коэффициент масштаба, коэффициент сдвига распределения.

Оптимальная мощность и энергоемкость СНЭЭ выбирается на основании условия

ликвидации недоотпуска электроэнергии потребителю. Оптимизация, направленная на ликвидацию недоотпуска электроэнергии потребителям с минимально возможной энергоемкостью СНЭЭ, при этом производится с помощью целочисленного линейного программирования [14].

Достоинством данного исследования является то, что в нем рассматривается вопрос совмещения СНЭЭ с ВИЭ и ЭЭС, раскрыта тема обеспечения баланса электроэнергии в энергетических системах с ограниченной пропускной способностью с помощью ВИЭ-генерации и СНЭЭ. Таким образом, методика Н.А. Шамаровой позволяет осуществить выбор оптимальной мощности накопителя для микросети с электрозаправочными станциями по критерию обеспечения бездефицитной работы в пиковых режимах энергосистемы.

Исследовав три передовые российские методики, сгруппируем факторы, учитывающиеся для выбора энергоемкости СНЭЭ, добавив также факторы, выделенные в разделе «области применения СНЭЭ». Набор факторов приведен в табл. 2.

Рассмотрев описанные методики, отметим, что большинство рассмотренных методик учитывает базовые технические факторы, соответствующие функционированию СНЭЭ: глубину разряда, КПД и вопросы обеспечения потребления и выдачи мощности. Рассмотренные методики ориентированы на сравнительно узкие сферы применения, существует возможность создания универсальной методики выбора емкости АКБ СНЭЭ, учитывающей большее, чем в существующих методиках, количество факторов.

В существующих методиках не затронуты факторы углеродного следа, возможность использования СВИ для поддержания частоты в энергетических системах. Для повышения экономической эффективности использования СНЭЭ необходимо рассмотреть потенциал к снижению потребляемой мощности из сети в пиковых режимах нагрузки. Существует также возможность рассмотрения добавления к существующим методикам выбора СНЭЭ дополнительных рыночных механизмов для большей экономической эффективности применения СНЭЭ в энергетических системах.

Литература

1. ГОСТ Р 58092.2.1–2020. Параметры установок и методы испытаний. – М. : Стандартинформ, 2020.
2. ГОСТ Р 58092.1–2021. Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2021.
3. ГОСТ Р 58092.3.3–2023. Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Проектирование и оценка рабочих параметров. – М. : Стандартинформ, 2023.
4. ГОСТ Р 58092.2.200–2023. Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Совмещение СНЭЭ, электрозарядной инфраструктуры и возобновляемых источников энергии (ВИЭ). – М. : Стандартинформ, 2023.
5. ГОСТ Р 71521–2024. Технические требования для работы в энергосистеме. – М. : Стандартинформ, 2024.
6. Ефимов, А.О. Перспективы применения литий-ионных систем накопления электроэнергии на АЭС / А.О. Ефимов, А.Ю. Максимов [и др.] // Энергетическая политика. – 2023. – 13.11.2023. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : energypolicy.ru/perspektivy-primeneniya-litij-ionnyh-snee-na-aes/energetika/2023/11/13.
7. Токарев, И.С. Формирование отраслевой методики расчета параметров системы накопления электроэнергии для объектов газовой промышленности / И.С. Токарев // Записки Горного института. – 2025. – Т. 272. – № 16516. – С. 171–180.

8. Cardozo, C. Upgrade of a Grid-Connected Storage Solution with Grid-Forming Function / C. Cardozo et al. – 9th Solar & Storage Integration Workshop, Dublin, Oct. 2019.
9. Australian Energy Market Operator (AEMO). Transition to Fewer Synchronous Generators in South Australia [Electronic resource]. – Access mode : https://www.aemo.com.au/-/media/files/electricity/nem/security_and_reliability/2023_transition_to_fewer_synchronous_generators_in_south_australia.pdf.
10. Китушин, В.Г. Надежность энергетических систем. Часть 1. Теоретические основы: Учебное пособие / В.Г. Китушин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 256 с. – (Серия «Учебники НГТУ»).
11. Шкитина, Н. Анализ влияния стохастической нагрузки электромобилей на распределительную сеть / Н. Шкитина, Д. Акимов // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2021. – № S1. – С. 40–45.
12. Пранкевич, Г.А. Разработка математической модели и методики выбора параметров накопителя энергии как элемента энергосистемы: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 / Г.А. Пранкевич. – Новосибирск, 2022. – 151 с.
13. Булатов, Р.В. Определение параметров систем накопления электроэнергии в электроэнергетических системах с возобновляемыми источниками энергии: дис. ... канд. техн. наук: 2.4.3 / Р.В. Булатов. – Москва, 2023. – 151 с.
14. Шамарова, Н.А. Оценка оптимальной мощности накопителя для микросети с электрозаправочными станциями / Н.А. Шамарова, И.Н. Шушпанов, А.К. Суслов // Электроэнергетика глазами молодежи – 2023: Материалы XIII Международной научно-технической конференции: в 2 т., Красноярск, 23–27 октября 2023 г. – Т. 2. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2023. – С. 119–122.

References

1. GOST R 58092.2.1–2020. Parametry ustanovok i metody ispytaniy. – M. : Standartinform, 2020.
2. GOST R 58092.1–2021. Sistemy nakopleniya elektricheskoy energii (SNEE). Terminy i opredeleniya. – M. : Standartinform, 2021.
3. GOST R 58092.3.3–2023. Sistemy nakopleniya elektricheskoy energii (SNEE). Proyektirovaniye i otsenka rabochikh parametrov. – M. : Standartinform, 2023.
4. GOST R 58092.2.200–2023. Sistemy nakopleniya elektricheskoy energii (SNEE). Sovmeshcheniye SNEE, elektrozaryadnoy infrastruktury i vozobnovlyayemykh istochnikov energii (VIE). – M. : Standartinform, 2023.
5. GOST R 71521–2024. Tekhnicheskiye trebovaniya dlya raboty v energosisteme. – M. : Standartinform, 2024.
6. Yefimov, A.O. Perspektivy primeneniya litij-ionnykh sistem nakopleniya elektroenergii na AES / A.O. Yefimov, A.YU. Maksimov [i dr.] // Energeticheskaya politika. – 2023. – 13.11.2023. [Electronic resource]. – Access mode : energypolicy.ru/perspektivy-primeneniya-litij-ionnyh-snee-na-aes/energetika/2023/11/13.
7. Tokarev, I.S. Formirovaniye otraslevoy metodiki rascheta parametrov sistemy nakopleniya elektroenergii dlya ob»yektov gazovoy promyshlennosti / I.S. Tokarev // Zapiski Gornogo instituta. – 2025. – T. 272. – № 16516. – S. 171–180.
10. Kitushin, V.G. Nadezhnost' energeticheskikh sistem. Chast' 1. Teoreticheskiye osnovy: Uchebnoye posobiye / V.G. Kitushin. – Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2003. – 256 s. – (Seriya «Uchebniki NGTU»).

11. Shkitina, N. Analiz vliyaniya stokhasticheskoy nagruzki elektromobiley na raspredelitel'nyuyu set' / N. Shkitina, D. Akimov // Elektroenergiya. Peredacha i raspredeleniye. – 2021. – № S1. – S. 40–45.
12. Prankevich, G.A. Razrabotka matematicheskoy modeli i metodiki vybora parametrov nakopitelya energii kak elementa energosistemy: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.14.02 / G.A. Prankevich. – Novosibirsk, 2022. – 151 s.
13. Bulatov, R.V. Opredeleniye parametrov sistem nakopleniya elektroenergii v elektroenergeticheskikh sistemakh s vozobnovlyayemyimi istochnikami energii: dis. ... kand. tekhn. nauk: 2.4.3 / R.V. Bulatov. – Moskva, 2023. – 151 s.
14. Shamarova, N.A. Otsenka optimal'noy moshchnosti nakopitelya dlya mikroseti s elektrozapravochnymi stantsiyami / N.A. Shamarova, I.N. Shushpanov, A.K. Suslov // Elektroenergetika glazami molodezhi – 2023: Materialy XIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii: v 2 t., Krasnoyarsk, 23–27 oktyabrya 2023 g. – T. 2. – Krasnoyarsk : Sibirskiy federal'nyy universitet, 2023. – S. 119–122.

Analysis of Methods for Selecting an Electric Energy Storage Device Based on Batteries for Integration into a Microgrid

M.V. Burmeister, A.A. Samoilov, D.K. Chesnokov

National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow (Russia)

Key words and phrases: energy storage systems; EES; batteries; renewable energy sources; RES; electric charging infrastructure; microgrids.

Abstract. The purpose of the article is a review of the advanced Russian methods of ESS parameters selection. The objectives of the article are to review three advanced methods for choosing ESS parameters, to systematize parameters taken into account when choosing ESS capacity, and to identify significant parameters that are not taken into account in the existing methods.

The hypothesis of the study is that the identification of significant parameters not taken into account in the existing methods will allow to take them into account in the formation of new, more effective methods of choosing the capacitance of the ESS battery. The method of research is a comparison of methods by technical and economic factors. The result of the article is a set of tables characterizing the methods of selecting the ESS, as well as identifying potential directions for the development of methods for choosing an ESS battery capacity.

© М.В. Бурмейстер, А.А. Самойлов, Д.К. Чесноков, 2025

УДК 629.7.052; 004.89

Интеллектуальная навигация беспилотных летательных аппаратов для мониторинга ЛЭП в условиях электромагнитных помех: опыт и перспективы применения визуальных технологий

Д.Ф. Исаков, Р.Н. Поляков

*НОЧУ ВО «Московский финансово-промышленный университет «Синергия», г. Москва (Россия);
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел (Россия)*

Ключевые слова и фразы: автоматизированный мониторинг; беспилотные летательные аппараты; диагностика линий электропередач; компьютерное зрение; машинное обучение.

Аннотация. Целью исследования являются разработка и обоснование методов интеллектуальной навигации беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга линий электропередач (ЛЭП) в условиях электромагнитных помех. В ходе выполнения работы был произведен обзор литературных источников, рассматривающих методы визуальной навигации БПЛА, включая *SLAM*, визуальную одометрию и алгоритмы *perception-aware MPC*. Особое внимание уделено анализу подходов, связанных с отказом от *GNSS* и интеграцией беспилотных систем в автоматизированные комплексы энергетики через *ROS2/OPC-UA*. Гипотезой исследования является предположение о том, что использование визуальных и перцептивных методов навигации позволит обеспечить надежное позиционирование БПЛА при обследовании ЛЭП, снизить зависимость от спутниковых систем и повысить точность диагностики. В качестве методов исследования применялись сравнительный анализ существующих алгоритмов, моделирование траекторий движения БПЛА в условиях электромагнитных помех, а также системный подход к интеграции с промышленными *SCADA*-комплексами. Результаты исследования показали, что применение *SLAM* в сочетании с *perception-aware MPC* обеспечивает устойчивую навигацию и сохранение линии электропередачи в поле зрения камеры дрона.

Введение

Современные высоковольтные линии электропередач (ЛЭП) являются критически важной инфраструктурой, от надежности которой зависит энергетическая безопасность. Повреждения и неисправности могут приводить к масштабным авариям и значительным экономическим потерям, что обуславливает необходимость интеллектуальных систем диагностики для непрерывного мониторинга состояния воздушных трасс [1; 2].

Перспективным решением выступает применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с компьютерным зрением. Однако традиционные методы навигации на основе *GPS/GNSS* малоэффективны рядом с ЛЭП: электромагнитные помехи, плотная застройка или горный рельеф вызывают искажения сигнала, делая навигацию нестабильной [3–5]. В связи с этим возрастает значение визуальных подходов – визуальной одометрии (*VO*) и *SLAM*. Современные *AI*-чипы (*NVIDIA*, *Intel*, *Hailo*) позволяют интегрировать их в компактные платформы [5; 6]. Данное исследование систематизирует проблемы автономии БПЛА при мониторинге ЛЭП и анализирует методы отказа от *GPS* в пользу визуальной навигации и *perception-aware MPC* [4; 7].

Визуальная навигация как ответ на проблемы электромагнитной совместимости

Проблема устойчивой навигации БПЛА в зоне высоковольтных линий электропередач приобретает особую актуальность на фоне роста применения как гражданских дронов, так и радиоэлектронных средств противодействия (РЭБ). Высоковольтные провода и металлические конструкции формируют интенсивные электромагнитные поля, которые вызывают сбои в работе *GPS/GNSS*-модулей и магнитометров, провоцируя кратковременные отказы или устойчивое снижение точности позиционирования [3; 4]. Практика в Хакасии и Кыргызской Республике подтверждает, что при обследовании ЛЭП в горных районах сигнал *GNSS* может полностью исчезать, особенно вблизи массивных опор или под проводами [2; 5]. Современные РЭБ-системы, используемые на военных и стратегических объектах, способны подавлять *GNSS*-сигналы в радиусе нескольких километров. Это предотвращает несанкционированный доступ дронов в охраняемые зоны, но одновременно ограничивает и легитимные платформы, задействованные в энергетической отрасли. Даже при ручном управлении БПЛА может попасть в зону радиоподавления и утратить навигационные функции. В этих условиях отказ от спутниковой навигации в пользу визуальных методов становится стратегическим направлением. Технологии визуальной одометрии (*VO*) и одновременной локализации и построения карты (*SLAM*) позволяют обеспечивать автономность полетов даже при полном отсутствии *GNSS* [5; 8].

Perception-Aware MPC

Ключевой задачей при мониторинге ЛЭП являются точность и безопасность маневрирования. Традиционные подходы с *GPS* и заранее заданными траекториями ограничены: они не учитывают динамические препятствия, смещение цели или резкие изменения условий. Решением становится методика перцептивно-ориентированного управления (*Perception-Aware Model Predictive Control*) [7]. В отличие от классических систем, где планирование

и восприятие разделены, *Perception-Aware MPC* совмещает визуальные данные, инерциальные сенсоры и информацию о положении инфраструктуры. Контроль управления оптимизирует траекторию с учетом видимости линии, энергопотребления и безопасности, что обеспечивает удержание ЛЭП в поле зрения камеры дрона и обход препятствий. Преимущество метода в возможности интеграции различных сенсоров: *RGB*-камер, лидаров, тепловизоров. Алгоритмы успешно реализуются на энергоэффективных платформах *NVIDIA Jetson Nano*, *Orin* и *Hailo-8*, что позволяет выполнять вычисления на борту и поддерживать работу в реальном времени при ограниченном энергопотреблении [5; 6]. Онлайн-режим *SLAM* и современные *SLAM*-алгоритмы перешли от экспериментальных решений к практическому применению в режиме *online inference*, обеспечивая одновременное построение карты и определение положения дрона без геопривязки и постоянного спутникового сопровождения. Это особенно важно при обследовании ЛЭП в районах с сильными помехами или вблизи металлических конструкций [3; 4]. Алгоритмы *ORB-SLAM* и *VINS-Fusion* используют визуальные данные в комбинации с инерциальными сенсорами, реализуя визуально-инерциальную одометрию (*VIO*). Благодаря компактным платформам (*Jetson Nano*, *Intel Myriad X*, *Hailo-8*) такие алгоритмы интегрируются даже в легкие дроны без необходимости облачных вычислений [5; 6]. Это повышает автономность и позволяет проводить обследования в районах с ограниченными каналами связи – горных, удаленных или со сложным рельефом. *SLAM*-системы также адаптивны: при изменении рельефа или непредсказуемых объектах (ветки, оборудование, ремонтные бригады) они обновляют карту в реальном времени. В ряде проектов уже реализованы инспекции ЛЭП с использованием *Geoscan 401* и *DJI* с интегрированными *SLAM*-модулями [2; 6]. Уменьшение энергопотребления делает возможным их применение на дронах малой и средней массы, что критично для мобильности решений в энергетике. *SLAM* перестает быть вспомогательным инструментом и становится ядром навигационной архитектуры, обеспечивая устойчивую работу при отсутствии *GNSS*.

Учет электромагнитных помех и *SCADA/OPC-UA* интеграция

Главным ограничением остаются электромагнитные помехи, создаваемые ЛЭП высокого напряжения и внешними источниками. При обследовании объектов 220 кВ и выше ошибки навигации могут достигать десятков метров, что делает невозможной точную съемку [3–5]. Дополнительную угрозу представляют РЭБ-системы, намеренно подавляющие сигналы *GNSS* вблизи стратегической инфраструктуры [2]. Для преодоления этих проблем требуются методы, не зависящие от радионавигации. Визуальные системы *VO* и *SLAM* обеспечивают устойчивую навигацию за счет анализа видеопотока и локальных сенсоров. При планировании маршрута важно учитывать карту ЭМ-активности, избегая зон с предельным уровнем помех и сохраняя безопасное расстояние до опор [4]. Следующий шаг развития – интеграция БПЛА с цифровыми подстанциями и *SCADA* через *ROS2* и *OPC-UA*. Эти протоколы обеспечивают передачу диагностических данных и координат неисправностей в режиме реального времени, формируя цифровую модель состояния сети 8,4 [6]. Стандартизированный обмен данными облегчает внедрение дронов в инфраструктуру энергокомпаний и ускоряет принятие решений по ремонту. Таким образом, сочетание устойчивости к ЭМ-помехам и совместимости с промышленными стандартами делает визуальные навигационные системы и их *SCADA*-интеграцию ключевым элементом цифровой трансформации энергетики.

Появление энергоэффективных AI-чипов (*NVIDIA Jetson Nano, Intel Movidius Myriad X, Hailo-8*)

Развитие специализированных энергоэффективных AI-чипов открыло возможность выполнения задач визуальной локализации, *SLAM* и семантической сегментации непосредственно на борту беспилотных летательных аппаратов. Такие устройства выполняют сложные операции машинного обучения с минимальными задержками и низким энергопотреблением, что особенно важно при мониторинге линий электропередач. *NVIDIA Jetson Nano* с архитектурой *CUDA* обеспечивает обработку изображений в реальном времени и распознавание проводов, опор и дефектов, сохраняя компактность и автономность. *Intel Movidius Myriad X*, построенный на архитектуре *Vision Processing Unit (VPU)*, характеризуется низким энергопотреблением (1–2 Вт) при высокой скорости инференса нейросетей, что делает его оптимальным для легких платформ [5]. *Hailo-8* предлагает специализированную архитектуру для глубоких нейросетей с задержкой менее 10 мс и высокой пропускной способностью, обеспечивая надежную работу даже при электромагнитных помехах и ограниченном канале связи [3]. Возможность локальной обработки данных позволяет исключить передачу видеопотока на наземные станции, повышая надежность в зонах действия РЭБ и в районах со слабым покрытием. Кроме навигации такие чипы делают возможной оперативную идентификацию повреждений проводов, состояния изоляторов и посторонних предметов на элементах инфраструктуры [4]. Таким образом, переход к AI-чипам становится технологическим фундаментом автономных систем диагностики ЛЭП.

Вопрос энергопотребления и автономности

Ограниченность аккумуляторов остается ключевым фактором, определяющим длительность полета БПЛА. Каждый дополнительный сенсор (*RGB*-камеры, тепловизоры, УФ-датчики, глубинные сенсоры) требует питания и обработки данных, увеличивая энергозатраты и массу полезной нагрузки. Это снижает дальность и продолжительность полетов. Энергоэффективные AI-чипы позволяют перераспределить нагрузку: вместо множества узкоспециализированных датчиков используется минимально необходимый набор сенсоров, а их данные интегрируются на единой вычислительной платформе. Например, *Myriad X* и *Hailo-8* выполняют навигацию, локализацию и сегментацию параллельно, без обмена с внешними устройствами [4; 5]. Благодаря аппаратному ускорению нейросетей энергопотребление снижается в несколько раз по сравнению с *CPU/GPU*-решениями. Унификация сенсоров и перенос приоритета обработки на бортовые чипы позволяет сократить количество аппаратных модулей, уменьшить массу и энергопотребление, сохранив функциональность. Использование *ROS2* или *DJI Onboard SDK* обеспечивает интеграцию разнородных данных в рамках общего контура управления. В результате дрон получает гибкость в конфигурации под конкретные задачи и возможность адаптации к условиям полета. Практические примеры демонстрируют эффективность подхода: платформы *Geoscan* и *DJI Matrice* реализуют модульную архитектуру, где сенсоры легко заменяются и настраиваются, а вычислительные ресурсы распределяются между задачами локализации и диагностики [6]. Это позволяет поддерживать оптимальное энергопотребление и максимизировать автономность.

Перспективы и вызовы

Совмещение энергоэффективных AI-чипов и унификации сенсорных модулей стано-

вится необходимостью для создания автономных систем мониторинга ЛЭП. Однако даже при наличии современных аппаратных решений методы визуальной навигации – визуальная одометрия (VO) и SLAM – сталкиваются с рядом ограничений.

Во-первых, точность VO заметно снижается в условиях однообразных ландшафтов: заснеженных равнин, пустынь или водных поверхностей. Отсутствие выраженных ориентиров приводит к накоплению ошибок и риску потери целевого объекта. Проблема особенно актуальна для северных регионов с однородным снежным покровом.

Во-вторых, алгоритмы чувствительны к освещению: тени, блики и резкие перепады яркости осложняют распознавание ключевых точек. Дополнительные трудности возникают при динамических изменениях среды: птицы, качающиеся ветви или вибрирующие провода ЛЭП могут восприниматься как стационарные ориентиры, искажая карту. Даже при использовании энергоэффективных чипов обработка изображений высокого разрешения, сегментация и классификация требуют значительных ресурсов, что повышает энергопотребление и сокращает автономность полета.

Перспективным направлением является интеграция визуальных и инерциальных данных – *Visual-Inertial Odometry (VIO)*. Совмещение показаний камер и IMU позволяет компенсировать недостаток визуальных ориентиров и повысить устойчивость в условиях изменяющегося освещения или низкого контраста. Современные алгоритмы VIO уже реализуются на компактных модулях *NVIDIA Jetson Nano* и *Intel Myriad X*, обеспечивая работу в реальном времени.

Другой путь развития связан с обучением нейросетей на синтетических данных и последующим *zero-shot* переносом в реальные условия. Это позволяет преодолеть дефицит размеченных датасетов и ускоряет внедрение решений. В частности, исследования показывают, что детекторы дефектов ЛЭП, обученные на синтетике, демонстрируют высокую точность на реальных изображениях без дополнительной подстройки [4]. Наконец, важным направлением становится глубокая интеграция задач навигации и диагностики. Вместо последовательной схемы («сначала навигация – потом осмотр») современные подходы предполагают одновременное построение карты и выявление дефектов. Нейросетевые алгоритмы сегментации и классификации позволяют выявлять повреждения проводов и изоляторов прямо в процессе облета, а траектория дрона адаптивно корректируется для уточняющей съемки.

Таким образом, дальнейшее развитие визуальных технологий связано не только с совершенствованием VO и SLAM, но и с их объединением с инерциальными сенсорами, синтетическими данными и интеллектуальной диагностикой. Это формирует основу для полностью автономных и надежных систем мониторинга ЛЭП, способных эффективно работать даже в условиях электромагнитных помех и ограниченных энергоресурсов.

Литература

1. Пигалин, А.А. Применение БПЛА в электрических сетях и его экономический эффект / А.А. Пигалин, М.Ш. Гарифуллин // Вестник КЭУ. – 2023. – № 2(18).
2. Ma, L. Visual Localization with a Monocular Camera for Unmanned Aerial Vehicle Based on Landmark Detection and Tracking Using YOLOv5 and DeepSORT / L. Ma, L. Liu, Y. Xue, W. Zhu, S. Ma // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2023.
3. Рыскулов, И.Р. Актуальность использования беспилотных летательных аппаратов при проведении профилактических работ ЛЭП в условиях Кыргызстана / И.Р. Рыскулов, А. Алманбетов, С. Кочконбаев // ЖАМУнун Жарчысы. – 2019. – № 4. – С. 59–63.

4. Xing, J. Autonomous Power Line Inspection with Drones via Perception-Aware MPC / J. Xing, G. Cioffi, J. Hidalgo-Carrió, D. Scaramuzza // arXiv preprint. – 2023.
5. Lopez, R.L. Autonomous UAV System for Cleaning Insulators in Power Line Inspection and Maintenance / R.L. Lopez, M.J.B. Sanchez, M.P. Jimenez, B.C. Arrue, A. Ollero // Sensors. – 2021. – Vol. 21. – Issue 24. – Article No. 8488.
6. Смолина, Л.В. Мониторинг воздушной линии электропередачи при помощи беспилотных аппаратов / Л.В. Смолина // Инновации в энергетике. – 2021. – № 7(45).
7. Торопов, А.С. Направления применения беспилотных летательных аппаратов для диагностики воздушных линий электропередачи / А.С. Торопов, А.В. Байшев // Вестник ВСГУТУ. – 2017. – № 3(66).
8. Токарев, Ю.П. Методы управления беспилотными летательными аппаратами в общем воздушном пространстве с использованием полетной информации при решении задач мониторинга: дис. ... канд. техн. наук / Ю.П. Токарев. – МАИ, 2011.
9. Deng, C. Unmanned Aerial Vehicles for Power Line Inspection: A Cooperative Way in Platforms and Communications / C. Deng, X. Li, Y. Wang, Y. Li // Journal of Communications. – 2014. – Vol. 9. – No. 9. – P. 687–692.

References

1. Pigalin, A.A. Primeneniye BPLA v elektricheskikh setyakh i yego ekonomicheskiiy effekt / A.A. Pigalin, M.SH. Garifullin // Vestnik KEU. – 2023. – № 2(18).
3. Ryskulov, I.R. Aktual'nost' ispol'zovaniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov pri provedenii profilakticheskikh rabot LEP v usloviyakh Kyrgyzstana / I.R. Ryskulov, A. Almanbetov, S. Kochkonbayev // ZHAMUnun Zharchysy. – 2019. – № 4. – S. 59–63.
6. Smolina, L.V. Monitoring vozduшной linii elektropereдачи pri pomoshchi bespilotnykh apparatov / L.V. Smolina // Innovatsii v energetike. – 2021. – № 7(45).
7. Toropov, A.S. Napravleniya primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya diagnostiki vozduшnykh liniy elektropereдачи / A.S. Toropov, A.V. Bayshev // Vestnik VSGUTU. – 2017. – № 3(66).
8. Tokarev, YU.P. Metody upravleniya bespilotnymi letatel'nymi apparatami v obshchem vozduшnom prostranstve s ispol'zovaniyem poletnoy informatsii pri reshenii zadach monitoringa: dis. ... kand. tekhn. nauk / YU.P. Tokarev. – MAI, 2011.

Intelligent Navigation of Unmanned Aerial Vehicles for Power Line Monitoring in Conditions of Electromagnetic Interference: Experience and Prospects for the Application of Visual Technologies

D.F. Isakov, R.N. Polyakov

National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow (Russia)

Key words and phrases: machine learning; power line diagnostics; automated monitoring; computer vision; unmanned aerial vehicles.

Abstract. The aim of this study is to develop and validate methods for intelligent navigation of unmanned aerial vehicles (UAVs) for power line monitoring in conditions of electromagnetic interference. This paper included a literature review of UAV visual navigation methods,

including SLAM, visual odometry, and perception-aware MPC algorithms. Particular attention is paid to the analysis of approaches that eliminate GNSS and integrate unmanned systems into automated energy systems via ROS2/OPC-UA. The research hypothesis is that the use of visual and perceptual navigation methods will ensure reliable UAV positioning during power line inspections, reduce dependence on satellite systems, and improve diagnostic accuracy. The research methods used included a comparative analysis of existing algorithms, modeling UAV trajectories under electromagnetic interference, and a systems approach to integration with industrial SCADA systems. The research results demonstrated that the use of SLAM in combination with perception-aware MPC ensures stable navigation and maintains the power line within the drone's camera's field of view.

© Д.Ф. Исаков, Р.Н. Поляков, 2025

List of Authors

Карманова М.М. – старший преподаватель кафедры архитектуры Уральского федерального университета, г. Екатеринбург (Россия), E-mail: m.m.karmanova@urfu.ru

Karmanova M.M. – Senior Lecturer, Department of Architecture, Ural Federal University, Yekaterinburg (Russia), E-mail: m.m.karmanova@urfu.ru

Фомин Н.И. – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного, гражданского строительства и экспертизы недвижимости Уральского федерального университета, г. Екатеринбург (Россия), E-mail: ni.fomin@urfu.ru

Fomin N.I. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Head of Department of Industrial, Civil Construction and Real Estate Expertise, Ural Federal University, Yekaterinburg (Russia), E-mail: ni.fomin@urfu.ru

Машкин О.В. – старший преподаватель кафедры промышленного, гражданского строительства и экспертизы недвижимости Уральского федерального университета, г. Екатеринбург (Россия), E-mail: o.v.mashkin@urfu.ru

Mashkin O.V. – Senior Lecturer, Department of Industrial, Civil Construction and Real Estate Expertise, Ural Federal University, Yekaterinburg (Russia), E-mail: o.v.mashkin@urfu.ru

Шаломова Е.В. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры иностранных языков профессиональной коммуникации Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир (Россия), E-mail: shalomova2013@mail.ru

Shalomova E.V. – Candidate of Science (Pedagogy), Associate Professor, Department of Foreign Languages and Professional Communication at Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir (Russia), E-mail: shalomova2013@mail.ru

Филатова К.Д. – магистрант Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир (Россия), E-mail: filatova229@yandex.ru

Filatova K.D. – Master's Student, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir (Russia), E-mail: filatova229@yandex.ru

Хубаев А.О. – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), E-mail: alan_khubaev@mail.ru

Khubaev A.O. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Technology and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), E-mail: alan_khubaev@mail.ru

Голицын В.С. – студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), E-mail: golytsyn137@mail.ru

Golitsyn V.S. – Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), E-mail: golytsyn137@mail.ru

Макарчук М.Р. – студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), E-mail: maks.makarchuk@yandex.ru

Makarchuk M.R. – Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), E-mail: maks.makarchuk@yandex.ru

Кручинов Е.А. – студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), E-mail: kruchinov.egor@yandex.ru

Kruchinov E.A. – Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), E-mail: kruchinov.egor@yandex.ru

Савельева Н.Н. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры нефтегазового дела Тюменского индустриального университета, г. Тюмень (Россия), E-mail: nnsavelieva@yandex.ru

Savelieva N.N. – Candidate of Science (Pedagogy), Associate Professor, Department of Oil and Gas Engineering, Tyumen Industrial University, Tyumen (Russia), E-mail: nnsavelieva@yandex.ru

Савельев Я.В. – магистрант Тюменского индустриального университета, г. Тюмень (Россия), E-mail: nnsavelieva@yandex.ru

Saveliev Ya.V. – Master's Student, Tyumen Industrial University, Tyumen (Russia), E-mail: nnsavelieva@yandex.ru

Бурмейстер М.В. – кандидат технических наук Национального исследовательского университета «МЭИ», г. Москва (Россия), E-mail: max.burmeyster@gmail.com

Burmeyster M.V. – Candidate of Science (Engineering), National Research University «MPEI», Moscow (Russia), E-mail: max.burmeyster@gmail.com

Самойлов А.А. – аспирант Национального исследовательского университета «МЭИ», г. Москва (Россия), E-mail: Samoilovandreii98@gmail.com

Samoilov A.A. – Postgraduate Student, National Research University «MPEI», Moscow (Russia), E-mail: Samoilovandreii98@gmail.com

Чесноков Д.К. – выпускник Национального исследовательского университета «МЭИ», г. Москва (Россия), E-mail: chesnokovdk@yandex.ru

Chesnokov D.K. – Graduate, National Research University «MPEI», Moscow (Russia), E-mail: chesnokovdk@yandex.ru

Исаков Д.Ф. – аспирант Московского финансово-промышленного университета «Синергия», г. Москва (Россия), E-mail: stud-isakov@yandex.ru

Isakov D.F. – Postgraduate Student, Moscow Financial and Industrial University Synergy, Moscow (Russia), E-mail: stud-isakov@yandex.ru

Поляков Р.Н. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой мехатроники, механики и робототехники Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева, г. Орел (Россия), E-mail: stud-isakov@yandex.ru

Polyakov R.N. – Doctor of Engineering, Professor, Head of Department of Mechatronics, Mechanics, and Robotics, Oryol State University named after I.S. Turgenev, Oryol (Russia), E-mail: stud-isakov@yandex.ru

FOR NOTES

COMPONENTS OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL PROGRESS
№ 8(110) 2025
SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL

Manuscript approved for print 22.08.25
Format 60.84/8
Conventional printed sheets 6.98
Published pages 2.93
200 printed copies

16+

Printed by Zonari Leisure LTD. Paphos