



ISSN: 2686-7567

ВЕСТНИК ГГНТУ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

HERALD OF GSTOU
ENGINEERING SCIENCES

SCIENTIFIC & TECHNICAL JOURNAL

2022

Том XVIII

№ 4 (30)

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

д. т. н., профессор Минцаев Магомед Шавалович

Зам. главного редактора – д. т. н., профессор
С-А. Ю. Мургазаев

Ответственный секретарь – д. т. н., доцент
М. Ш. Саламанова

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель – профессор, д. ф.-м. н.
И. А. Керимов (АН ЧР)
д. т. н., профессор, член-корреспондент РАН
Б. А. Григорьев (ВНИИГаз)
д. т. н., профессор Д. С. Реченко (АГНИ)
к. т. н., доцент М. Я. Пашаев (ГГНТУ)
к. т. н., М. С. Сайдумов (ГГНТУ)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Строительство. Архитектура

д. т. н., профессор Д. К-С. Батаев
д. т. н., профессор Г. Н. Гаджишалапов
д. т. н., доцент И. Г. Гайрабеков
д. т. н., профессор Х. Н. Мажиев
канд. архитектуры, доцент Ш. А. Насуханов
д. т. н., профессор Т. А. Хежев

Химическая технология

д. т. н., доцент С. П. Иванов
д. т. н., профессор Л. Ш. Махмудова
д. х. н. Х. М. Кадиев
д. т. н., профессор Х. Х. Ахмадова
д. т. н., профессор О. Н. Каратун
д. х. н., профессор Э. А. Александрова
к. т. н., доцент А. А. Эльмурзаев

Информатика, вычислительная техника и управление

д. п. н., профессор Э. Д. Алисултанова
д. т. н., доцент И. Н. Ажмухамедов
д. т. н., профессор А. В. Илюхин
к. т. н. М. Р. Исаева
д. т. н., профессор В. И. Марсов
д. т. н., профессор К. Е. Румянцев
д. т. н., профессор А. Л. Рутковский
д. т. н., профессор Е. А. Хадзарагова
к. т. н., доцент И. В. Хасамбиев
д. т. н. М. А. Хажмурадов
к. т. н. З. Л. Хакимов

EDITOR – IN-CHIEF

Magomed Mintsaeв, Doctor in Engineering

Associate Editor – Said-Alvi Murtazaev, Doctor
in Engineering

Executive Secretary – Madina Salamanova, Doctor
in Engineering

EDITORIAL COUNCIL

Chairman – Ibragim Kerimov, Doctor in Physics
and Mathematics

Boris Grigoryev, corresponding member of RAS,
Doctor in Engineering

Rechenko Denis, Doctor in Engineering

Magomed Pashaev, Phd in Engineering

Magomed Saidumov, Phd in Engineering

EDITORIAL BOARD

Construction. Architecture

Dena Bataev, Doctor in Engineering
Khadzhishalapov Gadzhimagomed, Doctor in Engineering
Ibragim Gayrabekov, Doctor in Engineering
Khasan Mazhiev, Doctor in Engineering
Shadid Nasukhanov, PhD in Architecture
Tolya Khezhev, Doctor in Engineering

Chemical Technology

Serguey Ivanov, Doctor in Engineering
Lyubov Makmudova, Doctor in Engineering
Khusain Kadiev, Doctor in Chemistry
Khava Akhmadova, Doctor in Engineering
Olga Karatun, Doctor in Engineering
Elvira Alexandrova, Doctor in Chemistry
Ayub Elmurzaev, PhD in Engineering

Computer Science, Computer Engineering and Management

Esmira Alisultanova, Doctor in Pedagogics
Iskandar Azhmukhamedov, Doctor in Engineering
Madina Isaeva, PhD in Engineering
Andrey Ilyukhin, Doctor in Engineering
Vadim Marsov, Doctor in Engineering
Konstantin Rumyantsev, Doctor in Engineering
Alexander Rutkovsky, Doctor in Engineering
Elena Khadzaragova, Doctor in Engineering
Manap Khazhmuradov, Doctor in Engineering
Ibragim Khasambiev, PhD in Engineering
Zaur Khakimov, PhD in Engineering

Учредитель: ФГБОУ ВО

«Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова»

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК Российской Федерации (с 15.02.2022г.), в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук. Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), доступный в интернете, по адресу <http://www.elibrary.ru> (Научная электронная библиотека).

Подписной индекс АО «Почта России» ПА 753

Адрес редакции/издателя:

364024, г. Грозный, пр. Х.А. Исаева, 100

Тел./факс: (8712) 29-59-32

<http://gstou.ru/science/ggntu-works.php>

e-mail: trudy-ggntu@mail.ru

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведенных сведений, точность данных по цитируемой литературе и за использование в статьях данных, не подлежащих открытой публикации. Редакция может опубликовать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора. Перепечатка и воспроизведение статей, рекламных и иллюстративных материалов возможны лишь с письменного разрешения главного редактора. Редакция не несет ответственности за содержание рекламы и объявлений.

© ФГБОУ ВО Грозненский государственный нефтяной технический университет
им. академика М.Д. Миллионщикова, 2022

© Редакционная коллегия

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Аликов А. Ю., Калиниченко А. В.

Дескриптивное представление 3d-объектов для их идентификации
в подсистеме информационного поиска АСУП 5

Амхаев Т. Ш., Дебиев М. В., Масаев С. Х.

Автоматизированная система учета электроэнергии в электрических сетях
Чеченской Республики с использованием web-технологий 13

Пашаев М. Я., Абдулаева С. И., Намаева М. М., Халиева Х. С.

Анализ проблем безопасности больших данных в ИОТ и методов
их преодоления 24

Румянцев К. Е., Хаджиева Л. К.

Конфиденциальные вычисления в условиях защищенной
вычислительной среды 31

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Аймбетова И. О., Аймбетова Э. О., Байгенженов О. С., Берди Д., Умиров Б.

Разработка методики осаждения тонких пленок V2O5 38

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Ле Х. Т., Ву Н. Т., Герман В. В.

Стойкость аспретируемых сероасфальтобетонов каучуком
к образованию колеи 49

Марутян А. С.

Конструкция с решеткой из U-образного профиля 60

Саламанова М. Ш., Нахаев М. Р., Муртазаева Т. С-А.

Исследование минерального природного ресурса строительства 72

Смирнова О. М., Казанская Л. Ф.

Шлакощелочные бетоны с резиновой крошкой из изношенных автошин
для транспортного строительства 82

Токарева Л. А., Стрелков Ю. М., Сабитов Л. С., Хусаинов Р. Д.

Конструктивные особенности проектирования фундаментов балластного
типа для башенных сооружений 90

CONTENTS

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

T. Sh. Amkhaev, M. V. Debiev, S. Kh. Masaev Automated power metering system in the electric networks of the Chechen Republic using web technologies	5
A. Yu. Alikov, A. V. Kalinichenko Description representation of 3d objects for their identification in the information search subsystem of ERP-systems	13
M. Ya. Pashaev, S. I. ABig Dataullaeva, M. M. Namaeva, Kh. S. Khaliyeva Big data security analysis in IOT and methods for overcoming them	24
K. E. Rummyantsev, L. K. Khadzhiyeva Confidential computing in a protected computing environment	31

CHEMICAL TECHNOLOGIES

I. O. Aimbetova, E. O. Aimbetova, O. S. Baigenzhenov, D. Berdi, B. Umirov Development of a V2O5 thin film deposition technique	38
--	----

CONSTRUCTION. ARCHITECTURE

H. T. Le, N. T. Vu, V. V. German Resistance of sulfur asphalt concrete with rubber to ruts formation	49
A. S. Marutyan Construction with a U-shaped profile grille	60
M. Sh. Salamanova, M. R. Nakhaev, T. S-A. Murtazaeva Research of the mineral natural resource construction	72
O. M. Smirnova, L. F. Kazanskaya Alrfli-activated slag concrete with rubber cramb from tires for transport constration	82
L. A. Tokareva, Yu. M. Strelkov, L. S. Sabitov, R. D. Khusainov Design features of ballast type foundations for tower structures	90

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.9

DOI: 10.34708/GSTOU.2022.14.13.001

ДЕСКРИПТИВНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ 3D-ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ИХ ИДЕНТИФИКАЦИИ В ПОДСИСТЕМЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА АСУП

© А.Ю. Аликов, А.В. Калиниченко
СКГМИ (ГТУ), Владикавказ, Россия

Глобальные дескрипторы позволяют описывать форму всей поверхности 3D-модели и, как правило, используются для сравнения 3D-моделей друг с другом. В настоящей работе рассматривается возможность применения дескриптивного представления 3D-объектов для их идентификации в подсистеме информационного поиска в составе автоматизированной системы управления предприятием с целью «грубого» отсеивания заведомо отличающихся 3D-объектов, тем самым уменьшая объем входных данных, к которым в дальнейшем будут применены более точные и ресурсозатратные алгоритмы, что позволит увеличить скорость идентификации 3D-объектов без снижения точности.

Ключевые слова: 3D-объект, трехмерный объект, идентификация, дескриптор, АСУП.

С развитием технологий трехмерного сканирования, компьютерного зрения, аддитивных технологий в различных областях жизнедеятельности возникают задачи, связанные с идентификацией, классификацией 3D-объектов. Рассматриваемая в работе задача связана с одной из фундаментальных проблем компьютерного зрения – распознаванием трехмерных объектов. Некоторые репрезентативные задачи распознавания включают классификацию объектов, обнаружение и семантическую сегментацию. Данная задача имеет достаточно широкое практическое применение, в том числе связанное с обработкой заданных визуальных данных в области роботизированных производств, автономного вождения, систем виртуальной реальности.

Порой значимость информационных ресурсов сопоставима с основными ресурсами производства и оказывает существенное влияние на эффективность производства, что

подтверждает актуальность исследований, ориентированных на разработку алгоритмов, позволяющих повысить качество поиска информации, в том числе графической. Зачастую в условиях производства важно, чтобы используемые алгоритмы работали в режиме реального времени, что накладывает дополнительные требования на их временную сложность. Не менее актуальной остается и задача по разработке новых методов для решения задач классификации полученных моделей объектов. Эти методы должны характеризоваться построением алгоритмов идентификации 3D-объектов (сравнение с образцовыми моделями) с заданной точностью и соблюдением требований к быстродействию.

Информационные ресурсы автоматизированной системы управления предприятием (АСУП) включают в себя различную проектно-техническую документацию, положения, инструкции, пояснительные записки и про-

чес. Внедрение информационных технологий в сферу управления предприятием, необходимость анализа больших объемов данных при принятии решений, увеличение доли слабо-структурированной и неструктурированной информации, в том числе трехмерных моделей, приводят к необходимости повышения качества информационного поиска в автоматизированных поисковых системах [2]. Ключевые аспекты проектирования и разработки программных средств для создания анимационных роликов рассмотрены в работе [8]. В работе [2] предлагается математическая модель подсистемы информационного поиска в составе АСУП, основывающаяся на аппарате нечетких множеств и позволяющая формировать поисковый образ документа, более полно отражающий его содержание. Заметим, что в подсистеме информационного поиска поисковый запрос может быть представлен не только в текстовом виде, но и в виде документа-образца, например, трехмерной модели [3].

В настоящей работе рассматривается возможность применения дескриптивного представления 3D-объектов для их идентификации в подсистеме информационного поиска в составе АСУП с целью «грубого» отсеивания заведомо отличающихся 3D-объектов, тем самым уменьшая объем входных данных, к которым в дальнейшем будут применены более точные и ресурсозатратные алгоритмы, что позволит увеличить скорость идентификации 3D-объектов без снижения точности.

Под дескриптором понимается набор численных параметров (признаков), извлекаемых из объекта и позволяющих описать характеристики трехмерных объектов. Примерами дескрипторов могут являться форма 3D-объекта, его ориентация в пространстве и т.д. [6]. В дальнейшем при решении задачи идентификации вместо самих данных используются дескрипторы. К факторам, усложняющим процесс формирования глобальных дескрипторов, можно отнести различную ориентацию и масштаб 3D-объектов [6].

Обозначим основные требования, которые будем предъявлять к дескрипторам 3D-объектов:

- возможность уникальной идентификации, для чего различные объекты должны иметь различные дескрипторы;
- масштабируемость – зависимость размера дескриптора исключительно от способа его определения, а не от характеристик 3D-объекта, таких как цвет или форма;
- инвариантность к ориентации модели и масштабу;
- робастность к степени детализации модели;
- инвариантность к перенумерации вершин в сетке полигонов, из которой состоит 3D-объект.

Существуют различные подходы к построению дескрипторов. Так, использование дескрипторов, основанных на множестве двумерных силуэтов, предполагает выбор фиксированного числа направлений в пространстве, вдоль которых сохраняются контрастные снимки объекта. Далее для получения характеристик формы объектов на 2D-изображениях происходит анализ силуэтов (контуров). Контур, например, может аппроксимироваться ломаной, вершины какой-либо точки крайней кривизны или точки, которые добавляются для уточнения многоугольной аппроксимации. Для построения дескрипторов могут использоваться карты глубины с разных ракурсов. Представление 3D-объектов в виде воксельных моделей позволяет обобщить способы, которые использовались для формирования дескриптивного представления файлов растровой графики. Так, для описания прямоугольной структуры воксельных моделей могут быть использованы трехмерные матрицы, а значит и механизмы трехмерных дискретных сверток, и иные подходы, являющиеся обобщением подходов обработки двумерных растровых данных. Спиновые изображения позволяют кодировать распределение точек, которые находятся в окрестности некоторой опорной точки. Для построения спинового изображения требуются опорная точка на поверхности трехмерной модели, вектор нормали в этой точке, а также координаты всех точек, попавших в окрестность опорной точки [5]. Отметим также SIFT-дескриптор, использующий набор локальных признаков. Характеристики

дескриптора неизменны SIFT к масштабированию, перемещению и вращению изображения, а также частично инвариантны к изменениям освещения и аффинной или трехмерной проекции, признаки изображения эффективно выявляются с помощью поэтапной фильтрации. В ходе фильтрации идентифицируются стабильные точки, создаются ключи изображения, которые допускают локальные геометрические деформации. В дальнейшем ключи используются в качестве входных данных для метода индексации ближайшего соседа, который идентифицирует совпадения объектов-кандидатов. Окончательная проверка каждого совпадения достигается путем нахождения решения методом наименьших квадратов [1]. Дескриптор GLOH представляет собой модификацию SIFT-дескриптора. В дескрипторе GLOH фактически происходит вычисление SIFT-дескриптора, но используется полярная сетка разбиения окрестности на регионы, представляющие собой радиальные блоки. В результате получается вектор, содержащий

272 компоненты, который в дальнейшем для уменьшения размерности итогового вектора проецируется в пространство размерности 128 с помощью метода главных компонент (РСА).

Визуализация некоторых подходов к построению дескрипторов представлена на рис. 1. Очевидно, что каждый метод построения дескрипторов имеет свои преимущества и недостатки и подходит для конкретного контекста приложения. Не существует ни одного дескриптора, который лучше всего работает во всех ситуациях. Хотя некоторые обычно показывают более высокую производительность, чем другие в целом, для определенных случаев другие дескрипторы могут работать значительно лучше.

Немаловажным аспектом при анализе трехмерных графических данных является выбор формы их представления. Один и тот же объект может быть представлен с использованием различных способов представления трехмерных данных, причем эти представления могут кардинально отличаться, что ока-

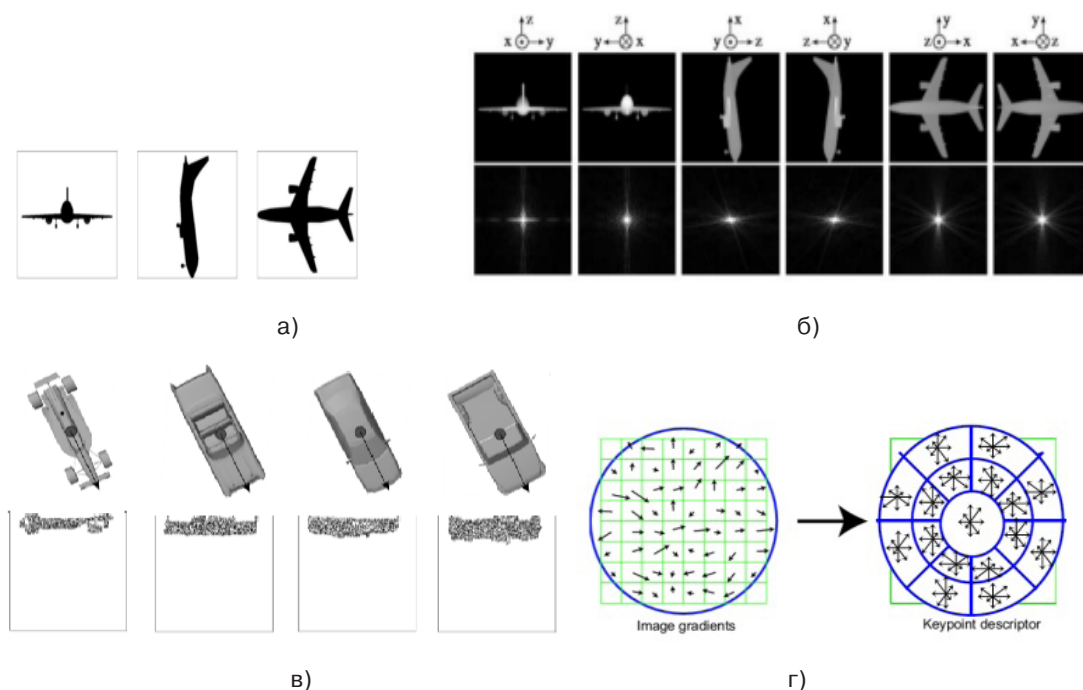


Рис. 1. Визуализация некоторых подходов к построению дескрипторов: а) набор контрастных силуэтов для дескриптора, основанного на множестве двумерных силуэтов, б) набор карт глубины 3D-модели (сверху) и их двумерного преобразования Фурье (снизу), в) нормализованные 3D-модели и графические представления их интегральных спиновых изображений, г) сетка разбиения окрестности на регионы в GLOH-дескрипторе

жет влияние на выбор модели обработки [5]. Достаточно распространены такие способы представления трехмерных данных, как полигональные модели, воксели, облака точек, модели, основанные на изображениях. Для хранения в памяти ЭВМ полигональных моделей могут использоваться способы, характерные для представления графов, например: множества вершин и множества ребер, соединяющих вершины. Достаточно часто используются вершины и тройки вершин, которые образуют элементарные полигоны. Обобщением пикселей на трехмерный случай являются воксели. Воксельная модель может быть представлена в виде трехмерного массива, в котором каждому элементу сопоставлен цвет и коэффициент прозрачности. Такой массив задает приближение трехмерного объекта с точностью, определяемой разрешением массива. Облако точек дает возможность представить трехмерный объект в виде неупорядоченного множества трехмерных радиусов-векторов. Для каждого вектора существует возможность указать цвет в качестве дополнительной составляющей. Подходы к моделированию и визуализации, основывающиеся на изображениях, генерируют трехмерную модель на основе набора двухмерных изображений.

В данной работе рассматривается задача построения дескрипторного представления для полигональных трёхмерных моделей. При таком представлении форма 3D-объектов в трехмерной компьютерной графике задается полигональной сеткой. Гранями полигонов могут быть треугольники, четырёхугольники или многоугольники, причем каждая грань имеет нормаль, которая перпендикулярна поверхности грани. В качестве метода для составления дескрипторного представления будем использовать дескрипторы, основанные на распространении пучка лучей. Далее рассмотрим основные шаги алгоритма:

1. Прежде всего необходимо осуществить параллельный перенос компонентов 3D-объекта. Координаты вектора параллельного переноса вычисляются таким образом, чтобы центр массы 3D-объекта совпадал с началом координат.

2. На втором шаге выполняется масштабирование 3D-объекта. Коэффициент масштабирования выбирается таким образом, чтобы объект был вписан в сферу единичного радиуса, центр которой находится в начале координат.

3. Построение выпуклого правильного многогранника с центром тяжести в начале координат, описанного вокруг сферы.

4. Вычисление расстояния, которое проходит луч, исходящий из центра каждого полигона и направленный по нормали в сторону объекта, до столкновения с поверхностью 3D-объекта, нормаль которой направлена в сторону луча. Для лучшей фиксации геометрии из каждого полигона повторно строим луч, направленный из центра полигона по нормали в сторону 3D-объекта и определяем его расстояние до столкновения с поверхностью 3D-объекта, нормаль которой направлена в сторону, противоположную от луча.

5. Полученный набор признаков сортируется.

6. Наборы признаков принимают значения в пространстве признаков. Зададим в пространстве меру близости, для того чтобы стало возможным осуществление сравнения трехмерных объектов друг с другом, путем вычисления расстояния между соответствующими векторами признаков. Это дает возможность вычислять похожие друг на друга трехмерные объекты. Для определения расстояния будем использовать Евклидово расстояние:

$$p(x, x') = \sqrt{\sum_i^n (x_i - x'_i)^2}$$

7. Если объекты идентичны по форме (независимо от их размера и поворота), результат будет близок к единице.

Для реализации описанного алгоритма был использован Python API для среды 3D-моделирования Blender. Blender предоставляет встроенному интерпретатору модули Python, которые позволяют получить доступ к данным, классам и функциям Blender [9]. Python обращается к данным Blender так же, как к системе анимации и пользовательскому ин-

терфейсу. Это означает, что любой параметр, который можно изменить с помощью кнопки, также можно программно изменить средствами Python. Отметим некоторые модули Python API, использованные при реализации алгоритма. Доступ к данным из загруженного в Blender файла осуществляется с помощью модуля `bpy.data`. Модуль `bpy.data` позволяет получить доступ к объектам, сценам, материалам. Например:

```
>>> bpy.data.objects
<bpy_collection[3], BlendDataObjects>
>>> bpy.data.scenes
<bpy_collection[1], BlendDataScenes>
>>> bpy.data.materials
<bpy_collection[1], BlendDataMaterials>
```

Вызов операторов осуществляется с помощью модуля `bpy.ops`. Под операторами понимаются инструменты, к которым пользователь обычно обращается с помощью кнопок, пунктов меню или сочетаний клавиш. С точки зрения пользователя это инструмент, но Python может осуществлять их запуск со своими настройками через модуль `bpy.ops`. Например:

```
>>> bpy.ops.mesh.flip_normals()
{'FINISHED'}
>>> bpy.ops.mesh.hide(unselected=False)
{'FINISHED'}
>>> bpy.ops.object.scale_apply()
{'FINISHED'}
```

Для доступа к данным, которые выбрал пользователь, применялся модуль `bpy.context`. Модуль `bpy.context` может использоваться для получения активного трехмерного объекта, сцены, настроек инструментов и многих других атрибутов, например:

```
>>> bpy.context.object
>>> bpy.context.selected_objects
>>> bpy.context.visible_bones
```

Модуль `bmesh` использовался для доступа к внутреннему API редактирования сетки Blender, включая данные о геометрии объекта, в том числе к нормальям и др. Отметим также, что Blender хранит множество наборов координатных данных для каждой части 3D-объекта. В большинстве случаев нас интересуют только два набора координат: глобальные координаты и локальные координаты, обозначим их G и L соответственно. Когда мы выполняем преоб-

разования над объектами, Blender сохраняет эти преобразования как часть матрицы преобразований T . Blender в какой-то момент применит матрицу преобразования к локальным координатам L . После того как Blender применит матрицу преобразования, локальные координаты будут равны глобальным координатам, а матрица преобразования будет идентификационной матрицей. В окне просмотра 3D мы всегда просматриваем глобальные координаты $G = T * L$. Мы можем контролировать момент, когда Blender применит преобразования, описанные выше, с помощью метода `bpy.ops.object.transform_apply()`. Мы использовали этот метод для того, чтобы легко выбирать определенные части объектов. Если мы отложим выполнение `bpy.ops.object.transform_apply()`, не запустив его и не выйдя из режима редактирования, то сможем сохранить два данных множества G и L . На практике глобальные координаты G очень полезны для позиционирования объектов относительно других, а используя локальные координаты L очень легко в цикле извлекать индексы. В коде, приведенном ниже, `v` – это список кортежей, который представляет нашу матрицу L , а `obj.matrix_world` – это матрица Python, которая представляет нашу матрицу преобразования T . Представляя данные `bpy.data.meshes[].vertices` в виде `v`, `v.co` дает локальные координаты и `bpy.data.objects[].matrix_world * v.co` дает глобальные координаты.

```
def coords(objName, space='GLOBAL'):
    # Сохраним ссылку на объект bpy.data.
    objects
    obj = bpy.data.objects[objName]
    # Сохраним ссылку на объект bpy.data.
    objects[].meshes
    if obj.mode == 'EDIT':
        v = bmesh.from_edit_mesh(obj.data).verts
    elif obj.mode == 'OBJECT':
        v = obj.data.vertices
    if space == 'GLOBAL':
        # Возвращаем T * L как список кортежей
        return [(obj.matrix_world * v.co).to_tuple()
for v in v]
    elif space == 'LOCAL':
        # Возвращаем L как список кортежей
```

```
return [v.co.to_tuple() for v in v]
```

```
class sel:
```

```
# Добавляем в класс ut.sel, чтобы использо-  
вать в «object mode»
```

```
def transform_apply():
```

```
bpy.ops.object.transform_apply(  
location=True, rotation=True, scale=True)
```

Исследуем результаты алгоритма. Для этого проведём несколько сравнений различных 3D-моделей. Для моделей, являющихся вариациями одной (например, сравнение модели с её копией, повёрнутой в пространстве, или с моделями одного и того же объекта, но с различным количеством полигонов), результат близок к единице, для совершенно различных по форме моделей результат приближается к нулю.

Например, представленные на рис. 2 модели с различным количеством полигонов распознаны с коэффициентом схожести 0.97, т.е. не одинаковые, но достаточно похожие.

Увеличение количества полигонов в выпуклом правильном многограннике, очевидно, будет повышать точность вычислений, однако может значительно увеличивать время их вы-

полнения. Результаты эксперимента по оценке временных затрат на вычисление дескриптивного представления 3D-модели в зависимости от количества полигонов представлены на рис. 3. Зависимость имеет линейный характер.

В настоящей работе рассматривается подход к решению актуальной задачи идентификации 3D-объектов, представленных полигональными моделями. В результате проведенного исследования разработан программный модуль, осуществляющий построение дескрипторного описания 3D-моделей, а также позволяющий проводить «грубое» отсеивание заведомо отличающихся 3D-объектов, тем самым уменьшая объем входных данных, к которым в дальнейшем будут применены более точные и ресурсозатратные алгоритмы, что позволит увеличить скорость идентификации 3D-объектов без снижения точности. Заметим, что если предположить, что в качестве входных данных алгоритму подаются эскизы пользователя, например, один, два или три эскиза, которые аналогичны трем основным видам в инженерном чертеже, то предложенный подход может лечь в основу метода поиска трехмерной модели по ее двумерным эскизам.

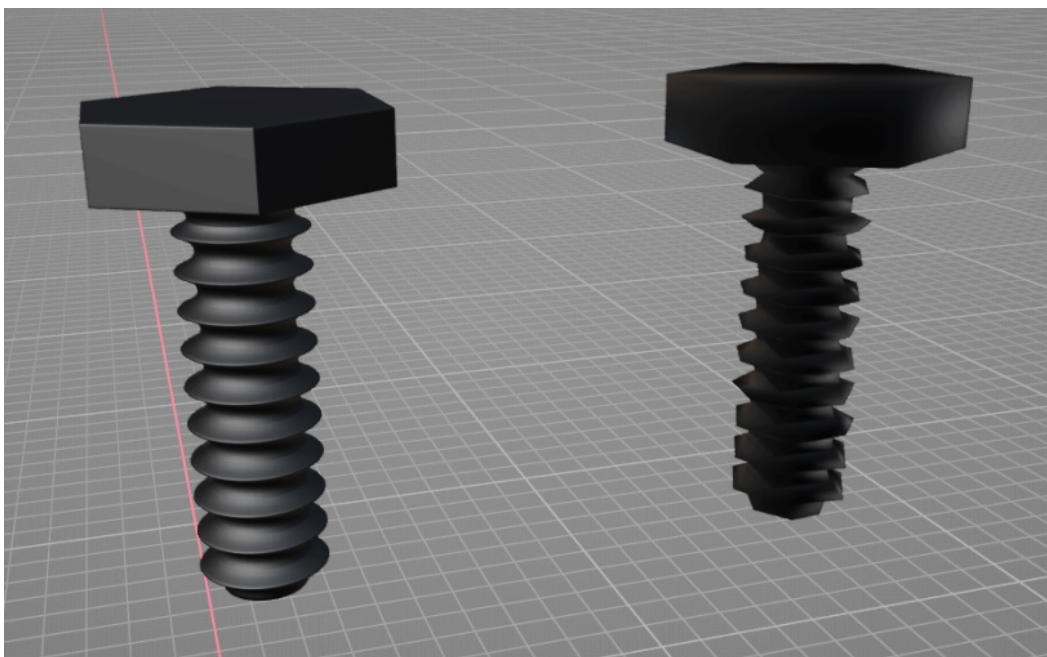


Рис. 2. Пример моделей с различным количеством полигонов

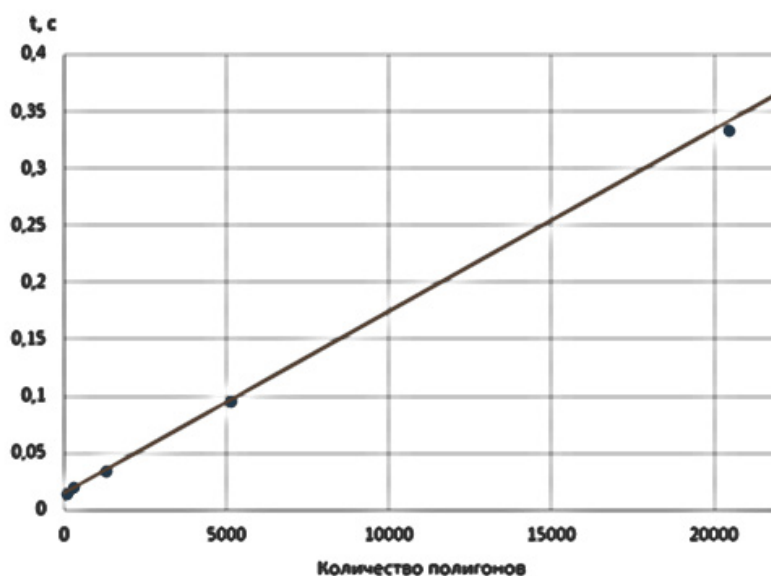


Рис. 3. График зависимости времени выполнения программы от количества полигонов в выпуклом правильном многограннике

ЛИТЕРАТУРА

1. *David G. Lowe* Object Recognition from Local Scale-Invariant Features // Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision. V 2, pp. 1150-1157, doi: 10.1109/ICCV.1999.790410.
2. *Аликов А.Ю., Калинин А.В.* Математическая модель подсистемы информационного поиска в составе АСУП // Устойчивое развитие горных территорий. 2011. Т. 3. №4. С. 32-34.
3. *Калинин А.В.* О методах поиска по документу-образцу в коллекции электронных документов // ИТ-технологии: развитие и приложения. Материалы X Международной научно-практической конференции. 2009. С. 50-59.
4. *Калинин А.В.* О способах представления 3D-моделей для целей анализа данных // Тезисы докладов научно-практической конференции «Школа анализа данных». Владикавказ, 2021. С. 33-35.
5. *Крыловецкий А.А., Черников И.С.* Нормализация 3D-модели для вычисления интегрального спинового изображения // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2012. №6. С. 135-139.
6. *Приступа А.В., Лапатын И.Л., Замятин А.В.* Применение глобальных дескрипторов формы для идентификации 3D-объектов // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. №48. С. 57-66.
7. *Сёмов А.А.* Об одном подходе к распознаванию 3D-изображений // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2013. Т. 1. С. 350-351.
8. *Хасухаджиева Л.С-А., Алисултанова Э.Д., Рутковский А.Л.* Основопологающие аспекты разработки автоматизированной платформы для создания анимационных роликов // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2022. Т. 18. №2 (28). С. 24-32.
9. <https://docs.blender.org/api>

DESCRIPTION REPRESENTATION OF 3D OBJECTS FOR THEIR IDENTIFICATION IN THE INFORMATION SEARCH SUBSYSTEM OF ERP-SYSTEMS

© A.Yu. Alikov, A.V. Kalinichenko

NCIMM (STU), Vladikavkaz, Russia

Global descriptors allow you to describe the shape of the entire surface of a 3D model and are typically used to compare 3D models with each other. In this article, we consider the possibility of using a descriptive representation of 3D objects for their identification in the information retrieval subsystem as part of an automated control system for the purpose of "rough" sifting out obviously different 3D objects, thereby reducing the amount of input data, to which more accurate and resource-intensive algorithms will be applied in the future, which will increase the speed of identification of 3D objects without reducing accuracy.

Keywords: 3D object, identification, descriptor, ERP-systems.

REFERENCES

1. David G., Lowe 'Object Recognition from Local Scale-Invariant Features'. *Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision*. V 2, pp. 1150-1157., doi: 10.1109/ICCV.1999.790410.
2. Alikov, A.Yu. and Kalinichenko, A.V. (2011) 'Matematicheskaya model' podsystemy informatsionnogo poiska v sostave ASUP'. *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii*. [Mathematical model of the information retrieval subsystem as part of the automated control system. Sustainable development of mountain territories]. V. 3, №4, pp. 32-34.
3. Kalinichenko, A.V. (2009) 'O metodakh poiska po dokumentu-obraztsu v kolleksii elektronnykh dokumentov'. *V sbornike: IT-tekhnologii: razvitie i prilozheniya. Materialy X Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. [On the methods of searching for a sample document in the collection of electronic documents. In the collection: IT technologies: development and applications. Materials of the X International Scientific and Practical Conference], pp. 50-59.
4. Kalinichenko, A.V. (2021) 'O sposobakh predstavleniya 3D modelei dlya tselei analiza dannykh.' *Tezisy dokladov nauchno-prakticheskoi konferentsii «Shkola analiza dannykh»*. [On the ways of representing 3D models for the purposes of data analysis. Abstracts of the scientific-practical conference "School of Data Analysis"], Vladikavkaz, pp. 33-35.
5. Krylovetsky, A.A. and Chernikov, I.S. (2012) 'Normalizatsiya 3D-modelei dlya vychisleniya integral'nogo spinovogo izobrazheniya'. *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. [Normalization of a 3D model for calculating the integral spin image. Bulletin of the Southern Federal University. Technical science]. №6, pp. 135-139.
6. Semov, A.A. (2013) 'Ob odnom podkhode k raspoznavaniyu 3D izobrazhenii'. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo»*. [On one approach to 3D image recognition. Proceedings of the international symposium "Reliability and quality"]. Vol. 1, pp. 350-351.
7. Pristupa, A.V., Lapatin, I.L. and Zamyatin, A.V. (2019) 'Primenenie global'nykh deskriptorov formy dlya identifikatsii 3D ob'ektov'. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika*. [Application of global shape descriptors for identification of 3D objects. Bulletin of the Tomsk State University. Management, computer science and informatics]. №48, pp. 57-66.
8. Khasukhadzhieva, L.S.A., Alisultanova, E.D. and Rutkovsky, A.L. (2022) 'Osnovopolagayushchie aspekty razrabotki avtomatizirovannoi platformy dlya sozdaniya animatsionnykh rolikov'. *Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki* [Fundamental aspects of the development of an automated platform for creating animation videos. Herald of GSTOU. Technical sciences]. V. 18, №2 (28), pp. 24-32.
9. Available at: <https://docs.blender.org/api>

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ WEB-ТЕХНОЛОГИЙ

© Амхаев Т. Ш.¹, Дебиев М. В.², Масаев С. Х.³

^{1,2} ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, г. Грозный, Россия

³ ПАО «Россети Северный Кавказ»

Данная статья посвящена вопросам возникновения, развития и интегрирования автоматизированных систем учета электрической энергии с использованием web-технологий в наше время. Актуальность данной темы обусловлена тем, что с развитием технологий и их массовым распространением увеличивается нагрузка на электрические сети, происходит неоправданный и бесконтрольный расход электроэнергии, что, в свою очередь, приводит к ухудшению экосистемы всей планеты. Предлагается применение распределенной системы мониторинга качества электрической энергии, производить измерения значений электрических параметров на разных участках электрической сети, с последующим их преобразованием в соответствующие формы и передачей в единый центр управления. Такая структура также позволит вести постоянный контроль за уровнем гармонических составляющих в различных узлах энергосистемы.

Ключевые слова: электричество, электроэнергия, учет электроэнергии, современные технологии, web-технологии, урбанизация.

Электричество играет решающую роль в жизни человека, где способы ее использования с целью получения максимальной эффективности постоянно совершенствуются. В России, так же как и в большинстве развитых стран, спрос на электроэнергию очень высокий, и ожидается, что в ближайшие годы он будет постепенно увеличиваться в соответствии с расширением урбанизации и ростом населения страны. В эту современную эпоху люди используют большое количество бытовой техники, в совокупности они потребляют очень много электроэнергии. Ежегодный рост цен на электрическую энергию заставляет потребителей задумываться над методами контроля ее расхода и способами экономии [1].

Мы становимся свидетелями наступления эпохи перемен. Неуклонно растёт не только численность населения Земли, но и удельное потребление энергии на душу населения. В то же время сокращаются запасы органического топлива, остающегося основным источником энергии (порядка 85%), причём лишь треть первичной энергии обращается в полез-

ное действие. Негативное воздействие на окружающую среду деятельности человечества становится очевидным: вопросы изменения климата и связанные с этим природные аномалии всё чаще обсуждаются на высшем государственном уровне. Очевидно одно: человечество стоит перед лицом глобальных вызовов.

В России в среднем на дом используется до 20 бытовых электроприборов. Подавляющее большинство бытовых приборов потребляют большое количество электрической энергии (табл. 1).

Потребители электрической энергии в основном склонны оставлять освещение, вентиляторы, морозильники, кондиционеры и другие электроприборы включенными, когда они не используются, что приводит к растрате энергии.

Такое пренебрежительное отношение к поведению потребителей электроэнергии может привести к чрезмерному потреблению и растрате электроэнергии.

В системах веб-технологий определяется статистика энергопотребления по ее параметрам.

Таблица 1

Среднегодовой расход электроэнергии бытовыми приборами в режиме ожидания [2]

№	Наименование потребителя	Среднее потребление электроэнергии, Вт/час	Сумма, которую придется выложить за время простоя в расчете за год, руб.
1	Кофеварка электрическая	4-6	105,80-158,70
2	Микроволновая печь	6	158,70
3	Телевизор ЖК	11-16	290,95-423,20
4	Телевизор LED	1-2	26,45-52,9
5	Персональный компьютер (системный блок)	1-3	26,45-79,35
6	Монитор ЖК	1	26,45
7	Зарядное устройство ноутбука (без потребителя)	15	396,75
8	Зарядное устройство ноутбука, оставленного на проводе	20-30	529,00-793,50
9	Зарядное устройство телефона, смартфона	2-3	52,90-79,35

грам. Они отображают подробный мониторинг электрических величин, таких как напряжение, ток, мощность, энергия т. д. [2, 3].

Современные интеллектуальные веб-технологии эффективно выступают в качестве системы учета электроэнергии, которые измеряют потребление энергии, контролируют ее качество и передают эту информацию от интеллектуального счетчика к концентратору или облаку, чтобы коммунальные предприятия могли лучше управлять использованием энергии посредством управления электрической нагрузкой. Ответность об измерении электроэнергии в режиме реального времени повышает осведомленность потребителей, что приводит к сокращению отходов и массовому браку продукции [4, 5].

Данные, полученные с помощью интеллектуальных счетчиков электроэнергии, позволяют коммунальным и энергоснабжающим предприятиям оптимизировать потери при распределении электроэнергии в сети. Результатом этого являются более низкие затраты, высокая надежность.

В системе учета с веб-технологиями для пользователей интеллектуальной системы предусматриваются следующие функции:

а) передача показаний и результатов измерений прибора учета электрической энергии, присоединенного к интеллектуальной системе учета;

б) предоставление информации о количестве и иных параметрах электрической энергии;

в) полное или частичное ограничение режима потребления электрической энергии, а также возобновление подачи электрической энергии;

г) установление и изменение зон суток (часов, дней недели, месяцев), по которым прибором учета электрической энергии, присоединенным к интеллектуальной системе учета, осуществляется суммирование объемов электрической энергии в соответствии с дифференциацией тарифов (цен);

д) передача данных о параметрах настройки и событиях, зафиксированных прибором учета электрической энергии, присоединенным к интеллектуальной системе учета;

е) передача справочной информации;

ж) передача архива данных;

з) оповещение о возможных недостоверных данных, поступающих с приборов учета в случае срабатывания индикаторов вскрытия электронных пломб или программного сбоя прибора;

и) формирование и экспорт отчета в виде электронного документа, подтверждающего корректность сведений, содержащихся в интеллектуальной системе учета.

Интеллектуальная система учета электроэнергии с веб-технологиями также обеспечивает:

а) измерение активной и реактивной энергии в сетях переменного тока в двух направлениях с более высоким классом точности;

б) возможность выполнения измерений с применением коэффициентов трансформации измерительных трансформаторов тока и напряжения (для приборов учета электрической энергии трансформаторного включения);

в) ведение времени независимо от наличия напряжения в питающей сети с абсолютной погрешностью хода внутренних часов не более 5 секунд в сутки, а также с возможностью смены часового пояса;

г) возможность синхронизации и коррекции времени с внешним источником сигналов точного времени;

д) возможность учета активной и реактивной энергии с фиксацией на конец программируемых расчетных периодов и по не менее чем 4 программируемым тарифным зонам с не менее чем 4 диапазонами суммирования в каждом (далее – тарифное расписание);

е) измерение и вычисление: фазного напряжения в каждой фазе; линейного напряжения (для трехфазных приборов учета электрической энергии); фазного тока в каждой фазе.

Одним из главных компонентов эффективности управления в рыночной системе распределенной генерации является анализ потребления объема электрической энергии в разные периоды времени суток. Если потребитель экономит потребление электроэнергии в часы пик, то он сможет получить денежные вознаграждения. Для физических лиц разрабатывается тариф «день-ночь». Это когда стоимость кВт·ч днем (7-23 часа) и ночью (23-7 часов) разная. Данный метод побуждает потребителя экономить энергию днем и получать ее ночью. Юридические лица могли бы перейти на почасовой тариф исходя из расчета энергоёмкости. Физические лица получили бы тариф на время пиковой половины ночного времени. Часовые пояса можно разбить на три периода (пик с 7 до 10 и с 17 до 21, полупик с 10 до 17 и с 21 до 23 и ночной с 23 до 7). Но главное нововведение в том, что интеллектуальный учет сам по себе сможет подсказать другой тариф. Таким образом, выигрывают все. Потребители экономят или

платят более осознанно. Энергетики сглаживают время максимальной загруженности в электрической сети [6, 7].

Интеллектуальная сеть на основе web-технологий эффективно адаптируется к чрезвычайным ситуациям, связанным со стихийными бедствиями и аварийными ситуациями в энергосистеме. Ввиду наличия таких усовершенствований исследуемые технологии энергетической сети, в которой и генерация на основе нетрадиционных источников энергии, система получения и обработки сведений сочетаются с интернетом, следовательно, энергетическую систему на рассматриваемых интеллектуальных технологиях можно сравнить с интернетом энергии [8, 9, 10].

Благодаря глобальному охвату такая коммуникация стала возможной не только в городских районах, но и в сельской местности. Если сотовая сеть доступна, можно подключить GSM-модем с SIM-картой для опроса счетчика. Преимуществом этой системы является надежность, простота передачи данных и отсутствие такого оборудования, как RTU и ретрансляторы [11, 12, 13]. Недостатком является то, что необходимо производить оплату за связь оператору сотовой сети.

Модемы, работающие в сотовых сетях, имеют различия по тарификациям:

- В режиме CSD – идёт учёт по времени;
- В режиме GPRS – тарифицируется фактический объем информации, который был передан или принят через модем.

Модем CSD в принципе такой же, как и ФАКС-телефон, и центральный компьютер вызывает модем, подключенный к счетчику, через телефон с SIM-картой и получает данные. Основными недостатками при использовании такого модема являются более длительное время подключения к счетчику, а также более низкая скорость передачи данных и более высокая плата за подключение. С другой стороны, такие модемы не нуждаются в предварительной настройке и стоят дешевле, чем GPRS-модемы.

GPRS-модем – это более современное устройство. Принцип работы аналогичен принципу работы смартфона. Модем автоматически подключится к сети и немедленно подключится к центральному компьютеру,

сохраняя его всегда подключенным (рис. 1). Центральный компьютер получает данные от счетчика в нужное время, не тратя время на подключение. Плюсы модемов – низкий трафик и высокая скорость опроса. Недостатком является то, что цена высока и нужно настраиваться заранее. Однако настройка обычно не представляет труда.

Для того чтобы снизить затраты на сотовую связь во время эксплуатации системы, необходимо тщательно изучить структуру ценообразования операторов, работающих в регионе. На такие устройства распространяются специальные тарифы. При такой структуре ценообразования оплата за передачу данных обычно невелика, и все необходимые услуги подключаются одновременно [7].

Для получения изначальных сведений предлагается внедрение умного счетчика на основе web-технологий [3, 14]. Для получения максимального эффекта целесообразно применение программы по расчету и управлению значений гармонических колебаний в электрической сети [1, 15]. В таком случае возможно

применение алгоритма логико-математического описания счетчика в среде *MatLab*, способствующего по отдельности измерять общую нагрузку, нагрузку основной гармоники и нагрузку всех гармонических колебаний по отдельности. Методика такого алгоритма сможет отслеживать влияние всех по отдельности гармоник в электрической цепи.

Так, к примеру, в ходе выполнения работ в рамках Программы снижения потерь (ПСП) электрической энергии в электрических сетях АО «Чеченэнерго» на 2020-2024 гг. (рис. 2), согласно проектированию и реализации пилотного проекта в Аргунских городских электрических сетях (ГЭС), в период времени с 2020-2022 гг. достигнуты целевые показатели по снижению потерь электрической энергии в городе Аргун на реконструированных сетях (около 37% от общей протяженности) и объектах, оснащенных новыми интеллектуальными приборами учета. За 9 месяцев 2021 г. потери электрической энергии в г. Аргун снижены с 32,69% до 15,79% (рис. 3), а за сентябрь 2022 г. снижены до 13,38%.



Рис. 1. Управляемые гибкие системы передачи сигналов переменным током

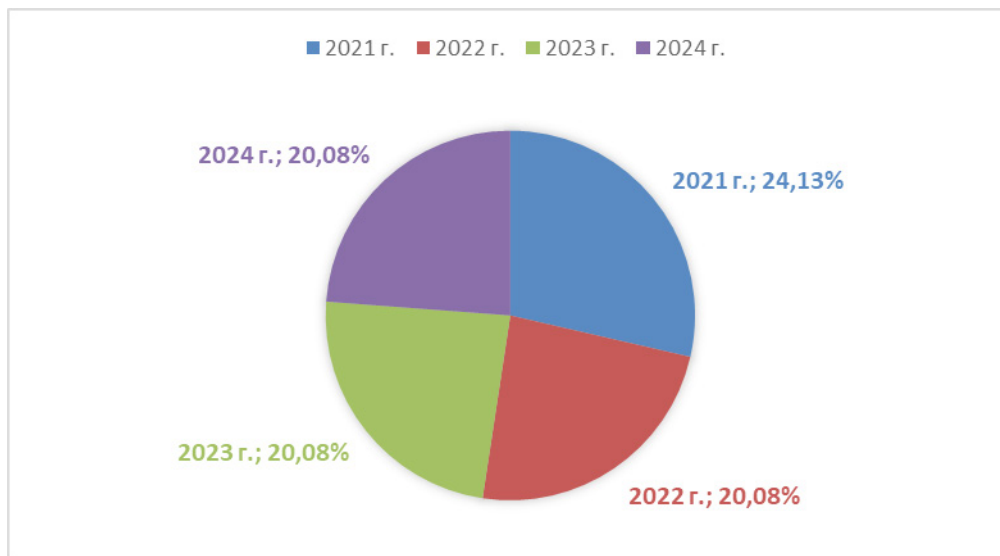


Рис. 2. Ожидаемые результаты выполнения ПСП электрической энергии в электрических сетях АО «Чеченэнерго» на 2020-2024 гг.

В целом по Аргунским ГЭС с учетом присоединенных при создании Аргунского городского округа 3-х населенных пунктов (с. Чечен-Аул, с. Бердыкель и с. Новый-Центорой), на которых еще не проводились работы по оснащению интеллектуальными приборами учета, потери электрической энергии составляют 23,0%. Данные показатели достигнуты в результате выполнения работ по программе ПСП. Вместе с тем, при необходимости привлекались резервы из ремонтной программы АО «Чеченэнерго».

По программе ПСП выполнены следующие работы:

- монтаж интеллектуальных приборов учета – 6931 шт.;

- реконструкция ВЛ-0,4 кВ с организацией повторяющего заземления и заменой провода АС на СИП – 55,89 км;
- установка дополнительного ТП 6/0,4 кВ – 2 комплекта;
- замена трансформаторных подстанций с монтажом новых контуров заземлений – 2 комплекта.

Регулярно ведутся рейдовые мероприятия с использованием автотранспорта, также закупленного в рамках ПСП по выявлению несанкционированного подключения потребителей, уточнению привязки потребителей к трансформаторным подстанциям с последующими корректировками в программных комплексах,

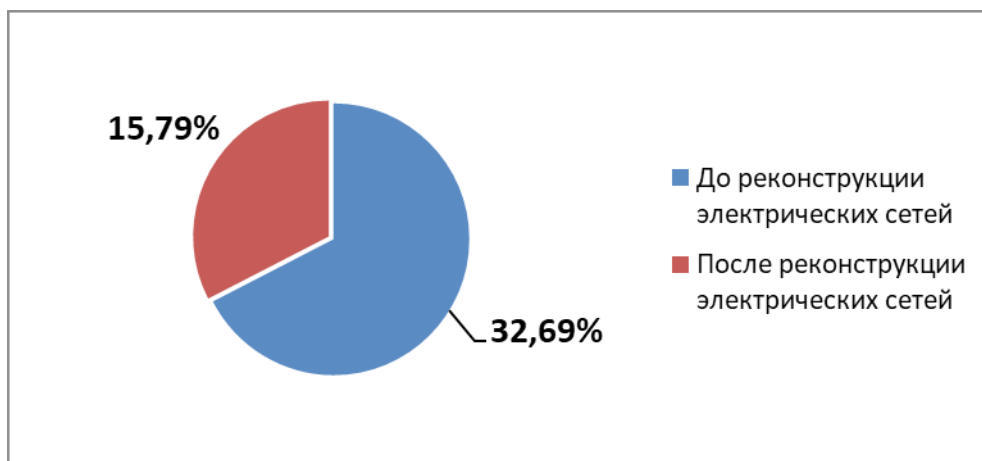


Рис. 3. Снижение потерь электрической энергии в городе Аргун за 9 месяцев 2021 г.

что тоже положительно отражается на снижение потерь в сетях пилотного проекта в Аргунских ГЭС.

Следует отметить, что в комплексе всех вышеперечисленных мероприятий в электрических сетях АО «Чеченэнерго» в пилотном проекте в Аргунских ГЭС достигнуты высокие показатели не только по снижению потерь электрической энергии, но и по снижению аварийности, а также повышению качества электроснабжения и параметров электроэнергии внедрением интеллектуальных приборов учета, что подтверждает эффективность разработанных и внедряемых мероприятий в рамках ПСП.

Внедрение интеллектуальных счетчиков должно синхронизироваться совершенствованием нормативно-правовой базы. Если рассматривать наиболее четкую нормативно-правовую базу государственной стратегии и правовой базы для внедрения систем интеллектуального учета, то наиболее передовыми развивающимися странами в этом плане являются Финляндия, Франция и Нидерланды.

Реализуемые проекты интеллектуальных измерений обеспечивают преимущества как для потребителей, так и для компаний энергетических отраслей. Компании уже получают более своевременную и точную информацию и оптимизируют расходы на выявление и устранение неисправностей.

С учетом современных требований, значительная часть действующих энергообъектов нуждаются в реконструкции, модернизации или техническом перевооружении на элементах новейшего поколения электрооборудования и информационных средств автоматизации.

Планируемый процент строительства и ввода в работу нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в России к 2030 году составляет 4,5%, где также необходимо решать и задачи, учитывающие наиболее углубленные факторы внедрения современных интеллектуальных устройств, представляющие возможности на основе элементов микропроцессорной техники, как для изучения процессов, происходящих в электроэнергетических сетях, так и мониторинга различных электрических параметров. С помощью современных интел-

лектуальных устройств можно повысить коэффициент полезного действия электрооборудования, уменьшить потери электроэнергии и вести мониторинг за качеством электроэнергии [4, 6, 8].

Одним из главных факторов в системе электроснабжения является мониторинг изменения синусоиды напряжения, происходящего в результате возмущений в электрической сети, накладывающегося на основную синусоидальную форму напряжения, которые называются гармониками. Т. к. гармоники, в свою очередь, имеют свойство протекать по всей электрической цепи, гармонические искажения могут вырабатываться электроприемниками, находящимися на большом расстоянии от центра электропитания [7, 10].

В целях повышения эффективности функционирования генерирующих мощностей и сетевой инфраструктуры целесообразно использование современных устройств на основе электронных элементов, например, таких как инверторы, реклоузеры, усилители сигналов, выпрямители, частотные преобразователи и т.д. Использование устройств на базе современных электронных элементов позволяет усовершенствовать, а вместе с тем и расширить возможность процесса функционирования и алгоритма режимов работы технологических установок, а также повысить значение высших гармоник напряжения и тока питающей электрической сети [16, 17, 18]. Более того, применение электростанций на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) повлекло за собой массовое использование электронных устройств, где в первую очередь невозможно обойтись без выпрямителей и инверторов. Применение ВИЭ главным образом влияет на системы электроснабжения, не связанные с централизованной энергосистемой. В соответствии с нормативными документами значения гармоник напряжения от источника питания отличаются эквивалентным коэффициентом гармоник напряжения, характеризующимся в процентном соотношении к значению напряжения основной гармоники [15, 19, 20, 21].

Возникающие в результате нелинейных элементов в приемниках гармоники тока представляют собой негативные явления в целом

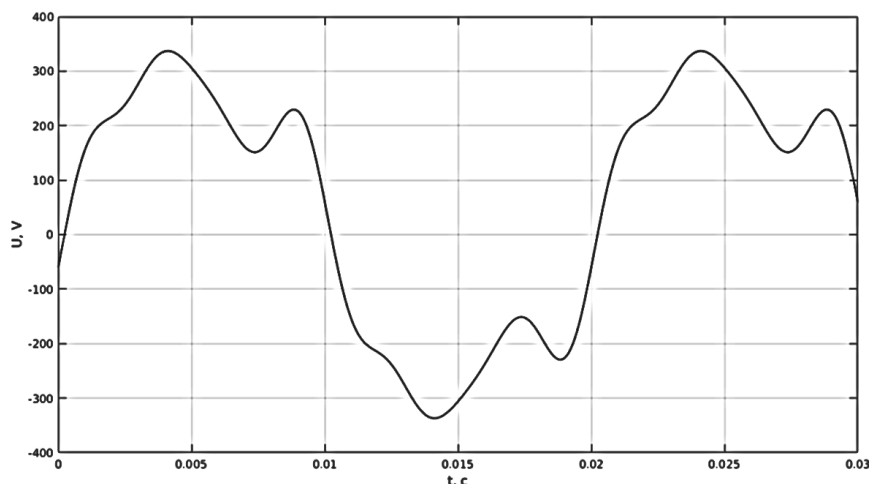


Рис. 4. Синусоида напряжения, близкая к синусоиде напряжений фактических электроприемников

для электрической сети. Гармонические колебания формируют токи с частотами, кратными частоте основной электрической сети, характеризующие, в свою очередь, выработки в эту же сеть мощности искажения.

Ниже представлена форма синусоиды напряжения, близкая к форме синусоид напряжений фактических электроприемников (рис. 4). В искажение формы синусоидального напряжения наибольшее влияние оказывает третья, пятая и седьмая гармоники, на которых следует заострить внимание. Соответствующие значения поступают в измеряемую мощность от отдельных гармонических колебаний, а вместе с тем поступают и значения полной мощности гармонических колебаний.

Степень присутствия гармонических компонентов источника напряжения играет большую роль в эффективности потребления электроэнергии. Ввиду такого фактора требуется постоянное наблюдение за значениями гармонических колебаний на разных участках электрической цепи. Такой метод позволит вести мониторинг за величиной и направлением гармоник источника питания, внедрением интеллектуальной сети на основе web-технологий.

Выводы: Усовершенствование системы учета электроэнергии в электрических сетях Чеченской Республики требует создания стабильной многовекторной политики, которая сможет удовлетворить потребителей электро-

энергии и экономики региона, где внедрение web-технологий позволит получить наибольший эффект. Рост числа электропотребителей, подключенных к такой системе, позволит не только снизить расходы на электроэнергию, но также вести точную статистику энергоснабжающим предприятиям, правильно оценивать ресурсы электрических сетей, тем самым планировать и вовремя внедрять идеи для развития энергетики.

Интеллектуальная сеть на основе web-технологий объединит электрические сети потребителей и некоторых производителей электрической энергии небольших мощностей, в том числе и возобновляемых источников энергии, в единое средство общей централизованной энергетической системы, формирующей стратегию наиболее высокого уровня контроля, отслеживания, регулирования и управления электрическими параметрами, а также режимами работы всех ее участников.

Стратегия внедрения и развития интеллектуальной сети на основе web-технологий повлияет на оптимизацию тарифа и качества электроэнергии потребителей, а также на надежность бесперебойного электроснабжения. Внедрение автоматизированной интеллектуальной энергетической сети отразится положительным эффектом в энергетической промышленности как отдельных регионов, так и всей страны в целом.

Первоочередными задачами развития энергетики республики являются нижеследующие:

1. Разработка современной программы развития web-технологий в электрических сетях Чеченской Республики.
2. Выполнение фундаментальных и прикладных НИР в области автоматизированной интеллектуальной энергетической сети на основе web-технологий.
3. Разработка рекомендаций и инвестиционных предложений для промышленных предприятий и ЖКХ республики активным внедрением WEB-технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потребление электроэнергии бытовыми приборами. URL: <http://remoo.ru/elektrika/potreblenie-elektroenergii-bytovymi-priborami> (дата обращения: 17.06.2022).
2. Энергосбережение. URL: <https://rubrowsers.ru/energoberezenie-pribory> (дата обращения: 17.06.2022).
3. *Амхаев Т. Ш., Дебиев М. В., Абдулхакимов У. И., Асхабов У. Р.* Повышение качества электроэнергии внедрением интеллектуальных сетей // Вестник ГГНТУ. Технические науки 2022. Том XVIII. № 1 (27). Грозный, 2022. 92 с.
4. *Кобец И. И., Волкова И. О., Окорочков В. Р.* Концепция интеллектуальных энергосистем и возможности ее реализации в российской электроэнергетике. М., 2010. 65 с.
5. *Хохлов А., Мельников Ю., Веселов Ф. и др.* Распределенная энергетика в России: потенциал развития // Энергетический центр «Сколково». URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf.
6. *Дзюба А. П., Соловьева И. А.* Управление спросом на электропотребление в России // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2018. № 1. С. 72-79.
7. *Долматов И. А., Золотова И. Ю., Маскаев И. В.* Новый тарифный режим для естественных монополий в России: каким он должен быть? // Эффективное Антикризисное Управление. 2017. № 3-4. С. 30-37.
8. *Зубакин В. А., Ковшов Н. М.* Методы и модели анализа волатильности выработки ВИЭ с учетом цикличности и стохастичности // Эффективное Антикризисное Управление. 2015. № 4. С. 86-98.
9. *Климовец О. В., Зубакин В. А.* Методы оценки эффективности инвестиций в собственную генерацию в условиях риска // Эффективное Антикризисное Управление. 2016. № 2 (95). С. 78-84.
10. *Керимов И. А., Минцаев М. Ш., Дебиев М. В.* Основные этапы реализации программы развития энергетики Чеченской Республики // Геоэнергетика – 2019. Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции / Под ред. М. Ш. Минцаева. 2019. С. 38-56.
11. *Нестеров И. М.* Smart Metering в концепции Smart Grid // Инженерный центр «Энергоаудиткон-троль», 2013. URL: http://www.csr-nw.ru/files/csr/file_content_1316.pdf.
12. *Хохлов А., Веселов Ф.* Internet of Energy: как распределенная энергетика повлияет на безопасность, цены на электричество и экологию // Forbes, 2017. URL: <http://www.forbes.ru/biznes/351485-internet-energy-kak-raspredelennaya-energetika-povliyaet-na-bezopasnost-seny-na>.
13. *Woods E., Strother N.* Smart Meters in Europe. Research report // URL: <http://www.navigantresearch.com/wp-content/uploads/2012/09/AMIEU-12-Executive-Summary.pdf>.
14. *Suslov K. V.* A principle of power quality control in the intelligent distribution networks / *K. V. Suslov, N. N. Solonina, V. S. Stepanov* // International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies EDST. 2015, pp. 131-137.
15. *Суслов К. В.* Программа для расчета и управления уровнем гармонических составляющих в питающей электрической сети / К. В. Суслов, Н. Н. Солонина, Ю. Д. Герасимов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016613995. Дата гос. регистрации 12.12.2016.

16. Новиков С. И., Кузьмин И. Л., Хузяшев Р. Г. Простейшие алгоритмы обнаружения сигналов переходного процесса в линиях электропередачи // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. № 7-8. С. 114-125.
17. Тихомиров В. А. Сравнительный анализ гармонического состава сетевого тока управляемых выпрямителей и преобразователей частоты / В. А. Тихомиров, С. В. Хватов // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2011. № 3 (90). С. 204-214.
18. Jaipradidtham C. Energy conservation with TCSC controller of electric arc furnace for harmonic analysis in power quality disturbance using continuous wavelet transform / C. Jaipradidtham, // 2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON). 2016, pp. 2905-2908.
19. Керимов И. А., Дебиев М. В. Анализ факторов развития ветроэнергетики в Чеченской Республике // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Материалы II Всероссийской научно-технической конференции, г. Грозный, 8-9 ноября 2012 г. Грозный: Академия наук Чеченской Республики, 2012. С. 499-508.
20. Mudiraj A. N. Improvement of Power Quality by mitigating harmonics in single phase AC distribution/ A. N. Mudiraj // 2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT). 2016, pp. 83-88.
21. Дягилев А. А. Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) / А. А. Дягилев, П. П. Новиков, В. В. Бутушин. Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2018. № 7 (193). С. 33-36. URL: <https://moluch.ru/archive/193/48370/> (дата обращения: 17.06.2022).

AUTOMATED POWER METERING SYSTEM IN THE ELECTRIC NETWORKS OF THE CHECHEN REPUBLIC USING WEB TECHNOLOGIES

© T. Sh. Amkhaev ¹, M. V. Debiev ², S. Kh. Mashaev ³

^{1,2}GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

³RJSK «Rosseti North Caucasus»

This article is devoted to the issues of the emergence, development and integration of automated electric energy accounting systems using web technologies in our time. The relevance of this topic is due to the fact that with the development of technologies and their mass distribution, the load on electrical networks increases, there is an unjustified and uncontrolled consumption of electricity, which in turn leads to a deterioration of the ecosystem of the entire planet. It is proposed to use a distributed system for monitoring the quality of electrical energy, to measure the values of electrical parameters in different sections of the electrical network, with their subsequent transformation into appropriate forms and transfer to a single control center. Such a structure will also allow for constant monitoring of the level of harmonic components in various nodes of the power system.

Keywords: electricity, electricity, electricity metering, modern technologies, web-technologies, urbanization.

REFERENCES

1. Potreblenie elektroenergii bytovymi priborami. [Electricity consumption of household appliances]. Available at: <http://remoo.ru/elektrika/potreblenie-elektroenergii-bytovymi-priborami> (accessed 17.06.2022).
2. Energoberezenie. [Energy saving]. Available at: <https://rubrowsers.ru/energoberezenie-pribory> (addressed 17.06.2022).
3. Amkhaev, T. Sh., Debiev, M. V., Abdulkhakimov, U. I. and Askhabov, U. R. (2022) 'Povyshenie kachestva elektroenergii vnedreniem intellektual'nykh setei'. *Vestnik GGNTU, Tekhnicheskie nauki*. [Improving the quality of electricity by introducing smart grids. Herald of GSTOU, Technical Sciences]. V. XVIII. № 1 (27), g. Groznyi, 92 p.
4. Kobets, I. I., Volkova, I. O. and Okorokov, V. R. (2010) Kontseptsiya intellektual'nykh energosistem i vozmozhnosti ee realizatsii v rossiiskoi elektroenergetike. [The concept of intelligent energy systems and the possibility of its implementation in the Russian power industry]. Moscow, 65 p.
5. Khokhlov, A., Mel'nikov, Yu., Veselov, F. and others. Raspredelennaya energetika v Rossii: potencial razvitiya. Energeticheskii tsentr «Skolkovo». [Distributed energy in Russia: development potential // Skolkovo Energy Center]. Available at: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf.
6. Dzyuba, A. P. and Solovjeva, I. A. (2018) 'Upravlenie sprosom na elektropotreblenie v Rossii'. *Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment*. [Demand management for electricity consumption in Russia // Strategic decisions and risk management], № 1. p. 72-79.
7. Dolmatov, I. A., Zolotova, I. Yu. and Maskaev, I. V. (2017) 'Novyi tarifnyi rezhim dlya estestvennykh monopolii v Rossii: kakim on dolzhen byt'?' *Effektivnoe Antikrizisnoe Upravlenie*. [New tariff regime for natural monopolies in Russia: what should it be like? Effective Anti-Crisis Management]. № 3-4. pp. 30-37.
8. Zubakin, V. A. and Kovshov, N. M. (2015) 'Metody i modeli analiza volatil'nosti vyrabotki VIE s uchetom tsiklichnosti i stokhastichnosti'. *Effektivnoe Antikrizisnoe Upravlenie*. [Methods and models for analyzing the volatility of renewable energy generation, taking into account cyclicity and stochasticity. Effective Anti-Crisis Management], № 4, p. 86-98.
9. Klimovets, O. V. and Zubakin, V. A. (2016) Metody otsenki effektivnosti investitsii v sobstvennuyu generatsiyu v usloviyakh riska. *Effektivnoe Antikrizisnoe Upravlenie*. [Methods for evaluating the effectiveness of investments in own generation under risk. Effective Anti-Crisis Management], № 2 (95), p. 78-84.
10. Kerimov, I. A., MintsaeV, M. Sh. and Debiev, M. V. (2019) 'Osnovnye etapy realizatsii programmy razvitiya energetiki chechenskoi respubliky'. *V sbornike: Geoenergetika – 2019, Materialy IV Vserossiiskoi nauchno – tekhnicheskoi konferentsii*. Pod redaktsiei M. Sh. MintsaeVa, [The main stages of the implementation of the energy development program of the Chechen Republic. In the collection: Geoenergy – 2019, Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Technical Conference. In M. Sh. MintsaeV (ed.), pp. 38-56.
11. Nesterov, I. M. (2013) Smart Metering v kontseptsii Smart Grid. Inzhenernyi tsentr «Energoauditkon-trol'», [Smart Metering in the Smart Grid Concept. Engineering Center "Energoauditkontrol"], available at: http://www.csr-nw.ru/files/csr/file_content_1316.pdf.
12. Khokhlov, A. and Veselov, F. (2017) 'Internet of Energy: kak raspredelennaya energetika povliyaet na bezopasnost', tseny na elektrichestvo i ekologiyu'. *Forbes*, available at: <http://www.forbes.ru/biznes/351485-internet-energy-kak-raspredelennaya-energetika-povliyaet-na-bezopasnost-ceny-na>.
13. Woods, E and Strother, N. *Smart Meters in Europe*. Research report, available at: www.navigantresearch.com/wp-content/uploads/2012/09/AMIEU-12-Executive-Summary.pdf.
14. Suslov, K. V. Solonina, N. N. and Stepanov, V. S. (2015) 'A principle of power quality control in the intelligent distribution networks'. *International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies EDST*. [A principle of power quality control in the intelligent distribution networks. International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies EDST]. pp. 131-137.

15. Suslov, K. V. Solonina, N. N. and Gerasimov, Yu. D. *Programma dlya rascheta i upravleniya urovnem garmonicheskikh sostavlyayushchikh v pitayushchei elektricheskoi seti*. [A program for calculating and controlling the level of harmonic components in the power supply network. Certificate of state registration of the computer program No. 2016613995]. Data gos. registratsii 12.12.2016. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM №2016613995.
16. Novikov, S. I., Kuz'min, I. L. and Khuzyashev, R. G. (2017) 'Prosteishie algoritmy obnaruzheniya signalov perekhodnogo protsessa v liniyakh elektroperedachi'. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki*. [The simplest algorithms for detecting transient signals in power lines // Izvestia of higher educational institutions. Energy problems], № 7-8, p. 114-125.
17. Tikhomirov, V. A. and Khvatov, S. V. (2011) 'Sravnitel'nyi analiz garmonicheskogo sostava setevogo toka upravlyaemykh vypryamitelei i preobrazovatelei chastoty'. *Trudy NGTU im. R. E. Alekseeva. Nizhnii Novgorod*, [Comparative analysis of the harmonic composition of the network current of controlled rectifiers and frequency converters / V.A. Tikhomirov, S. V. Khvatov. Proceedings of NNSTU named after R. E. Alekseev], № 3 (90), Nizhny Novgorod, pp. 204-214.
18. Jaipradidtham, C. (2016) 'Energy conservation with TCSC controller of electric arc furnace for harmonic analysis in power quality disturbance using continuous wavelet transform', *2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, pp. 2905-2908.
19. Kerimov I. A. and Debiev M. V. (2012) 'Analiz faktorov razvitiya vetroenergetiki v Chechenskoj Respublike'. «*Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza*». *Materialy II Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. g. Groznyi, 8-9 noyabrya 2012 g., Groznyi: Akademiya nauk Chechenskoj Respubliki*, [Analysis of the factors of development of wind energy in the Chechen Republic. "Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus" Proceedings of the II All-Russian Scientific and Technical Conference], pp. 499-508.
20. Mudiraj, A. N. (2016) 'Improvement of Power Quality by mitigating harmonics in single phase AC distribution'. *2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT)*, pp. 83-88.
21. Dyagilev, A. A. Novikov, P. P. and Butushin, V. V. (2018) 'Avtomatizirovannaya sistema kommercheskogo ucheta elektroenergii (ASKUE)'. *Neposredstvennyi. Molodoi uchenyi*. [Automated system for commercial electricity metering (ASKUE). Young scientist]. № 7 (193), pp. 33-36, available at: <https://moluch.ru/archive/193/48370/> (accessed 17.06.2022).

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОСТИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В ИОТ И МЕТОДОВ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ

© М. Я. Пашаев, С. И. Абдулаева, М. М. Намаева, Х. С. Халиева
ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

Объем обмена данными в сети увеличивается за счет расширения пространства Интернета вещей и его все большей популярности в последние годы. В связи с ростом запросов на подключение к сети и использование сетевых технологий многократно возросла необходимость сохранения конфиденциальности и безопасности личных данных. В рассматриваемой проблемной плоскости пользователи сети, которые являются датчиками, также масштабно увеличивают объем обрабатываемых данных. В результате перед комплексом технического обеспечения – маршрутизаторы сети и сетевые серверы – ставятся серьезные задачи по контролю и обеспечению безопасности такого объема данных. Предлагаемая статья приводит анализ этих проблем, направленный на обеспечение безопасности пользователей и представление процедур, позволяющих решать проблемы и выражать стратегии их преодоления. Предлагаются некоторые методы использования функциональности корректного шифрования, в том числе и формирования безопасного протокола. Другой способ преодоления проблем с конфиденциальностью больших данных – это продуманный дизайн протокола связи.

Ключевые слова: большие данные, облачные серверы, интеллектуальные устройства, агрегация и интеграция данных, интеллектуальный анализ данных IoT, функции шифрования, конфиденциальность, криптографические функции, безопасность больших данных.

С каждым днем увеличивается не только количество людей, подключенных к Интернету, но и то же самое происходит с Интернет-вещами, подключенными к Интернету для обмена данными и взаимодействия друг с другом. В современную эпоху интеллектуальные устройства и Интернет-вещи могут передавать и получать информацию, а также взаимодействовать друг с другом. Это взаимодействие достигло такого уровня, что основной объем обмена данными через устройства связан с Интернетом вещей (IoT). Прогнозируется, что количество умных устройств, подключенных к Интернету, в 2022 году увеличится в 44 раза по сравнению с 2009 годом [1]. Датчики можно назвать доминирующими вещами, связанными с обменом данными через Интернет, которые считаются одним из самых больших ресурсов данных [2]. IoT следует рассматривать как интеллектуальную сеть, состоящую из вещей, взаимодействующих друг с другом.

IoT в сети производят и обмениваются данными, имеющими большой объем, ско-

рость и разнообразие. Термин под названием «Big» был придуман для данных, воплощающих вышеупомянутые характеристики, при этом большие данные не имеют четкой категорической констатации и обычно классифицируются на основе характеристических свойств.

IoT относится ко всем вещам, которые могут передавать или получать определенную информацию и могут взаимодействовать друг с другом. Интернет вещей можно назвать другим понятием, который практически распространяется и проникает во все области.

Обработка данных в области IoT осуществляется посредством сети, которая способна аккумулировать, обрабатывать, анализировать передаваемые данные всех элементов сети. Интернет вещей предсказывает, что в будущем мир будет контролироваться физическими устройствами, соединенными друг с другом через единую инфраструктуру. Другими словами, IoT – это гигантская сеть, в которой огромная масса устройств, датчиков и умных устройств взаимодействуют друг с другом [1].

Большая часть этой сети состоит из датчиков, наравне с такими, как смарт-карта, смартфон и компьютеры, которые также конфигурируют в сети для обмена необходимой информацией.

Большие данные (Big Data) также не имеют четкого и прозрачного определения [3]. В частности, можно привести такое определение – это набор данных из различных источников, от четко определенных до слабо определенных, полученных из человеческих или машинных источников. Было представлено множество определений, которые зависят от цели и области исследования. На данный момент 2 миллиарда человек подключены к Интернету, а 5 миллиардов пользуются мобильными телефонами. Ожидается, что к 2023 году количество устройств, подключенных к Интернету, превысит 50 миллиардов устройств. Прогнозируется, что количество сообщений, переданных к этому году (2023 г.), в 44 раза превысит количество сообщений, переданных к 2009 г. [1].

Основное использование больших данных – выявление и оптимизация процессов в бизнесе, финансовой торговле, улучшении и оптимизации умных городов и стран, улучшении управления взаимоотношениями с клиентами, улучшении здравоохранения, спортивно-массовой деятельности, транспортных услуг и т. д. В настоящее время IoT гарантирует, что среда, в которой мы живем, может стать «умной», т. е. автоматизирует информационные потоки сообщений о состоянии какого-либо объекта, оснащенного датчиками на основе интеллектуальных систем.

Устройства IoT используют различные методы сетевых подключений к другим устройствам для обмена данными. Такие технологии, как стандартный Wi-Fi, Bluetooth с низким энергопотреблением, локальное оконечное оборудование (LTE), спутниковые соединения используются для подключения нескольких устройств на разных уровнях. Безопасность IoT связана не только с безопасностью устройства, но и с веб-интерфейсами, облачными сервисами и другими устройствами, которые с ним взаимодействуют. Существует множество методов, используемых для решения таких проблем, как конфиденциальность данных,

вывод и агрегирование, что позволяет повторно идентифицировать некоторые персоналии, даже если они удалены из набора данных. В том числе следует отметить целый ряд уязвимостей безопасности, которые могут привести к небезопасному веб-интерфейсу.

Большие данные могут поступать из множества различных источников, таких как системы бизнес-транзакций, клиентские базы данных, медицинские записи, журналы посещений в Интернете, мобильные приложения, социальные сети, собранные результаты научных экспериментов, машинно-генерируемые данные и используемые датчики данных в реальном времени в среде Интернета вещей. Данные можно оставить в необработанном виде или предварительно обработать с помощью инструментов интеллектуального анализа данных или программного обеспечения для подготовки данных перед их анализом.

Большие данные также охватывают широкий спектр типов данных, включая структурированные данные в базах данных и хранилищах данных SQL, неструктурированные данные, такие как текстовые файлы и файлы документов, хранящиеся в кластерах Hadoop или системах NoSQL, и частично структурированные данные, такие как журналы веб-сервера или потоковой передачи данных с датчиков.

Информационные системы, основанные на IoT, хранятся и обрабатываются на серверах, обладающих сверхвысокой надежностью и мощностью. Облачные серверы собирают информацию с датчиков, радиочастотных идентификаторов и других интеллектуальных устройств и сохраняют ее в своей памяти [2]. Облачные вычисления подпитывались промышленностью, и мощные серверы таких компаний, как Google и Amazon, поддерживали эти серверы. Потребность в облачных сервисах в сети IoT остро ощущается, так как в этой сети острая необходимость с высокой скоростью обрабатывать и надежно хранить большие данные.

Технологии Big Data и IoT тесно взаимосвязаны. Несмотря на то, что социальные сети считались гигантскими производителями Big Data, но прогнозирование увеличения объема данных в мире показывает, что в ближайшем

будущем IoT получит приоритетную долю обмениваемой информации. Как упоминалось выше, будущее отношение к IoT сосредоточено на крупномасштабных умных городах [4]. Четвертая промышленная революция в мире в 2011 году стала пиком использования Интернета вещей. Датчики, которые имеют наибольшую долю в IoT, получили высокий рост выпуска в промышленности, вместе с этим увеличивая и объем передаваемой контролируемой информации.

Филип Чен описал еще один тип зависимости BIG DATA от IoT. Навигация, социальные сети, финансовая информация, информация о здоровье, астрономическая информация и интеллектуальный транспорт входят в число отраслей, которые производят много информации. Еще одна связь между IoT и Big Data, которая характеризуется сбором информации об окружающей среде, геоинформационными данными и астрономией через беспроводные датчики IoT. Со значительным ростом применения технологий IoT объем данных по этим областям также многократно увеличивается [5].

Обмен данными в социальных сетях и масштабный рост объемов информации в этих сетях также повлияли на многократное увеличение количества выявляемых фактов использования данных в злонамеренных и мошеннических целях. Необходимость защиты информации пользователей, в том числе и конфиденциальности, диктует применение адекватных мер формирования стратегии информационной безопасности в условиях развития IoT и Big Data [6]. Итак, два важных фактора решения названной проблемы заключаются в следующем:

1. *Конфиденциальность.* Личная безопасность пользователей указывает на уровень доступности для других пользователей. Некоторые исследователи разделили концепцию конфиденциальности на три раздела: безопасность инфраструктуры, информационная безопасность и управление информацией [5]. Каждый пользователь (частное лицо или устройство) может предоставить доступ к своей конфиденциальной информации другим, однако при этом гарантировано ограничение доступа и обеспечение его конфиденциальности.

2. *Безопасность.* Большой объем данных и скорость их обработки затрудняют обеспечение безопасности. Принципы формирования защиты информации в условиях BIG DATA по технологиям реализации довольно сложны и до сих пор недостаточно изучены [3]. Гигантские IT-компании, такие как Google, Microsoft, YouTube, Skype, использовали большой спектр программных и аппаратных разработок для обеспечения информационной безопасности, что демонстрирует сложность защиты на гигантских серверах [7].

Угрозы безопасности состоят из нескольких разделов. Атака Denial of Service (DoA) формируется в инфраструктуре, а атака на функцию шифрования и контроля доступа формируется в разделе конфиденциальности [4]. Защита пользователей от этих атак является проблемой безопасности.

С помощью ежедневного анализа поведения пользователей киберзащитники и эксперты могут отмечать и сообщать об аномальных онлайн-действиях, которые могут быть подозрительными и аномальными. Однако точный анализ профилей пользователей по-прежнему затруднен из-за сложной, разнообразной и динамичной природы поведения людей в Интернете. Большинство предыдущих исследований сосредоточены только на технологической перспективе защиты от кибератак. Ограниченная доступность соответствующих исследований создает большие трудности как для исследователей, так и для промышленных участников.

Опишем некоторые особенности BIG DATA:

- **Объем.** Объем данных (терабайт и более) представляет собой серьезную проблему для BIG DATA. Разнообразие типа информации, форматов данных и их предметных областей (Facebook, например, производит 500 терабайт данных каждый день). Сложно регламентировать определенные границы для объемов BIG DATA, но это не область мелко-масштабных данных.

- **Разнообразие.** Например, соответствующие данные, «считываемые» с датчиков, имеют множество вариаций представляемых форматов.

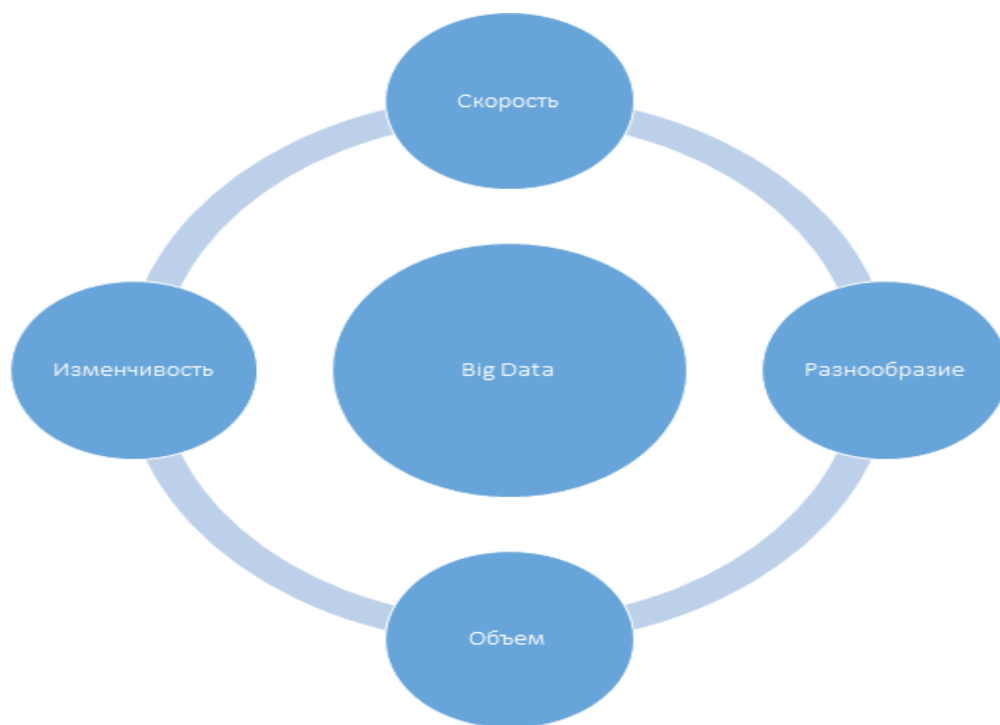


Рис. 1. Основные проблемы внедрения больших данных

- **Скорость.** Из описания BIG DATA выше акцентируем внимание на разнообразии и сложности структуры данных, если при этом добавляются высокоскоростные и объемные данные, обработка которых представляет определенные трудности. Скорость – это еще одна особенность BIG DATA, которая порождает одновременно и проблему обработки высокоскоростных данных.

- **Изменчивость.** Передача разнообразных данных множеством пользователей осуществляется из большого числа источников. Аналитические исследования данной темы определяют изменчивость данных одной из четырех первоначальных проблем, представленных на рисунке 1.

- **Правдивость.** Структура данных достаточно сложна, и достоверность данных в BIG DATA не может быть строго объективно установлена.

- **Интеллектуальный анализ данных и оптимизация.** Одна из самых больших задач в области BIG DATA – очистить гигантский пул информации от дополнительных «избыточных» данных и выбрать оптимизированный вариант комплекса данных.

- **Сложность:** как видно из других объяснений, по мере увеличения объема данных возрастает и сложность. Это можно разделить на три части:

- 1) сложность данных;
- 2) вычислительная сложность;
- 3) сложность системы.

- **Анализ данных и моделирование:** эта задача указывает на некоторые типы подмножеств: разделение информации и сбор потерянных данных.

- **Интерпретация данных:** этот шаг выглядит как этап построения изображения, важный для принятия решения о полученных данных.

- **Конфиденциальность:** как описывалась эта проблема выше, конфиденциальность – самая сложная задача в эпоху цифровых технологий.

- **Безопасность:** сохранение конфиденциальности пользователей и предотвращение распространения вредоносных программ. В соответствии с важностью обработки BIG DATA следует также учитывать их безопасность.

- **Управление данными:** по мере роста BIG DATA компании и организации потенци-

ально должны быть готовы управлять большими данными, улучшение качества данных и сохранение ценности данных являются одними из ключевых элементов информации.

- Право собственности на данные. Помимо безопасности и конфиденциальности, важно также обеспечивать право собственности на данные, что особенно актуально проявляется при их совместном использовании данных.

В этой статье мы проанализировали проблемное поле для безопасности и конфиденциальности данных в BIG DATA, а также перечень адекватных способов преодоления этих проблем в IoT. Самая основная и примитивная цель в области безопасности и конфиденциальности – обеспечить все три функции конфиденциальности, честности и аутентификации [8].

Многие устройства имеют ограниченную вычислительную мощность и не могут быть зашифрованы с помощью ключей. Но сегодня разработано множество методов шифрования, которые одновременно являются быстрыми, безопасными и недорогими [7]. Есть также много программ IoT, которые все еще находятся в зачаточном состоянии в области удостоверения личности, цифровой подписи, и каждая из них имеет сильные и слабые стороны. Иногда путем простых изменений программа могла быть практически полезной [9].

Чтобы обеспечить конфиденциальность данных пользователей и предотвратить нару-

шения этики информационной безопасности в сети, следует использовать безопасные протоколы. Существует множество протоколов для передачи информации, аутентификации пользователей, цифровых подписей и так далее. Каждое из них представлено с целью свойств, каждое из которых имеет сильные и слабые стороны, которые можно зафиксировать, проанализировав их детально. Облегченные протоколы и использование криптографических функций сетевой безопасности будут использоваться не всегда, а иногда необходимо использовать асимметричное шифрование, цифровую подпись и другие функции шифрования, значительно увеличивающие вычислительную нагрузку сети [10]. Следовательно, необходимо спроектировать такой протокол, чтобы основная нагрузка по его вычислению на сервере серверов и пользователей (объектов) была достаточно мощной.

Исходя из особенностей реализации проектов IoT с подходом майнинга BIG DATA, в данной работе определены приоритетные задачи повышения эффективности реализации безопасности и конфиденциальности данных пользователей. Предложены методы, которые могли бы обеспечить более безопасное пространство для маломощных пользователей. Наиболее важной из предложенных нами методов является грамотная разработка коммуникационных протоколов, чтобы вычислительная нагрузка ложилась на поставщиков услуг (облачных серверов).

ЛИТЕРАТУРА

1. Хеглунд Д., Линдемер С., Фурухед М., Раза Ш. IoT: на пути к инфраструктуре открытых ключей для Интернета вещей, компьютеров и безопасности. 2020.
2. Миркин Б.Г. Введение в анализ данных: учебник и практикум / Б.Г. Миркин. Москва: Издательство Юрайт, 2022. 174 с.
3. Вьющенко О.О., Маслова М.А. Об обеспечении безопасности в сфере интернета вещей / О.О. Вьющенко, М.А. Маслова // Информационные технологии. Т. 6. №3. 2021. С. 33-39.
4. Роуз М. Интернет вещей (IoT). Повестка дня ИИОТ. М. Роуз [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT> (дата обращения: 14.10.2022).
5. Алисултанова Э.Д., Моисеенко Н.А., Юсупова Р.В., Тасуев У.Р. Система оптимизации работы клиентских служб на основе нейронных сетей // Современные наукоемкие технологии. 2021. №12 (часть 1). С. 15-20.

6. Довгаль В. А., Довгаль Д. В. Управление ресурсами в Интернете Вещей / В. А. Довгаль, Д. В. Довгаль // Дистанционные образовательные технологии: материалы II Всерос. науч.-практ. конф., г. Ялта, 2017 г. Симферополь: АРИАЛ, 2017. С. 168-173.
7. Хаджиева Л. К., Хаджиев М. Р., Исраимова А. Т. Концепция систем ИОТ для сельскохозяйственных услуг с высокой степенью автономии // Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XVII. № 3 (25). Грозный, 2021.
8. Хаджиева Л. К., Хаджиев М. Р., Хашумов И. У. Перспективы внедрения технологии 5G и взаимодействие с системой «УМНЫЙ ДОМ» // Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XVII. № 4 (26). Грозный, 2021.
9. Хашумов И. У., Хаджиев М. Р., Мальцагов Х. Х. Информационная безопасность и уязвимости ИОТ // Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XVI. № 2 (20). Грозный, 2020.
10. Моисеенко Н. А., Джабраилов И. С. Проектирование информационной системы управления выборами: инициатива современности // Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XV. № 2 (16). Грозный, 2019.

BIG DATA SECURITY ANALYSIS IN IOT AND METHODS FOR OVERCOMING THEM

© M. Ya. Pashaev, S. I. Abdullaeva, M. M. Namaeva, Kh. S. Khaliyeva
GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

The volume of data exchange in this network is increasing due to the expansion of the Internet of Things and its increasing prominence in recent years. With increasing requests to connect to the network and use its services, the need to maintain privacy and security is felt like never before, and it has all become a challenge. Keeping users safe on smaller networks seems easier and threats more predictable. Because network users who are sensors also increase the amount of data. As a result, network routers and network servers have become a major challenge in controlling and securing this amount of data. We analyze these issues in this article. This document aims to ensure the safety of users and to provide procedures for solving problems and expressing coping strategies. Some methods are suggested, such as the use of an encryption function and a secure protocol. Another way to overcome problems with big data is through thoughtful design of the communication protocol. Finally, we point out some of the existing problems associated with big data in the Internet of Things.

Keywords: big data, big data analysis, IoT, big data security.

REFERENCES

1. Heglund, D. Lindemer S., Furuhed M. and Raza S. (2020) IoT: na puti k infrastrukture otkrytykh klyuchi dlya Interneta veshchei, komp'yuteroi i bezopasnosti/ [IoT: towards a public key infrastructure for the internet of things, computers and security].
2. Mirkin, B. G. (2022) *Introduction to data analysis: textbook and workshop*. [Vvedenie v analiz dannykh: uchebnik i praktikum], Yurayt Publishing House, Moscow, 174 p.
3. Vyushchenko, O. O. and Maslova, M. A. (2021) 'Ob obespechenii bezopasnosti v sfere interneta veshchei'. *Informatsionnye tekhnologii*. [About ensuring security in the sphere of the Internet of Things. Information technologies]. V. 6, № 3, pp. 33-39.

4. Rose, M. Internet veshchei (IoT). Povestka dnya IOT [Internet of things (IoT). IOT agenda], available at: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT> (accessed 10/14/2022).
5. Alisultanova, E. D., Moiseenko, N. A., Yusupova, R. V. and Tasuev, U. R. (2021) 'Sistema optimizatsii raboty klientskikh sluzhbb na osnove neironnykh setei' *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. [System for optimizing the work of client services based on neural networks. Modern high technologies]. No. 12 (part 1), pp. 15-20.
6. Dovgal, V. A. and Dovgal, D. V. (2017) 'Upravlenie resursami v Internete Veshchei'. *Distantionnye obrazovatel'nye tekhnologii: materialy II Vseros. nauch. – prakt. konf., g. Yalta, 2017 g. Simferopol'* [Resource management in the Internet of Things. Distance learning technologies: materials of the II All-Russia. scientific-pract. Conf., Yalta, 2017 Simferopol], ARIAL, pp. 168-173
7. Khadzhieva, L. K., Khadzhiev, M. R. and Israkhimova, A. T. (2021) 'Kontseptsiya sistem IOT dlya sel'skokhozyaistvennykh uslug s vysokoi stepen'yu avtonomii'. *Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki*. [The concept of IOT systems for agricultural services with a high degree of autonomy. Herald of GSTOU. Technical sciences]. Volume XVII, №3 (25), Grozny.
8. Khadzhieva, L. K., Khadzhiev, M. R. and Khashumov, I. U. (2021) 'Perspektivy vnedreniya tekhnologii 5G i vzaimodeistvie s sistemoi «UMNYI DOM»'. *Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki*. [Prospects for the introduction of 5G technology and interaction with the "SMART HOUSE" system. Herald of GSTOU. Technical sciences], Volume XVII, №4 (26), Grozny.
9. Khadzhieva, L. K., Maltsagov, Kh. Kh. (2019) 'Informatsionnaya bezopasnost' i uyazvimosti IOT'. *Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki*. [Analysis of the technology "Internet of Things" (IOT) and its role in the "Smart Home". Herald of GSTOU. Technical sciences]. Volume XV, №4 (18), Grozny.
10. Moiseenko, N. A. and Dzhabrailov, I. S. (2019) 'Proektirovanie informatsionnoi sistemy upravleniya vyborami: initsiativa sovremennosti'. *Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki*. [Designing an information system for managing elections: an initiative of the present. Herald of GSTOU. Technical sciences]. Volume XV, №2 (16), Grozny.

КОНФИДЕНЦИАЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

© К. Е. Румянцев¹, Л. К. Хаджиева²

¹ЮФУ, Ростов, Россия

²ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

Обеспечение информационной безопасности является немаловажным фактором в настоящее время, особенно это касается вычислительных систем, инфокоммуникационных систем и систем передачи данных. В статье рассмотрена надежность вычислений, изложена концепция вычислений, проведена параллель между физической и логической составляющей защиты информации. Применению больших данных и технологий искусственного интеллекта в наше время уделяется все больше внимания с точки зрения защиты конфиденциальности и адекватного соответствия данных. Методы, которые могут обеспечить безопасность данных и использовать данные для доверенных вычислений в соответствии с требованиями, так называемые конфиденциальные вычисления, привлекают все больше и больше внимания людей. Решение данной проблемы в статье предлагается реализовать с применением технологии TEMPEST, которая применяет экранирование, которое ограничивает утечку электромагнитной информации от внутреннего излучения, предотвращает попадание внешних радиочастотных помех в вычислительные среды.

Ключевые слова: информационная безопасность, надежность вычислений, передача данных, технология TEMPEST, оборудование, ЭЛТ-терминалы, обработка больших данных, доверенные вычисления, технология экранирования.

Для начала рассмотрим дисплейный терминал обычных компьютеров, который излучает электромагнитные волны с сигналами, которые могут быть получены и воспроизведены на расстоянии 1000 м. Другие внешние устройства, такие как клавиатуры, диски и принтеры, также излучают электромагнитные волны с сигналами во время работы, в результате чего информация может быть потеряна. Электромагнитная утечка не только наносит вред здоровью людей, находящихся рядом с компьютером, но и вызывает электромагнитные помехи в окружающем электронном оборудовании и даже приводит к утечке информации. Поэтому должны быть приняты специальные технические методы для защиты и предотвращения утечки электромагнитного излучения.

Компьютерное оборудование, включая хост-компьютеры, ЭЛТ-терминалы, дисководы, ленточные накопители и принтеры, во время работы создает электромагнитную утечку в той или иной степени [1]. Например, электро-

магнитная утечка различных цифровых цепей в хосте, электромагнитная утечка видеосигналов дисплея, электромагнитная утечка, вызванная клавишными переключателями клавиатуры, низкочастотная электромагнитная утечка принтеров, коммуникационного оборудования и линий электропередач и т. д.

Информация внутри компьютера и его периферийных устройств может просачиваться двумя способами. Один излучается в виде электромагнитных волн, что называется утечкой излучения. Другой проводится через различные линии и металлические трубы, что называется утечкой проводимости. Например, линия электропитания компьютерной системы, телефонная линия в компьютерном зале, верхние и нижние водопроводные и отопительные трубы, а также заземляющий провод могут использоваться в качестве проводящих сред. Эти металлические проводники также иногда действуют как антенны, излучая проводимый сигнал. Из этих источников утечки

самым крупным и наиболее фундаментальным источником излучения является провод с током.

Факторы, влияющие на интенсивность излучения компьютера, в основном включают мощность и частоту, расстояние от источника излучения и условия экранирования [2].

Мощность и частота: Теоретический анализ и расчеты показывают, что чем больше сила тока в токопроводящем проводе, тем больше сила источника излучения, в противном случае она меньше. Реальные испытания показывают, что чем больше мощность устройства, тем выше интенсивность излучения. Для кондуктивных полей чем выше частота сигнала, тем выше интенсивность утечки излучения.

Расстояние от источника излучения: При тех же условиях, чем дальше от источника излучения, тем больше затухание поля, а напряженность поля обратно пропорциональна расстоянию. С этой целью рядом с компьютерным залом может быть установлен изолирующий пояс или зона предупреждения, чтобы свести к минимуму ослабление поля излучения компьютера за пределами устройства.

Состояние защиты: наличие у источника излучения средств защиты оказывает большое влияние на интенсивность его излучения.

Технология TEMPEST – чрезвычайно важный проект совместных исследований и разработок. Содержание его исследований в основном включает: механизм электромагнитной утечки оборудования для обработки информации (включая то, как и каким образом полезная информация загружается в излучаемые сигналы, а также влияние электрических характеристик и физической структуры оборудования для обработки информации на утечку и т. д.), информационное излучение, технологию защиты от утечки (включая расположение электрических компонентов, схем и печатных плат, структуру оборудования, влияние проводки и заземления на утечку излучения, различные экранирующие материалы, экранирующий эффект экранирующих конструкций и т. д., чтобы принять наиболее разумные методы и затраты на снижение интенсивности электромагнитного излучения оборудования), технологию извлечения полезной информации (включая

технологию приема сигналов и технологию восстановления сигналов), технологию и стандарты испытаний (включая содержание испытаний, метод испытаний, требования к испытаниям, условия испытаний, приборы для испытаний и тесты, анализ результатов и т. д., и сформулировать соответствующие стандарты тестирования) [3,4].

Одним из важных способов пресечения утечки информации в технологии TEMPEST является технология электронного сокрытия, а также – технология физического подавления. Технология электронного сокрытия в основном включает использование помех, скачкообразной перестройки частоты и других технологий для сокрытия рабочего состояния и информации о защите всех компьютеров; технология физического подавления предназначена для подавления утечки всей полезной информации путем экранирования или запуска с линий и оборудования. На рисунке 1 показана классификация технических каналов утечки информации.

Технологию физического подавления можно разделить на метод локализации и метод подавления источника. Метод сдерживания в основном защищает линейные блоки, оборудование и даже системы, чтобы предотвратить утечку электромагнитных волн. Компьютерное оборудование, использующее метод сдерживания, имеет особый внешний вид, чтобы другие могли знать, что компьютер обрабатывает конфиденциальную информацию. Метод сдерживания в основном принимает меры с точки зрения конструкции, технологии и материалов. Метод прост, дорог и подходит для небольшого числа применений. Закон о включении все еще находится в секрете.

Принцип подавления источника начинается с цепей и компонентов и принципиально решает проблему, заключающуюся в том, что компьютер и его внешнее оборудование излучают электромагнитные волны наружу, и устраняет источник сильных электромагнитных волн [5]. Компьютер, использующий этот метод, выглядит как обычный компьютер. Обычно он использует оборудование с низким уровнем излучения и принимает следующие меры: выбирать компоненты с более



Рис. 1. Классификация технических каналов утечки информации

низким напряжением и мощностью; конструкция схемы для уменьшения связи и излучения; использовать фильтры питания и фильтры сигналов; использовать прозрачные пленки, которые блокируют электромагнитные волны; «черная» технология изоляции. На практике метод локализации и метод подавления источника обычно можно использовать в сочетании, чтобы играть роль двойной страховки.

Ниже представлены основные технические меры, принятые технологией TEMPEST в компьютере.

Использование источника шумовых помех уменьшает возможность утечки электромагнитной информации двумя способами. Один из способов заключается в размещении рядом с компьютерным оборудованием генератора шумовых помех. Шум, создаваемый генератором помех, просачивается наружу вместе с информационным излучением, создаваемым компьютерным оборудованием, так что утечку полезной информации, создаваемую компью-

терным оборудованием, нелегко устранить. Другой подход заключается в размещении компьютерного оборудования, обрабатывающего важную информацию, посередине, а оборудования, обрабатывающего общую информацию, вокруг него.

Экранирование является важной мерой в технологии TEMPEST. Его назначение: ограничить утечку электромагнитной информации от внутреннего излучения, предотвратить попадание внешних радиочастотных помех в компьютерную систему. Существуют различные методы экранирования, и общее экранирование, экранирование компонентов и экранирование компонентов могут использоваться в соответствии с различными потребностями. Экранирование имеет различные конструкции и материалы, а эффект экранирования связан с такими факторами, как свойства материала, частота излучения и расстояние между конструкцией экрана и источником излучения. Например, герметизирующее экранирование

(с использованием резиновых прокладок, герметиков, уплотнительных полос и т. д.), экранирование рукавов (пластиковые рукава с металлическим напылением или металлическая сетка и т. д.), проводящие покрытия (экранирование окон помещений и токопроводящие покрытия со стеклянным напылением для экранов дисплеев).

Ключ к реализации экранирования заключается в характеристиках экранирующих материалов, особенно прокладка, оказывает большое влияние на эффект экранирования. Экранированный корпус должен быть металлическим. Экранирующий слой кабеля в основном оплетают немагнитными металлическими проволоками. Когда экранирующий слой кабеля должен одновременно обеспечивать электромагнитное экранирование, в качестве экранирующего слоя кабеля можно использовать комбинацию материалов с высокой проводимостью и высокой проницаемостью.

«Красная» и «черная» изоляции формируются по принципу: «красный» означает опасность утечки информации, «черный» означает безопасность. Красная зона относится к области обработки незашифрованной информации, красная линия относится к линии передачи незашифрованной конфиденциальной информации. Области и линии передачи, не содержащие незашифрованной полезной информации, называются черными областями и черными линиями. Выделение «красного» и «черного», а также предотвращение их объединения – важная часть технологии TEMPEST.

Фильтрация является очень важным компонентом технологии TEMPEST. Фильтры дают эффективный результат для уменьшения и подавления электромагнитной утечки. В основном это включает в себя добавление фильтров на линии передачи сигнала, линии общего заземления и линии электропередач [6].

Обычно используется многослойная разводка и технология поверхностного монтажа, а для уменьшения излучения линий выбираются крупногабаритные интегральные схемы. При прокладке проводки необходимо избегать резких изменений проводки, по возможности применяется сбалансированный

метод проводки и устанавливается заземляющий слой для каждого слоя сигнальной проводки, чтобы уменьшить гармоники высокого порядка.

Рассмотрев техническую сторону электромагнитной утечки информации, а также метод решения, а точнее, применение технологии TEMPEST, которая включает механизм электромагнитной утечки оборудования для обработки информации, перейдем непосредственно к защите конфиденциальности вычислений. Так как с применением больших данных и искусственного интеллекта в наше время уделяется все больше внимания защите конфиденциальности и соответствию данных. Таким образом, метод, который может защитить безопасность данных и использовать данные для вычислений в соответствии с требованиями, так называемые конфиденциальные вычисления, привлекает все больше и больше внимания людей.

В научной теории безопасности информации имеется много терминов и понятий, связанных с конфиденциальными вычислениями, такими как надежные вычисления, конфиденциальные вычисления, безопасные вычисления и так далее. Опишем здесь концептуальные различия между ними.

Надежные вычисления. С точки зрения происхождения и масштаба доверительные вычисления в настоящее время являются наиболее зрелыми и имеют самый большой охват, который возник из безопасности информационных систем и выдвинул концепцию доверенной схемы и доверенной системы [7].

Определение доверенных вычислений – объекту доверяют, если его поведение всегда достигает ожидаемой цели ожидаемым образом. Стандарт ISO/IEC 15408 определяет надежность как: компоненты, операции или процессы, связанные с вычислениями, предсказуемы в произвольных условиях и устойчивы к вирусам и физическому вмешательству.

В спецификации Trusted Computing Group (Trusted Computing Group – TCG) для доверенных вычислений определены три свойства:

1. Аутентификация: пользователи компьютерной системы могут установить личность тех, с кем они общаются.

2. Целостность: пользователь гарантирует, что информация может быть передана правильно.

3. Конфиденциальность: пользователь доверяет системе сохранять конфиденциальность информации.

С этой точки зрения основной целью доверенных вычислений является широкое использование доверенных вычислительных платформ, поддерживаемых аппаратными модулями безопасности в вычислительных и коммуникационных системах, для повышения безопасности всей системы.

Одним из наиболее важных элементов доверенных вычислений является Trusted Execution Environment (TEE), представляющий собой тип Trusted Platform Module (TPM). Приведем здесь описание основных функций для повышения безопасности конечных систем.

TEE в основном защищает операции и операции, связанные с личными данными, с помощью аппаратных средств и гарантирует, что конфиденциальные данные хранятся, обрабатываются и защищаются в изолированной и надежной среде, предоставляя безопасную зону. В настоящее время относительно надежной системой TEE является расширение набора инструкций на основе TEE, SGX (Intel Software Guard Extension).

Основная цель заключается в выполнении безопасных вычислений с данными в облачной среде. Это можно рассматривать как доверительные вычисления в облаке для обеспечения безопасности данных клиентов. Конфиденциальные вычисления основаны на аппаратной технологии микропроцессора, виртуальных образах и программных средствах в облаке, так что пользователи в облаке могут создать полностью изолированную доверенную среду выполнения, также известную как безопасная область, поскольку конфиденциальные вычисления, используемые или выполняемые, шифруют данные таким образом, что ни операционная система хоста, ни поставщик облачных услуг не могут идентифицировать конфиденциальную информацию в этих анклавах, предотвращая вмешательство третьих лиц в обрабатываемые данные.

Ядром конфиденциальных вычислений является TEE в облаке, и технология TEE может использоваться для изоляции данных, таких как отпечатки пальцев, пароли и процессы сбора, хранения и проверки информации о лицах.

Пересечением этих концепций безопасности является криптография, которая также является основой безопасности данных.

Современные методы вычисления конфиденциальности можно классифицировать в зависимости от того, искажены данные или нет. Методы защиты конфиденциальности без искажения данных в основном основаны на криптографических методах, включая гомоморфные схемы шифрования и безопасные многосторонние вычисления.

По концептуальной классификации указанные выше категории относятся к категории доверенных вычислений.

– Доверенные вычисления расширяются за счет доверенных систем, и их объем является самым высоким, включая передачу, хранение, вычисления и другие аспекты.

– Конфиденциальные вычисления – это концепция, расширенная из облачных вычислений, и ее основное применение находится в области безопасных вычислений облачных вычислений.

– Конфиденциальные вычисления – это концепция обеспечения безопасности данных в процессе вычисления данных, и ядром является защита конфиденциальности данных.

– Безопасные вычисления, также известные как безопасные многосторонние вычисления, представляют собой особую технологию реализации конфиденциальных вычислений.

Безопасные вычисления, также известные как безопасные многосторонние вычисления (сокращенно MPC, также называемые SMC или SMPC), являются теоретической основой распределенной криптографии и основной проблемой в исследованиях распределенных вычислений.

В концепции безопасных вычислений можно проследить двухсторонний безопасный метод вычислений, основанный на запутанных цепях, а позже постепенно были созданы различные алгоритмы, основанные на запутанных цепях и совместном использовании секрета.

Ядро основной двухсторонней защищенной вычислительной среды использует два криптографических метода: искаженную цепь и забытую передачу. Общая многосторонняя защищенная вычислительная среда позволяет нескольким сторонам безопасно вычислять результаты любой функции или класса функций.

Безопасные многосторонние вычисления относятся к реализации многосторонних вычислений с целью защиты безопасности данных. То есть в распределенной сети каждый участник имеет секретные входы и надеется совместно завершить вычисление определенной функции, но каждый участник не обязан получать никакой входной информации от других участвующих сущностей, кроме результата вычисления. То есть каждый участник выполняет часть расчета, а окончательный результат расчета осваивается или публично делится некоторыми участниками.

Основа многосторонних безопасных вычислений также основана на криптографических технологиях конфиденциальности, включая гомоморфное шифрование, забывчивую передачу, искаженную цепь, совместное использование секрета и т. д.

Выводы. Подводя итоги, можно сказать, что в данной статье рассмотрена проблема электромагнитной утечки, которая не только наносит вред, но и способствует утечке информации. Решение данной проблемы возможно с применением технологии TEMPEST, которая включает механизм электромагнитной утечки оборудования для обработки информации, а также применяет экранирование, которое ограничивает утечку электромагнитной информации от внутреннего излучения, предотвратив попадание внешних радиочастотных помех в компьютерную систему.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Минцаев М. Ш., Хакимов З. Л., Лабазанов М. А.* Программирование логических контроллеров фирмы SIEMENS // Лабораторный практикум. Грозный, 2021.
2. *Алисултанова Э. Д., Хаджиева Л. К., Исаева М. З.* Профориентационная школьная лаборатория по основам кибербезопасности в сфере интернет вещей (ИОТ) // Вестник ГГНТУ. Гуманитарные и социально-экономические науки. 2019. Т. 15. №4 (18). С. 51-58.
3. *Алисултанова Э. Д., Тасуева Х. Х.* Особенности и формы в образовании // Вестник ГГНТУ. Гуманитарные и социально-экономические науки. 2019. Т. 15. № 1 (15). С. 68.
4. *Моисеенко Н. А., Темирова А. Б.* Научное образование как основа формирования инновационной компетентности в условиях цифровой трансформации общества // Вестник ГГНТУ. Гуманитарные и социально-экономические науки. 2022. Т. 18. № 1 (27). С. 60-66.
5. *Моисеенко Н. А., Алисултанова Э. Д., Албакова А. А.* Использование информационных систем для оценки научной деятельности преподавателей вуза // Управление образованием: теория и практика. 2021. № 6 (46). С. 19-27.
6. *Румянцев К. Е.* Защита процесса синхронизации в системе квантового распределения ключа с автоматической компенсацией поляризационных искажений // Телекоммуникации. 2017. № 3. С. 36-44. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28860318>
7. *Румянцев К. Е., Рудинский Е. А.* Двухэтапный временной алгоритм синхронизации в системе квантового распределения ключа с автоматической компенсацией поляризационных искажений // Известия ЮФУ. Технические науки. 2017. № 5. С. 75-89.

CONFIDENTIAL COMPUTING IN A PROTECTED COMPUTING ENVIRONMENT

© K. E. Rumyantsev¹, L. K. Khadzhieva²

¹SFU, Rostov, Russia

²GSTOU, Grozny, Russia

Ensuring information security is no small important factor at present, especially for computing systems, infocommunication systems and data transmission systems. Since electromagnetic leakage not only harms the health of people who are near the computer, but also causes electromagnetic interference in the surrounding electronic equipment and leads to information leakage, this article discusses methods for protecting information and preventing leakage of electromagnetic radiation, analyzes methods for protecting information and their applications. The TEMPEST shielding technology, which includes the mechanism of electromagnetic leakage of information processing equipment, is considered. In addition to electromagnetic information leakage, the article considers the reliability of calculations, outlines the concept of calculations, draws a parallel between the physical and logical components of information protection.

Keywords: information security, reliability of calculations, data transmission, TEMPEST technology, equipment, CRT terminals, data processing.

REFERENCES

1. Mintsaeв, M. Sh., Khakimov, Z. L. and Labazanov, M. A. (2021) Programmirovaniye logicheskikh kontrollerov firmy SIEMENS. [Programming logic controllers from SIEMENS. Laboratory workshop Laboratornyi praktikum]. Grozny.
2. Alisultanova E. D., Khadzhieva L. K., Isaeva M. Z. (2019) Proforientatsionnaya shkol'naya laboratoriya po osnovam kiberbezopasnosti v sfere internet veshchei (IOT) [Vocational guidance school laboratory on the basics of cybersecurity in the field of the Internet of Things (IOT). Herald of GSTOU. Humanitarian, social and economical sciences]. *Vestnik GGNTU. Gumanitarnye i sotsial'no-ekonomicheskie nauki*. V. 15, №4 (18), pp. 51-58
3. Alisultanova, E. D. and Tasueva, Kh. Kh. (2019) 'Osobennosti i formy v obrazovanii'. [Peculiarities and forms in education. Herald of GSTOU. Humanitarian, social and economical sciences]. *Vestnik GGNTU. Gumanitarnye i sotsial'no-ekonomicheskie nauki*. V. 15, №1 (15), p. 68.
4. Moiseenko, N. A. and Temirova, A. B. (2022) 'Nauchnoe obrazovanie kak osnova formirovaniya innovatsionnoi kompetentnosti v usloviyakh tsifrovoy transformatsii obshchestva'. [Scientific education as the basis for the formation of innovative competence in the context of the digital transformation of society. Herald of GSTOU. Humanitarian, social and economical sciences]. *Vestnik GGNTU. Gumanitarnye i sotsial'no-ekonomicheskie nauki*. 2022. T. 18. №1 (27). S. 60-66.
5. Moiseenko, N. A., Alisultanova, E. D. and Albakova, A. A. (2021) 'Ispol'zovanie informatsionnykh sistem dlya otsenki nauchnoi deyatel'nosti prepodavatelei vuza'. [The use of information systems to assess the scientific activities of university teachers. Management of education: theory and practice]. *Upravlenie obrazovaniem: teoriya i praktika*. №6 (46), pp. 19-27.
6. Rumyantsev, K. E. (2017) 'Zashchita protsessa sinkhronizatsii v sisteme kvantovogo raspredeleniya klyucha s avtomaticheskoi kompensatsiei polarizatsionnykh iskazhenii'. [Protection of the synchronization process in a quantum key distribution system with automatic compensation of polarization distortions. Telecommunications]. *Telekommunikatsii*. №3, pp. 36-44, available at: [www://elibrary.ru/item.asp?id=28860318](http://elibrary.ru/item.asp?id=28860318)
7. Rumyantsev, K. E. and Rudinskii, E. A. (2017) 'Dvukhetapnyi vremennoi algoritm sinkhronizatsii v sisteme kvantovogo raspredeleniya klyucha s avtomaticheskoi kompensatsiei polarizatsionnykh iskazhenii'. [Two-stage temporal synchronization algorithm in a quantum key distribution system with automatic compensation of polarization distortions. Izvestiya of SFU. Technical sciences]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*. №5, pp. 75-89.

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 666.266.52:661.888.1 DOI: 10.34708/GSTOU. 2022.47.67.005

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОСАЖДЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК V_2O_5

© И. О. Аймбетова¹, Э. О. Аймбетова², О. С. Байгенженов³,
Д. Берди¹, Б. Умиров¹

*¹Международный казахско-турецкий университет
имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан*

*²РГП «Национальный центр по комплексной переработке
минерального сырья», Алматы, Казахстан*

*³Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан*

На основании технологического и экономического анализа самым оптимальным и технологически приемлемым методом получения термохромных композиций является легирование пленок фазопереходными материалами, позволяющих управлять основными параметрами энергосбережения и других термосвойств, с последующим нанесением на стеклянные и/или другие подложки. Исследован рост кристаллитов поликристаллических пленок, изготовленных путем одновременной вариации толщины напыленной пленки оксида ванадия и времени ее термообработки при различных температурах. Исследование структуры пленки осуществлено рентгеновским микрондочным анализатором. Для определения оптимального ведения процесса осаждения тонких пленок оксида ванадия на поверхность стеклянной подложки были исследованы методы магнетронного осаждения, метод центрифугирования, нанесение опусканием в раствор с термохромным материалом. При spin-coating осаждении планарных покрытий тонких пленок V_2O_5 использована золь-гель техника. На основании проведенных исследований выявлено, что эффективные термохромные и электрохромные свойства демонстрируются пленками, поперечный размер которых менее 2 микронметров. Термическая обработка при температуре 400 позволяет кальцинацию и отжиг вещества. Выявлено, что при совместном послойном осаждении пентаоксида ванадия с оксидами переходных металлов на стеклянную подложку повышение/понижение температуры влияет на индуцированные изменения химических связей в комплексе и/или координации лигандов вокруг иона переходного металла, который способствует снижению фотокаталитической активности, порция ультрафиолетового света, поступающая на поверхность нанокатализатора, полностью поглощается каркасом слоя V_2O_5 .

Ключевые слова. Оксид ванадия, магнетронное напыление, метод центрифугирования, термохромность, пленка, подложка.

Введение

Термохромные материалы являются наиболее важными и фундаментальными компонентами, необходимыми для достижения функции термохромизма для смарт-окон. Смарт стекла по химической структуре на-

несенных покрытий регулирует пропускание солнечного света извне. Среди многих известных термохромных материалов основной категорией являются оксиды металлов, такие как оксид ванадия, вольфрама, титана и других элементов. Основные химические соеди-

нения, используемые для регуляции прохождения солнечного света, наносятся непосредственно на поверхность стекла, и в связи с фазовым переходом материала в известной температуре обеспечивают комфортность пользователю сохранением необходимого микроклимата внутри помещения.

Известно, что в оксиде ванадия (IV) при температуре 67°C происходит фазовый переход «полупроводник-металл», характеризующийся резким изменением удельного сопротивления и коэффициента пропускания световой энергии в инфракрасных и сверхвысоко-частотных диапазонах [1, 2]. При этом происходит скачок электропроводности от 10^{-6} до 10^{-1} ом*метр. Меняются также и оптические свойства: показатель преломления падает от 2,5 до 2,0 [2]. Изменение кристаллической структуры связано с фазовым превращением оксида ванадия из моноклинной в тетрагональную, обладающую эффектами резистивного электрического переключения, фазового перехода, фото-, электро- и термохромизма. Таким образом, уникальные фазопереходные свойства оксида ванадия (IV) применяются в производстве ванадиевых бронз, как полупроводниковый материал для терморезисторов, переключателей элементов памяти, дисплеев, для стеклянных покрытий, которые блокируют инфракрасное излучение [3-5]. Поликристаллические плёнки VO_2 используют в электронных устройствах, в визуализаторах инфракрасного (ИК) излучения, нелинейно-оптических ограничителях излучения, в качестве сред для записи голограмм, в зеркалах с управляемым коэффициентом отражения.

Данная работа направлена на создание базовых основ термохромных энергоэффективных композиций на основе оксида ванадия с целью использования в стекольной промышленности, обладающих способностью светопропускающих, контролирующих тепло и световых энергий при гражданском строительстве.

В Казахстане нет отечественных производств термохромных энергоэффективных композиций на основе оксида ванадия, не проводятся научные исследования по их составлению.

Целью данной работы является разработка композиции на основе оксида ванадия, обладающего термохромным энергоэффективным свойством, используемой в стекольной промышленности для smart-окон. Разработка состава позволит создать благоприятные условия в строительстве, при этом экономически важным является снижение высокого потребления энергии, обусловленного городским развитием, ростом населения и улучшением требований внутреннего климатического комфорта в гражданском строительстве [6].

Основные подходы исследования заключаются в известных в мире способах получения термохромных наполнителей; имеющиеся продуктивные результаты зарубежных исследований базируются на методах получения термохромных наполнителей на основе низкомолекулярных органических соединений, эмиссионных полимерных или нанокompозитных плёнок, фото- и термофункциональных комплексов переходных металлов.

Поэтому возникает необходимость получения термохромных материалов с низкой себестоимостью, пригодных для использования в ограждающих конструкциях зданий, для регулирования тепла в их помещениях. Согласно литературному обзору [7-8], в настоящее время актуальными представляются исследования, направленные на разработку термохромных материалов на основе оксида ванадия. VO_2 является наиболее изученным, обладающим удобной для измерений температурой фазового перехода. Например, VO_2 при температуре 67°C (340 K) происходит фазовый переход из полупроводникового в металлическое состояние, в зависимости от примесных компонентов и нестехиометрии по кислороду данный оксид в составе композиции обладает отражающим эффектом. Фазовый переход в VO_2 можно считать сверхбыстрым, поскольку в существенно неравновесных условиях, например при воздействии на него короткого импульса света достаточной энергии, время перехода из полупроводниковой фазы в металлическую составляет около 100 фс [9, 10]. Данный процесс сопровождается изменением оптических характеристик VO_2 : коэффициентов отражения, поглощения и пропускания.

Коэффициент пропускания зависит от длины и интервала времени излучения и его поляризации в кристаллографических осях VO_2 .

Таким образом, оксид ванадия можно использовать в температурных сенсорах [11], оптических переключателях [12,13], покрытиях стёкол, в качестве носителя информации (благодаря малому времени перехода – 30 наносекунд, и малой энергии возбуждения) [14].

Методы исследования

Методологической и теоретической базой исследования являются работы отечественных и зарубежных ученых, посвященные разработке композиционных и наноматериалов на основе оксидных материалов [15-18].

В лабораторных условиях установлены оптимальные условия процесса составления рецептур на основе изучения физико-химической характеристики сырья и продукции, а именно прочность, устойчивость, химический и радиологический анализ, зависимости изменения электрического сопротивления и оптического пропускания от температуры, теплопроводность, степень пропускания ИК и УФ излучений, влаго и химическая стойкость, коэффициент теплоотдачи.

С помощью техники электронной микроскопии исследован рост кристаллитов поликристаллических пленок, изготовленных путем одновременной вариации толщины напыленной пленки оксида ванадия и времени ее термообработки при различных температурах.

Исследование структуры пленки осуществлено рентгеновским микронзондовым анализатором.

Основным методом анализа результатов исследований являются методы оптической спектроскопии, использованы следующие оборудования: спектрофотометры SPECORD со встроенным программным обеспечением и компьютерным интерфейсом для определения спектров поглощения, компьютерная программа MatLab для анализа контура и поиска спектральных форм оксида ванадия и легирующих добавок, определения структуры полос поглощения из оптических плотностей.

Результаты исследований

Методика осаждения тонких пленок V_2O_5

В данном разделе приведены методики получения тонких пленок V_2O_5 . Даны результаты исследования морфологии поверхности, структурные свойства, термические характеристики, элементный состав и оптические характеристики полученных материалов.

1.1. Магнетронное осаждение тонких пленок V_2O_5 на проводящее стекло ИТО.

Для магнетронного напыления тонких пленок использовалась установка магнетронного распыления МАГНА ТМ-200-1, схема рабочего процесса которой представлена на рисунке 1.

Формирование тонких пленок оксида ванадия на поверхности ИТО стекла путем магнетронного осаждения протекало в режиме работы источника энергии при постоянном токе.

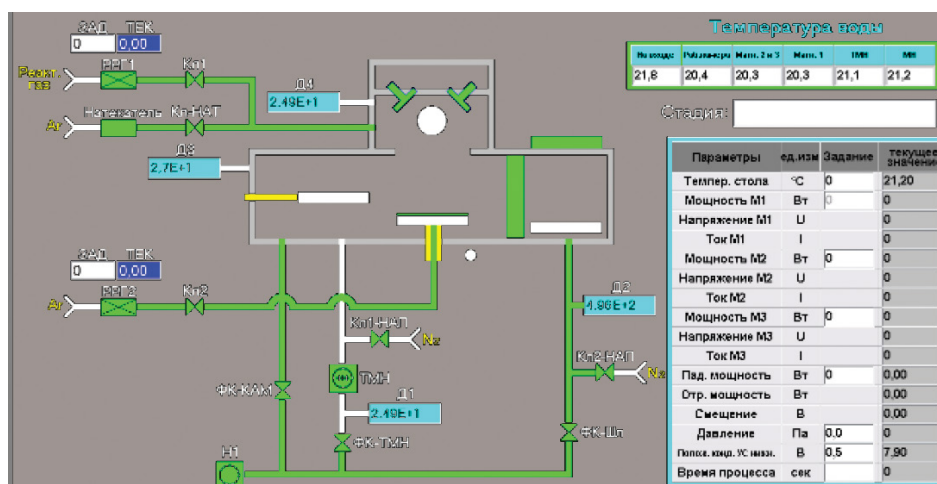


Рис. 1. Схема установки нанесения металлических слоев

Процесс осаждения сопровождался подачей в камеру с глубоким вакуумом ($2.95 \cdot 10^{-5}$ миллибар) смеси рабочих газов аргон (99.95%) и кислород (99.92%). Устранение окислов с поверхности металлической мишени достигалось путем проведения предварительного распыления материала ванадиевой мишени в плазме аргона в течение 15-25 минут. Физическое распыление ванадия протекало при бомбардировке ускоренными ионами распыляющего газообразного аргона поверхности ванадиевой мишени, чистота которой составляла 99.98%, после чего следовала реакция атомов ванадия, вырванных с поверхности мишени, с реактивным газообразным кислородом. Подача газов аргон и кислород производилась через каналы независимых газовых натекаателей с контроллерами массового газового расходомера.

Процесс магнетронного осаждения оксида ванадия на приводящее стекло запускался при достижении давления газообразного аргона

значений 0.6 Паскаль, при этом реакционный газообразный кислород подводился до достижения 10% от находящегося в камере реактора аргона.

Мощность магнетрона варьировалась в пределах 100-500 Вт. Образец 1 сформирован при достижении мощности магнетрона, равной 100 Вт, 2 сформирован при достижении мощности магнетрона, равной 300 Вт, 3 сформирован при достижении мощности магнетрона, равной 500 Вт. Температура подложки поддерживалась на уровне 300°C. Скорость откачки 0.6 л/час, при этом расход аргона составлял порядка 5.5 см³/час.

Полученные образцы подвергались анализу на установке Рамановской спектроскопии (АСМ – Раман – СБОМ – TERS). На рисунке 2 представлены спектры комбинационного рассеяния пленок 1-3 V₂O₅.

Прослеживаемый пик при 145 см⁻¹ связан с колебаниями группы V – O – V. Однако мало-

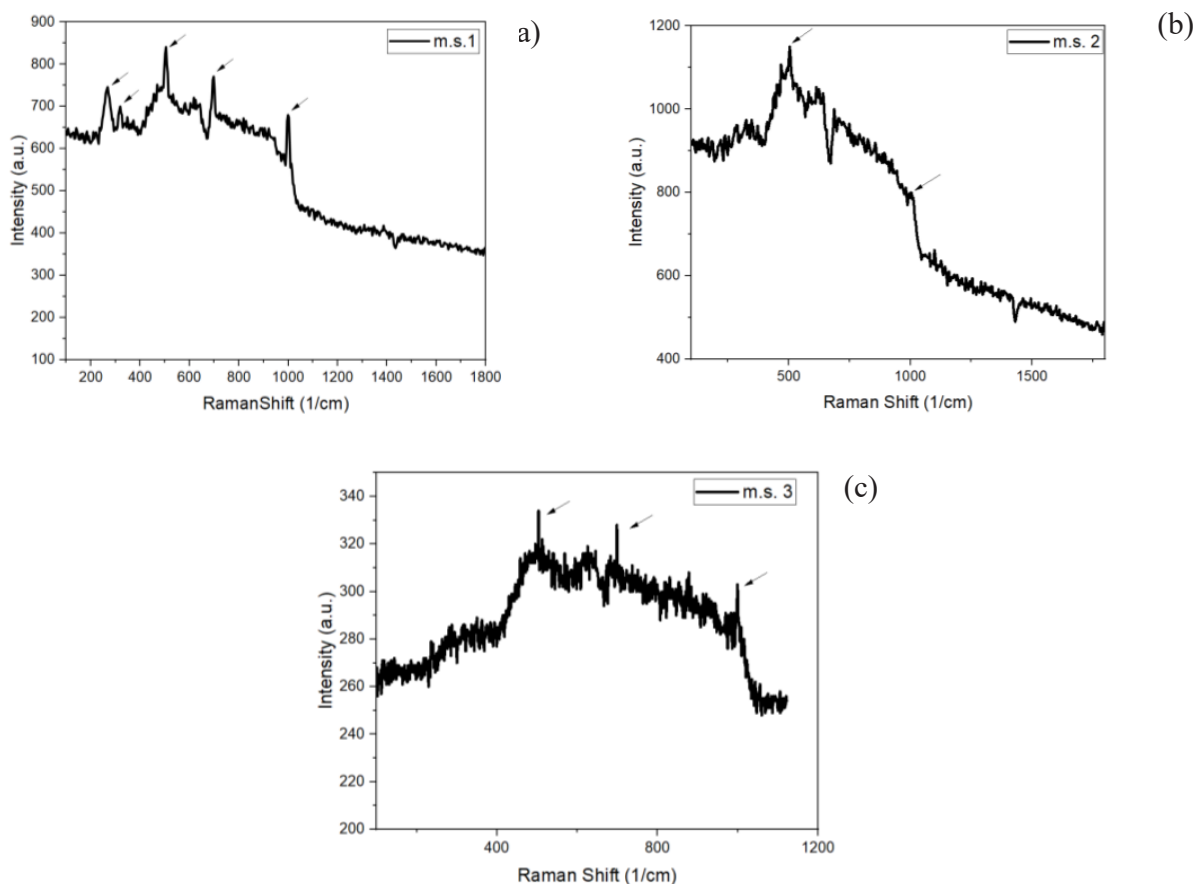


Рис. 2. Спектры комбинационного рассеяния образцов V₂O₅ 1-3 (а-с), полученных магнетронным распылением

прослеживаемый пик не характеризует структуру V_2O_5 целиком, показывая лишь отношение пленки к слоистым структурам. Стрелками на рисунке 3 а показаны более интенсивные пики, рамановский сдвиг которых характерен для структур V_2O_5 орторомбической фазы – 283 см^{-1} , 305 см^{-1} , 525 см^{-1} , 695 см^{-1} , 987 см^{-1} . При увеличении мощности магнетронного распыления до 300 Вт и 500 Вт, интенсивность пиков, относящихся к орторомбической фазе V_2O_5 , снижается, что, возможно, относится к изменению валентного состояния V_xO_y .

1.2. Гидротермальный синтез наноструктур V_xO_y .

Для проведения гидротермального синтеза наноструктур V_xO_y был использован водный раствор NH_4VO_3 . После достижения полного растворения вещества в ДИ воде смесь помещалась в автоклавный реактор высокого давления для проведения гидротермального синтеза. Температурные параметры синтеза регулировались муфельной печью. После проведения ряда экспериментальных работ температура рабочего процесса выбрана в диапазоне $190\text{--}230^\circ\text{C}$. Время синтеза варьировалось от 24 до 36 часов. После завершения гидротермального синтеза образцы подвергались тщательной очистке в воде, для исключения остаточных продуктов на поверхности наноструктур. Фильтрация полученного материала проводилась с целью селекции синтезируемого материала от рабочего раствора. Термообработка проводилась в два этапа. Первый этап – сушка в атмосфере воздуха при температуре 100°C для удаления воды в течение 30 минут. Второй этап – кальцинация при температуре 400°C для получения волокон оксида ванадия. Продолжительность второго этапа составляла 120 минут.

Детали: в 100 мл автоклавный реактор помещали 75 мл водного раствора, содержащего 50 г NH_4VO_3 . Исключено полное заполнение реактора раствором, в противном случае произойдет полная разгерметизация реактора вследствие больших давлений.

Анализ морфологии поверхности полученных образцов исследован на установках электронных растровых микроскопов JSM-6490 LA (JEOL) и MIRA 3LMU (Tescan, Чехия) с вольфрамовым катодом прямого накала. Ос-

новной электронный пучок генерируется нагретой вольфрамовой нитью или пушкой для полевого выброса, и обычно ускоряется приложением напряжения 1-30 кВ. Наличие электромагнитных линз приводит к фокусировке луча на образце до размера пятна в нанометровом диапазоне. Когда электронный луч проникает в образец, происходит несколько процессов, таких как поглощение, рассеяние и излучение. Изучение морфологии поверхности полученных образцов проходило при анализе данных детектора вторичных электронов. Вторичные электроны генерируются, когда на образец попадают электроны падающего пучка с достаточно высокой энергией. Поскольку энергия вторичных электронов довольно мала ($<50\text{ эВ}$), то можно получить сведения, касающиеся только поверхности материала. Обратные рассеянные и дифрагированные электроны также можно обнаружить (такие электроны теряют только 20-40% начальной энергии), однако они проявляются при различных дифракционных углах. Микрографические снимки нановолокна VO представлены на рисунке 3.

На рисунке приведены изображения образца, синтезированного гидротермальным методом на протяжении 20 часов. При анализе микрографических снимков (рисунки 3 а-d) видно, что при увеличении частицы порошка диаметром несколько миллиметров (рисунок 3а) прослеживаются нановолокна VO, длина которых достигает нескольких микрометров, при этом поперечный диаметр варьируется от десятков до сотен нанометров (рисунок 3б), размерность нановолокна VO лежит в субмикронной и наноразмерной области. По результатам исследования морфологии поверхности полученных материалов установлено, что допустимой температурой гидротермального синтеза нановолокна VO является уровень в $220\text{--}240^\circ\text{C}$. При этом временные параметры не вносят характерный вклад в развитие морфологии нановолокна VO. Так, обнаружено, что при недостаточном времени гидротермального синтеза структуры материала не сформированы в виде нановолокна VO (рисунок 3с), при достижении 24-часового синтеза прослеживаются нановолокна VO в объеме раствора (реактора). При увеличении времени синтеза до 36

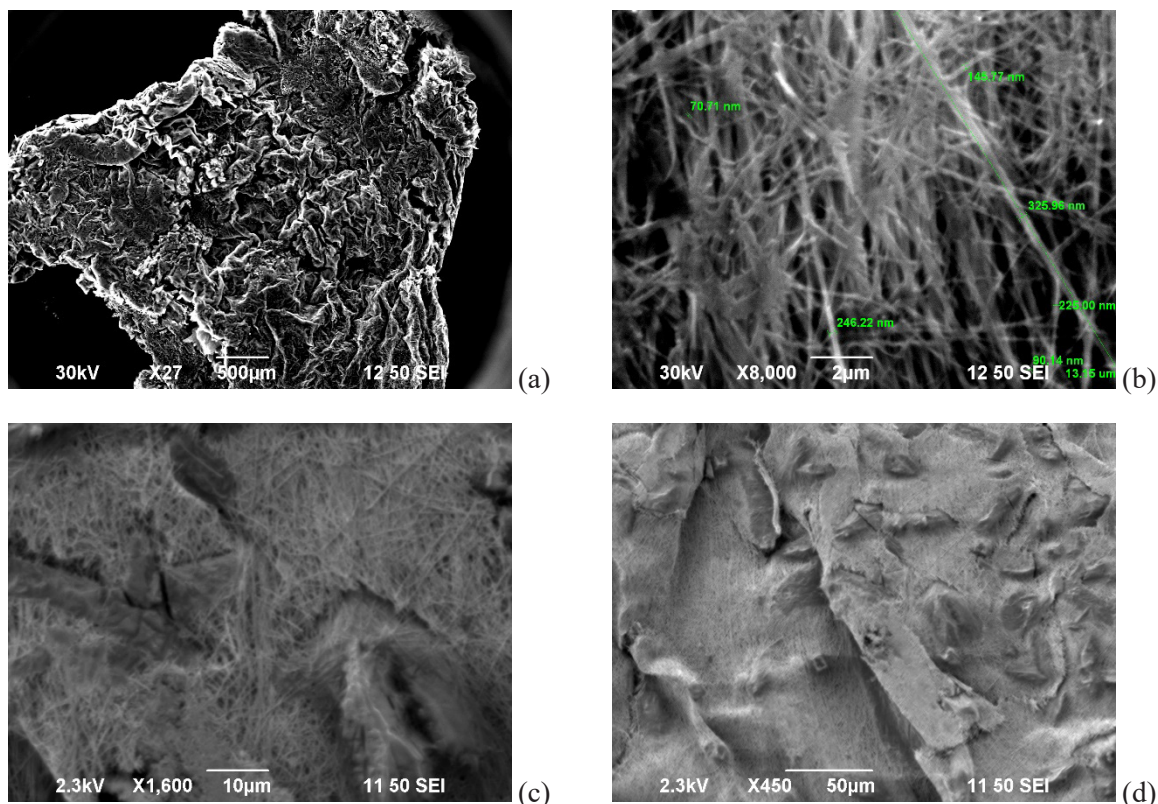


Рис. 3. SEM снимок морфологии поверхности нановолокна VO

часов образовавшиеся нановолокна VO оседают на стенках реактора, образуя порошковидную массу (рисунок 3d). При изучении морфологии поверхности такой порошковидной массы замечено, что нановолокна VO не изменяют обретенные ранее геометрические параметры, что свидетельствует об отсутствии необходимости проведения длительного (более 24 часов) гидротермального синтеза.

Термические характеристики образцов, полученных гидротермальным методом, изучались на установке дифференциально-термического анализатора с приставкой термогравиметрического анализатора, DSC, с диапазоном измерения +/- 1000 мг, с разрешением 0,2 мкг или 0,02 мкг. Прибор представляет собой печь с металлическим резистором и температурным диапазоном от комнатной до 1600°C со скоростью сканирования от 0,01 до 100 °C/мин.

Основные этапы потери массы исследуемого образца демонстрируются при 75°C, 650°C, 780°C и 960°C. Первый этап потери массы находит объяснение, связанное с фазовым переходом, что придает материалу особые

характеристики, связанные с термохромными свойствами нановолокна VO, дальнейшая потеря массы объясняется возможной кальцинацией образца.

1.3. Spin-coating метод формирования планарных пленок на проводящей подложке

Spin-coating осаждение планарных покрытий тонких пленок V_2O_5 используют золь-гель технику. Установка для spin-coating осаждения состоит из вращающейся с контролируемой скоростью платформой, на которую помещается образец. Скорость вращения платформы с образцом варьируется в диапазоне 500-4000 об./мин. Позиционирование образца (ITO стекло) на поверхности платформы должно обеспечивать попадание приготовленного заранее золь на поверхность подложки. В случае использования токопроводящего стекла в качестве подложки нужно поместить стекло так, чтобы ITO слой был направлен кверху, для нанесения на его поверхность рабочего раствора.

Рецепт приготовления раствора для проведения spin-coating нанослоев V_2O_5 заключается в приготовлении золь-геля. Золь состоит

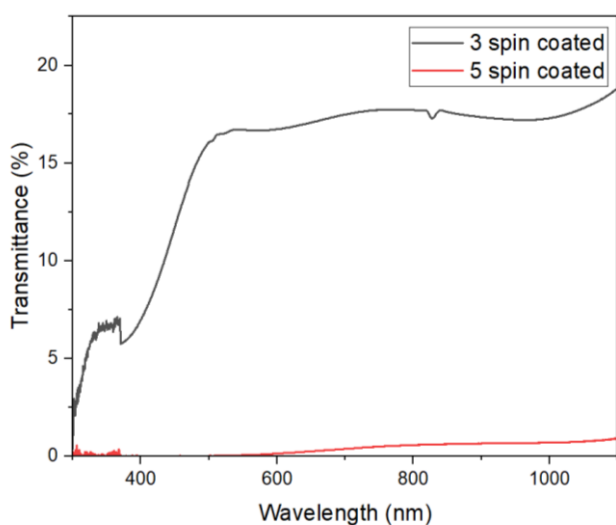


Рис. 4. Спектр оптического пропускания образцами 3 spin coated и 5 spin coated

из коллоидного V_2O_5 , полученного быстрым окислением в среде H_2O_2 . Рецепт раствора: в 60 мл 36% технического H_2O_2 разбавляли 6 г порошка V_2O_5 при быстром перемешивании в прохладной среде (бытовой холодильник, $7^\circ C$) на протяжении трех дней. Вследствие приведенных действий раствор обретает темно-красный цвет. Вязкость раствора зависит от скорости перемешивания. Использование вязких растворов при нанесении слоев V_2O_5 методом spin-coating не позволяет получить равномерных пленок.

При нанесении 10 слоев V_2O_5 в режиме spin-coating 2500 об/мин геометрический размер поперечного сечения получаемой пленки достигает 2.65 микрон.

Свойства оптического пропускания электромагнитных волн в спектре от 300 до 1100 нм, присущие образцам, сформированным при 3 и 5 циклах нанесения V_2O_5 в режиме spin-coating, представлены на рисунке 4.

Спектры оптического пропускания образцов V_2O_5 3 spin coated и V_2O_5 5 spin coated изображены черной и красной кривыми, соответственно. Видно, что 5 spin coated демонстрирует пропускание всего спектра на уровне меньше 1.5%, с другой стороны, 3 spin coated образец имеет уровень оптического пропускания более 15%. Таким образом, можно предположить, что эффективные термохромные и электрохромные свойства демонстрируются

пленками, поперечный размер которых менее 2 микрон.

1.4. Dip-coating метод получения планарных покрытий V_2O_5

Dip-coating метод формирования тонких пленок V_2O_5 проводился на автоматизированной установке, изображенной на рисунке 5.

Режим работы установки производства Nadetech Innovation экспериментально подобран согласно следующим параметрам:

- скорость погружения подложки в раствор равна 50 мм/мин.;
- скорость вынимания подложки из раствора 10 мм/мин.;
- скорость радиального перемещения подложки между сосудами с различными растворами $10^\circ/\text{сек}$.

Количество циклов dip-coating влияет на оптические свойства получаемых покрытий. Так, на рисунке 6 изображен спектр поглощения пленками V_2O_5 при 1 и 5 циклах dip-coating. Спектр записан в интервале длин волн между 300 и 1100 нм.

Как видно из рисунка 6, поглощение света, вызванного материалом полупроводника в фиолетовой области, доминирует при 5-кратной абсорбции раствора. Тогда как при 1-кратном нанесении продукта поглощение света снижено в два раза.

Формирование тонких пленок V_2O_5 путем dip-coating нанесения тонких слоев происходило, соблюдая следующие параметры синтеза: токопроводящая стеклянная пластинка последовательно погружалась в две емкости. Первая



Рис. 5. Фотографическое изображение установки для проведения dip-coating синтеза

емкость содержала рабочий золь-гель раствор. Вторая емкость содержала ДИ воду. При погружении подложки в первую емкость протекала реакция адсорбции V_2O_5 . Время погружения составляло 10 секунд. Вторым шагом dip-coating синтеза – промывка в ДИ воде в течение 20 секунд, в результате чего происходит удаление избыточного материала, слабо связанного поверхностью подложки. Термическая обработка при температуре 400°C позволяет кальцинацию и отжиг вещества.

Выводы

Низкоразмерные пленки V_2O_5 были выращены на поверхности ИТО стекла методами магнетронного распыления, золь-гель spin/dip coating техниками и гидротермальным синтезом. После проведения работ по синтезу материала была проведена постобработка, включающая отжиг и кальцинацию в различном температурном диапазоне. Методами УФ/Вид спектроскопии проведены исследования оптических свойств образцов. Структурные исследования прове-

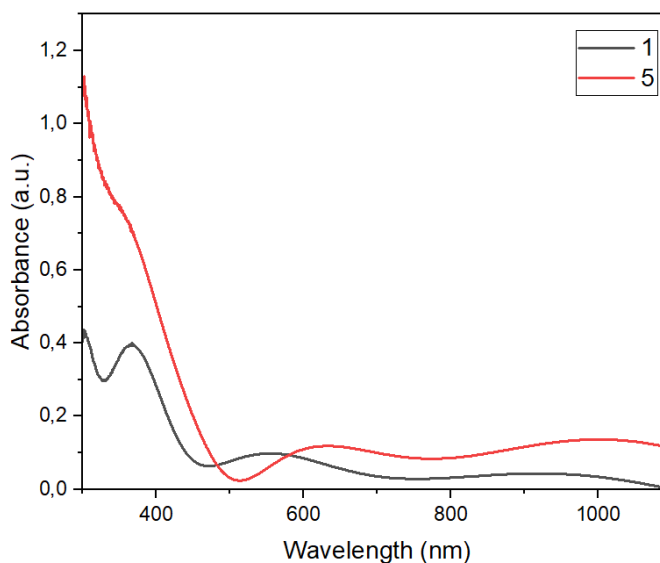


Рис. 6. Спектр поглощения пленками V_2O_5 при 1 и 5 циклах dip-coating

дены, используя Рамановскую спектроскопию. Термические свойства изучены термогравиметрическим анализом.

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант №AP09058456).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bruckner W., Opperman H., Reichelt W., Wolf G., Chudnovsky F.A., Terukov E.I.* Vanadium dioxide. Berlin: Academy-Verlag, 1983. P. 23-25.
2. *Ильинский А. В., Квашенкина О. Е., Шадрин Е. Б.* Фазовый переход и корреляционные эффекты в диоксиде ванадия // Физика и техника полупроводников. 2012. Том 46. Выпуск 4. С. 439-446.
3. *Шадрин Е. Б. Ильинский А. В.* О природе фазового перехода металл-проводник в диоксиде ванадия // Физика твердого тела. 2000. Том 42. Вып. 6. С. 1092-1099.
4. *Marco C.* Smart Buildings. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy-Efficiency and Environmental Performance. Elsevier Ltd. 2016. 355p.
5. *Иванов А. В., Макаревич О. Н., Бойцова О. В., Макаревич А. М.* Гидротермальный синтез порошков и пленок диоксида ванадия из растворов карбоксилатов ванадия // Сборник материалов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи «Функциональные наноматериалы и Высококачественные вещества». Суздаль, 2018. С. 336-338.
6. *Fan Lele, Zhu Yiyu et al.* Modulation of VO₂ metal-insulator transition by co-doping of hydrogen and oxygen vacancy // Solar energy materials and solar cells. 2020. Т. 212. 110562.
7. *Liu Sai, Tso Chi Yan et al.* Bio-inspired TiO₂ nano-cone antireflection layer for the optical performance improvement of VO₂ thermochromic smart windows // Scientific reports. 2020. Т. 10. Vol. 1. P. 22-24.
8. Наноструктурные оксидные материалы в современной микро-, нано- и оптоэлектронике / Под ред. В. А. Мошникова, О. А. Александровой. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. 266 с.

9. *Nagashima M., Wada H.* The oxygen deficiency effect of VO₂ thin films prepared by laser ablation // J. of materials research. 1997. Vol. 12. №2. P. 416-422.
10. *Маркова Т.С.* Спектроскопия комплексов переходных металлов с переносом заряда в термохромных средах // Автореферат дисс. ... канд. хим. наук. Санкт-Петербург, 2006. 22 с.
11. *Makarevich A.M., Ivanov A.V., Makarevich O.N., Sharovarov D.I., Amelichev V.A., Boytsova O.V.* Solvothermal Synthesis Of Vanadium Dioxide Epitaxial Films With Metal-Insulator Transition // XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry. Book 2a: Abstracts. Saint Petersburg, 2019. P. 396.
12. *Величко А.А., Кулдин Н.А., Стефанович Г.Б., Пергамент А.Л., Борисков П.П.* Аморфный оксид ванадия – неорганический резист для нанолитографии // Успехи современного естествознания. 2004. №4. P. 53-54.
13. *Радишевская Н.И.* Составы и технология получения неорганических пигментов и термохромных материалов на основе молибдофосфатов элементов триады железа: Автореферат дисс. ... канд. тех. наук. Томск, 2002. С. 3.
14. *Jian Wei Xu, Ming Hui Chua and Kwok Wei Shah.* Smart Materials – Electrochromic Smart Materials: Fabrication and Applications / Cambridge, Thomas Graham House. 2019. P. 499-502.
15. *Ritter A.* Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design. Berlin: Walter de Gruyter, 2007. 188 p.
16. *Soltani M.* Thermochromic vanadium dioxide smart coatings grown on Kapton substrates by reactive pulsed laser deposition // Journal of Vacuum Science and Technology A. 2006. Vol. 24 (3). P. 612-621.
17. *Стефанович Г.Б.* Компоненты для 3d компьютерной памяти, гибкой и прозрачной электроники на основе оксидных материалов, получаемых низкотемпературными методами: Отчет о НИР. Петрозаводск, 2012. С. 23.
18. *Баснукаев И.Ш., Исламов А.А., Мусостова Д.Ш.* Нанотехнологии и наноматериалы // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2021. Том XVII. №4 (26). С. 50-56.

DEVELOPMENT OF A V₂O₅ THIN FILM DEPOSITION TECHNIQUE© I. O. Aimbetova¹, E. O. Aimbetova², O. S. Baigenzhenov³,
D. Berdi¹, B. Umirov¹¹*Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan, Kazakhstan*²*National center for mineral raw material comprehensive recycling, Almaty, Kazakhstan*³*Satbayev University, Almaty, Kazakhstan*

Based on technological and economic analysis, the most optimal and technologically acceptable method for obtaining thermochromic compositions is the alloying of films of phase-transition materials that allow controlling the main parameters of energy saving and other thermal properties, followed by application to glass and/or other substrates. The growth of crystallites of polycrystalline films made by simultaneous variation of the thickness of the sprayed vanadium oxide film and the time of its heat treatment at different temperatures is investigated. The study of the film structure was carried out by an X-ray microprobe analyzer. In order to determine the optimal conduct of the process of deposition methods of thin films of vanadium oxide on the surface of a glass substrate, magnetron deposition methods, the method of centrifugation deposition by lowering into a solution with thermochromic material were investigated. During spin-coating deposition of planar coatings of V₂O₅ thin films, sol-gel technique was used. Based on the conducted studies, it was revealed that effective thermochromic and electrochromic properties are demonstrated by films whose transverse size is less than 2 micrometers. Heat treatment at a temperature of 400 allows calcination and annealing of the substance. It was revealed that during the joint layer-by-layer deposition of vanadium pentoxide with transition metal oxides on a glass substrate, an increase/decrease in temperature affects induced changes in chemical bonds in the complex and/or coordination of ligands around the transition metal ion, which contributes to a decrease in photocatalytic activity, a portion of ultraviolet light entering the surface of the nanocatalyst is completely absorbed by the framework of the V₂O₅ layer.

Keywords. vanadium oxide, magnetron sputtering, centrifugation method, thermochromicity, film, surface.

REFERENCES

1. Bruckner, W., Opperman, H., Reichelt, W., Wolf, G., Chudnovsky, F. A. and Terukov, E. I. (1983). Vanadium dioxide. Berlin, Academy-Verlag, pp. 23-25.
2. Il'inskij, A. V., Kvashenkina, O. E. and Shadrin, E. B. (2012) Fazovyy perexhod i korrelyacionnye efekty v dioksida vanadiya. *Fizika i tekhnika poluprovodnikov*. [Phase transition and correlation effects in vanadium dioxide. Physics and technology of semiconductors]. T. 46. Vol. 4, pp. 439-446.
3. Shadrin, E. B. and Il'inskij, A. V. (2000) O prirode fazovogo perexhoda metall-provodnik v dioksida vanadiya. *Fizika tverdogo tela* [On the nature of the metal-conductor phase transition in vanadium dioxide. Solid State Physics]. T. 42. Vol. 6, pp. 1092-1099.
4. Marco, C. (2016) Smart Buildings. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy-Efficiency and Environmental Performance. Elsevier Ltd. 355p.
5. Ivanov, A. V., Makarevich, O. N., Bojcova, O. V. and Makarevich, A. M. (2018) Gidrotermal'nyj Sintez Poroshkov I Plenok Dioksida Vanadiya Iz Rastvorov Karboksilatov Vanadiya. *Sbornik materialov mezhdunarodnoj konferencii s elementami nauchnoj shkoly dlya molodezhi «Funkcional'nye Nanomaterialy I Vysokochistye Veshchestva»*. [Hydrothermal Synthesis Of Vanadium Dioxide Powders And Films From Solutions Of Vanadium Carboxylates. Proceedings of the international conference with elements of a scientific school for young people "Functional Nanomaterials And High-Purity Substances"] Suzdal'. P. 336-338.

6. Fan, Lele, Zhu and Yiyu, et all. (2020) Modulation of VO₂ metal-insulator transition by co-doping of hydrogen and oxygen vacancy. *Solar energy materials and solar cells*. T. 212. 110562.
7. Liu, Sai, Tso, Chi Yan, et all. (2020) Bio-inspired TiO₂ nano-cone antireflection layer for the optical performance improvement of VO₂ thermochromic smart windows. *Scientific reports*. T 10. Vol. 1. 22-24 pp.
8. Moshnikov, V. A. and Aleksandrova, O. A. (2017) Nanostrukturnye oksidnye materialy v sovremennoj mikro-, nano- i optoelektronike. [Nanostructured oxide materials in modern micro-, nano- and optoelectronics]. Publishing house of SPbSETU "LETI", Saint-Petersburg, 266 p.
9. Nagashima, M. and Wada, H. (1997) 'The oxygen deficiency effect of VO₂ thin films prepared by laser ablation'. *J. of materials research*. Vol. 12. №2. P. 416-422.
10. Markova, T. S. (2006) 'Spektroskopiya kompleksov perekhodnyh metallov s perenosom zaryada v termohromnyh sredah'. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata himicheskikh nauk. [Spectroscopy of transition metal complexes with charge transfer in thermochromic media. Abstract of the dissertation of Ph. D. dissertation], Saint-Petersburg. 22 p.
11. Makarevich, A. M., Ivanov, A. V., Makarevich, O. N., Sharovarov, D. I., Amelichev, V. A. and Boytsova, O. V. (2019) Solvothermal Synthesis Of Vanadium Dioxide Epitaxial Films With Metal-Insulator Transition. *XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry. Book 2a: Abstracts*, Saint Petersburg. P. 396.
12. Velichko, A. A., Kuldin, N. A., Stefanovich, G. B., Pergament, A. L. and Boriskov, P. P. (2004). 'Amorfnyj oksid vanadiya – neorganicheskij rezist dlya nanolitografii'. *Uspekhi Sovremennogo Estestvoznaniya*. [Amorphous vanadium oxide – inorganic resist for nanolithography. Successes of Modern Natural Science]. №4. P. 53-54.
13. Radishevskaya, N. I. (2002) Sostavy i tekhnologiya polucheniya neorganicheskikh pigmentov i termohromnyh materialov na osnove molibdofosfatov elementov triady zheleza. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. [Compositions and technology of obtaining inorganic pigments and thermochromic materials based on molybdenum phosphates of iron triad elements. Abstract of the dissertation of Ph. D. dissertation], Tomsk, p. 3.
14. Jian, W. X., Ming, H. C., Kwok, W. S. (2019) Smart Materials – Electrochromic Smart Materials: Fabrication and Applications. Cambridge, Thomas Graham House, p. 499-502.
15. Ritter, A. (2007) Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design. Berlin, Walter de Gruyter, 188 p.
16. Soltani, M. (2006) 'Thermochromic vanadium dioxide smart coatings grown on Kapton substrates by reactive pulsed laser deposition'. *Journal of Vacuum Science and Technology A*. Vol. 24 (3), p. 612-621.
17. Stefanovich, G. B. (2002) *Komponenty dlya 3d komp'yuternoj pamyati, gibkoj i prozrachnoj elektroniki na osnove oksidnyh materialov, poluchaemyh nizkotemperaturnymi metodami. Otchet o NIR*. [Components for 3d computer memory, flexible and transparent electronics based on oxide materials obtained by low-temperature methods. Research report.] Petrozavodsk, p. 23.
18. Basnukaev, I. SH., Islamov, A. A. and Musostova, D. SH. (2021) 'Nanotekhnologii i nanomaterialy'. *Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki*. [Nanotechnologies and nanomaterials. Herald of GSTOU. Technical sciences] V. XVII, №4 (26), 50-56 p.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 691.3

DOI: 10.34708/GSTOU.2022.57.60.006

СТОЙКОСТЬ АППРЕТИРОВАННЫХ СЕРОАСФАЛЬТОБЕТОНОВ КАУЧУКОМ К ОБРАЗОВАНИЮ КОЛЕИ

© Х.Т. Ле¹, Н.Т. Ву², В.В. Герман²

¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет, Москва, Россия

При написании данной статьи был проведен ряд экспериментальных исследований по изучению стойкости аппретированной сероасфальтобетонной смеси к колеобразованию. В результате проведенных исследований было выявлено влияние числа прохода колеса и типа модификатора серы на глубину колеи, а также на угол наклона кривой колееобразования. По итогам исследования был сделан вывод, что сероасфальтобетон лучше сопротивляется воздействию регулярной нагрузки от колес, чем другие виды материалов для производства асфальтобетона. Так, например, если в составе асфальтобетона есть 20% модификатора серы, то восприятие нагрузки увеличивается в 1,2 раза, если в смеси содержится 30% модификатора серы, то эта цифра увеличивается до 1,6, при 40% модификатора серы – до 2,3, а если смесь состоит из 50% модификатора серы, то увеличение происходит в 3,2 раза. Это говорит о том, что чем больше модификатора серы содержится в смеси, тем выше стойкость асфальта к колееобразованию.

Ключевые слова: сероасфальтобетон, асфальтобетон, колеи, техническая сера, прочность.

Введение

Современные условия развития экономики способствуют увеличению количества грузоперевозок. Учитывая возрастающую интенсивность движения и растущую нагрузку на оси транспортных средств для стабильного развития различных отраслей экономики, необходимо обеспечение длительного срока службы автомобильных дорог без значительных эксплуатационных расходов [1]. Одним из многообещающих направлений увеличения прочности, стойкости и других характеристик асфальтовых покрытий дорог считается использование различного вида модификаторов, также и с добавлением в состав покрытия серы [2, 3]. Сера позволяет значительно увеличить стойкость состава и повысить эффективность

сцепления вяжущего материала с поверхностью минерального заполнителя [4-7]. Сероасфальтобетон обладает конкурентными преимуществами по сравнению с традиционными материалами, которые позволяют повысить показатели качества дорожных покрытий за счет повышения физико-механических (прочностные характеристики, устойчивость к сдвигу, параметры структуры) и эксплуатационных свойств (стойкость к действию автотранспорта, стойкость к климатическим факторам) [8-11]. Именно использование серы в качестве модификатора для асфальтобетонов приводит к снижению вязкости расплава битума в процессе изготовления сероасфальтобетонной смеси, а также значительному повышению эксплуатационных свойств сероасфальтобетона при

Таблица 1

Физико-механические показатели битума

Показатель	Требования ГОСТ 22245-90	Фактические значения
1	2	3
Глубина проникания иглы при 25°C, 0,1 мм	61-90	69
Глубина проникания иглы при 0°C, 0,1 мм	Не менее 20	34
Растяжимость при 20 °С, см	Не менее 55	82,7
Растяжимость при 0 °С, см	Не менее 3,5	3,7

повышенных положительных температурах эксплуатации [10-14]. При этом стоит отметить, что использование серы сопровождается некоторыми ограничениями, которые по большей части имеют отношение к возникновению санитарных и гигиенических проблем. Одной из основных проблем является выделение токсичных газов из сероводорода и диоксида серы в окружающую среду. Данные газы возникают в процессе смешивания нагретого битума и серы во время изготовления асфальтобетонной смеси. Как сама сера, так и газы, которые образуются, являются активными веществами. Они могут взаимодействовать с наполнителями на химическом уровне при образовании водорастворимых соединений. Во время данного процесса происходит разрушение дисперсной фазы, а также понижение стойкости сероасфальтобетонной смеси к водной среде [15]. Это привело к тому, что широкое распространение и одобрение при производстве данных полимерных композиционных материалов получило аппретирование поверхности наполнителя. Это помогает избежать возникновения водорастворимых соединений и увеличить стойкость асфальтобетонной смеси к водным средам, по-

тому что стойкость аппретированного асфальтобетона к образованию колеи довольно сильно влияет на прочность дорожного покрытия и его износостойкость.

В процессе написания этой научной работы были проведены лабораторные испытания для оценки устойчивости дорожного покрытия к возникновению колеи при помощи метода, который воспроизводит реальные условия эксплуатации дорожного покрытия при его регулярном использовании и нарастании уровня пластических деформаций.

Материалы и методы. В основе настоящего исследования лежит объект, который выступает в виде асфальтобетона с добавлением модификатора серы. При этом асфальтобетон является плотным типа Б и используется для укладки во II дорожно-климатической зоне. При изготовлении асфальтобетона были соблюдены все требования, которые указаны в ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия». При изготовлении асфальтобетона использовали следующие материалы:

Таблица 2

Свойства крупного заполнителя

Показатель	Требования ГОСТ 8267-93	Фактические значения
Марка по дробимости	Не менее 1200	1400
Марка по истираемости	И1	И1
Марка по морозостойкости	Не ниже F50	F100
Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, % по массе, не более	19	16
Содержание пылевидных и глиняных частиц (размером менее 0,05 мм), % по массе, не более	1	0,5

Таблица 3

Гранулометрический состав щебня

Показатель	Сито с размером ячеек, мм				
	20	15	10	5	2,5
Количество частиц мельче данного размера, %	96,6	70,6	27,7	3,5	1,8

– БНД (нефтяной дорожный битум) 60/90 производства ООО «Московский нефтеперерабатывающий завод». Данный БНД отвечает требованиям ГОСТ 22245-90 «Битумы нефтяные дорожные. Технические условия». В таблице 1 представлены физико-химические характеристики данного материала.

– Щебень из габбро-диабаз Карельского месторождения Новый поселок с размером фракций от 5 до 20 мм. Этот материал отвечает требованиям ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ». В таблицах 2 и 3 показаны характеристики и гранулометрический состав щебня.

– Гранитный песок фракции 0,5-0,8 мм. Данный материал отвечает всем требованиям и рекомендациям ГОСТ 8736-93 «Песок для строительных работ» с содержанием фракции 0,16...0,315 мм – 65,97%, фракции 0,315...0,63 мм – 33,95% (ЗАО «Гора Хрустальная») и отсев камнедробления гранита, соответствующий требованиям ГОСТ 31424 – 2010 «Материалы строительные нерудные из

отсевов дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия». В таблицах 4 и 5 можно ознакомиться с характеристиками гранулометрического отсева камнедробления гранита.

– Неактивированный доломитовый минеральный порошок МП-1. МП1 изготавливается в соответствии с ГОСТ 52129-2003 «Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия».

– Техническая сера. Сера соответствует требованиям, которые представлены в ГОСТ 127.1-93 «Сера техническая. Технические условия».

Во время проведения испытаний были использованы современные технологии и оборудование НОЦ «Наноматериалы и нанотехнологии», НИиИЦ МГСУ СТРОЙ-ТЕСТ НИУ МГСУ по новым методам химической и физической направленности и по современным методикам, которые описаны в нормативной документации.

Таблица 4

Гранулометрический состав отсева камнедробления гранита

Показатель	Сито с размером ячеек, мм							
	10,0	5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	<0,071
Количество частиц мельче данного размера, %	99,3	86	22	13,5	9,4	7,7	5,8	2,3

Таблица 5

Свойства отсева камнедробления гранита

Показатель	Требования ГОСТ	Фактические значения
Марка по прочности	Не менее 1000	1000
Содержание пылевидных и глиняных частиц методом набухания, % по массе, не более	Не более 0,5	0,2
Содержание зерен крупностью свыше 5 мм, % по массе	–	0
Содержание зерен крупностью менее 0,16 мм, % по массе	–	18,0
Плотность истинная, кг/м ³	–	3050

Содержание асфальтобетонной и сероасфальтобетонной смесей подбиралось при учете требований, которые предъявляются ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия». Для смешивания всех компонентов использовалось специальное оборудование Bitumix, которое показано на рисунке 1 а. Каждый образец был изготовлен в соответствии с ГОСТ 12801-98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний». Для производства образцов и их соответствия определенным размерам применялся гидравлический пресс ИП-1А-500 АБ ПК, с которым можно ознакомиться на рисунке 1 б. Для производства образцов применяли цилиндры диаметром 71,4 мм, что является стандартной формой для производства данных образцов.

Технологический процесс приготовления асфальтобетонной и сероасфальтобетонной смеси проводили следующим способом:

1. Для начала подготавливают минеральное вещество. Его подают и производят первоначальное дозирование. Затем просушивают и доводят до температуры 140-145 градусов, если речь идет о сероасфальтобетоне, или до 150 градусов, если речь идет об асфальтобетоне;

2. Далее материал снова дозируют и подают в смеситель золу-уноса либо минеральный порошок;

3. В смесителе происходит перемешивание вещества;

4. Подготовка битума или серобитумного вяжущего. Битум высушивают и доводят до температуры 140-145 градусов;

5. После этого минеральное вещество смешивают с битумом;

6. Затем в смесь добавляют определенное количество технической серы, а также нейтрализаторов эмиссии токсичных газов;

7. Далее в смесителе перемешивают материалы до момента, когда все компоненты асфальтобетонной смеси станут однородной массы.

Также стоит сказать, сколько составляет погрешность в процессе приготовления асфальтобетонной смеси:

- $\pm 2\%$ для щебня и отсева дробления;
- $\pm 1,5\%$ для минерального порошка и битума;
- $\pm 1,5\%$ для технической серы и нейтрализаторов эмиссии токсичных газов.

На длительность перемешивания компонентов влияли характеристики смеси до момента, когда все элементы смеси будут распределены равномерно, а минеральный материал будет полностью окутан битумом.

В качестве метода для испытания стойкости к колееобразованию было выбрано воспроизведение реальных условий эксплуатации дорожного покрытия при его регулярном использовании и нарастании уровня пластических деформаций. Метод определения стойкости к



Рис. 1. Оборудование для производства образцов асфальтобетона: а – смеситель BITUMIX; б – гидравлический пресс ИП-1А-500 АБ ПК



Рис. 2. Секторный уплотнитель Infratest (а) и общий вид опытных образцов (б)

колеобразованию по ГОСТ Р 58406.3–2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения стойкости к колеобразованию прокатыванием нагруженного колеса». Все проводимые испытания и исследования были выполнены при температуре 64-66 градусов в воздушной среде, а глубина колеи измеряется после того, как колесо совершит 10 тысяч циклов прохода.

Образцы плит для выявления стойкости к колеобразованию были изготовлены с помощью секторного уплотнителя Infratest (рис. 2а). Требуемый размер образцов – 410 × 260 мм, толщина – 55 мм (рис. 2б). При подготовке образцов были соблюдены требования, которые предъявляются ГОСТ Р 58406.4 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобе-

тон. Приготовление образцов-плит вальцовым уплотнителем».

Выявление физических и механических характеристик образцов было проведено по требованиям ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия», ГОСТ 12801-98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного строительства. Методы исследования». Во время проведения метода выявления стойкости асфальтобетона к колеобразованию опирались на ГОСТ Р 58406.3-2020 «Метод определения стойкости к колеобразованию прокатыванием нагруженного колеса» в воздушной среде при температуре $(65 \pm 1) ^\circ\text{C}$ (рис. 3).

После проведения 10 тысяч циклов прохода колеса были рассчитаны глубины колеи.



Рис. 3. Установка для проведения испытаний на колеобразовании «Infratest»

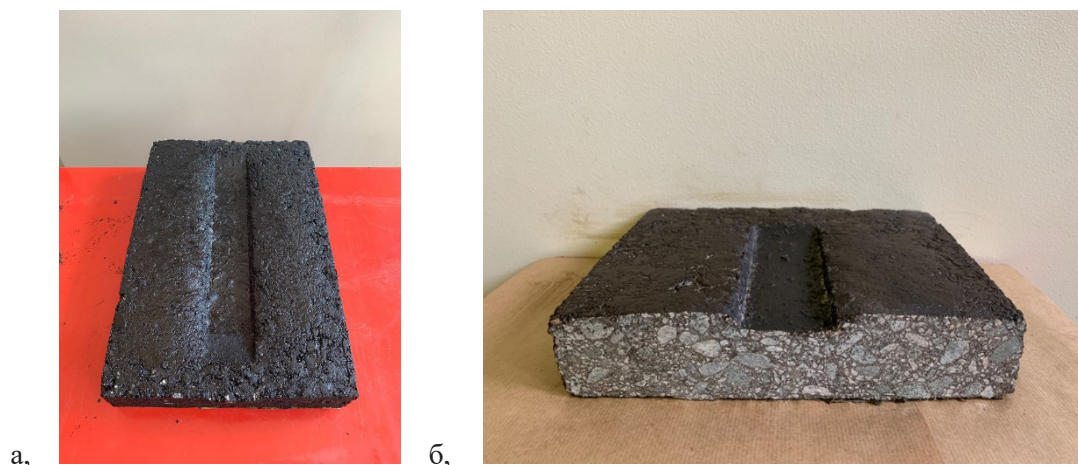


Рис. 4. Опытные образцы после испытаний: а – общий вид; б – в разрезе

На рисунке 4 представлен общий вид опытных образцов после испытаний.

Основная часть. При определении стойкости сероасфальтобетона к колееобразованию были произведены образцы с добавлением различного процента серы: 10%, 30%, 40% и 50% от массы битума. Кроме того, были произведены образцы и без процентного содержания серы. После исследования глубины колеи были получены показатели, которые показаны на рисунке 5.

Задача экспериментально-статического моделирования во время подбора общего вида аппроксимирующей функции основывается на выполнении неформальных операций, внешнего подбора общего вида эксперименталь-

но-статистической модели образования колеи при учете относительных значений суммы квадратов невязок (дисперсии адекватности). Довольно часто такой подход приводит к моделям, которые в должной мере не показывают физико-механические и реологические характеристики и свойства смеси, из которой производят покрытие дорог. В статье сказано, что колея появляется в несколько этапов. На первом по большей части материал доуплотняется. На втором – происходит возникновение деформаций, которые невозможно обратить.

Проанализировав данные, которые получены после проведения испытаний по образованию колеи, формируем модель, показываю-

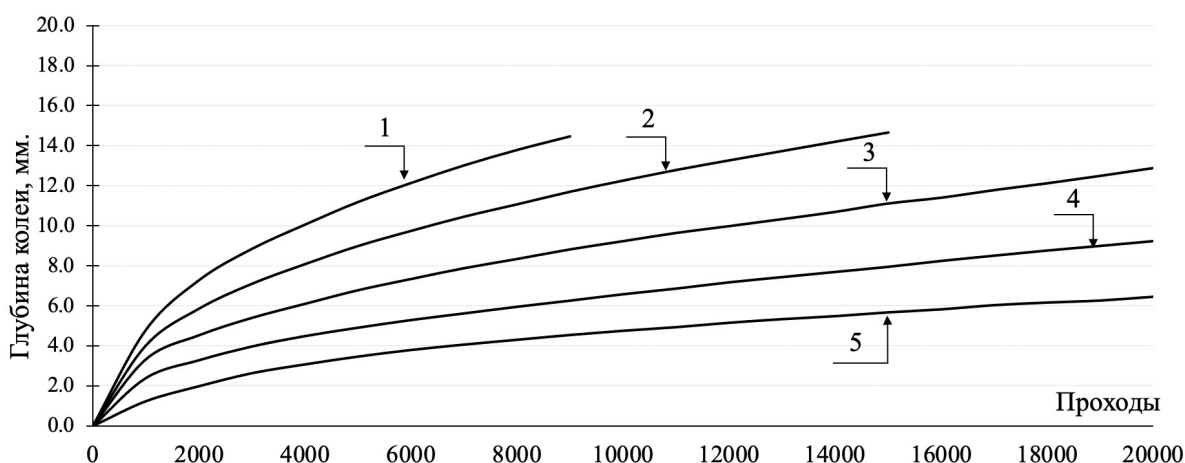


Рис. 5. Влияние числа проходов колеса и процента модификатора серы в смеси на глубину колеи: 1 – асфальтобетон без серного модификатора; 2 – смесь с содержанием 20% серы; 3 – смесь с содержанием 30% модификатора серы; 4 – смесь с содержанием 40% серы; 5 – смесь с содержанием модификатора серы 50%

щую влияние регулярной колесной нагрузки на возникновение пластических деформаций. До уплотнения опытных образцов глубина колеи возрастает очень медленно, доходя в итоге до максимальных показателей. Данные изменения в глубине колеи можно измерить по функции:

$$f_1 = a \left(\frac{2}{1+e^{-bN}} - 1 \right), \quad (1)$$

где a, b – эмпирические коэффициенты.

Процесс накопления необратимых деформаций опытных образцов закономерно представить линейной функцией:

$$f_1 = cN, \quad (2)$$

где c – эмпирические коэффициенты.

Таким образом, влияние количества проходов (N) на образование колеи и ее глубину можно представить в виде:

$$H = H(N) = a \left(\frac{2}{1+e^{-bN}} - 1 \right) + cN, \quad (3)$$

где $H(N)$ – глубина колеи после N -го прохода колеса;

В таблице 6 представлены показатели эмпирических коэффициентов формулы (3).

Скорость образования колеи v_N в момент N -го проезда колеса можно определить по формуле:

$$v_N = \frac{dH}{dN} = \frac{2abe^{-bx}}{(e^{-bx} + 1)^2} + c \quad (4)$$

На рисунке 6 показана зависимость скорости появления колеи от числа проходов колеса и типа модификатора серы.

На рисунке 6 также видно, что сероасфальтобетон больше подвержен образованию колеи, чем контрольный образец. Так, скорость появ-

Таблица 6

Значения параметров модели $H(N)$

Содержание серного модификатора, %	Значение эмпирических коэффициентов		
	a	b	c
0	2,05	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2,25 \cdot 10^{-4}$
20	3,15	$1,55 \cdot 10^{-3}$	$3,05 \cdot 10^{-4}$
30	4,45	$1,35 \cdot 10^{-3}$	$4,35 \cdot 10^{-4}$
40	5,85	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$5,95 \cdot 10^{-4}$
50	7,85	$1,10 \cdot 10^{-3}$	$7,05 \cdot 10^{-4}$

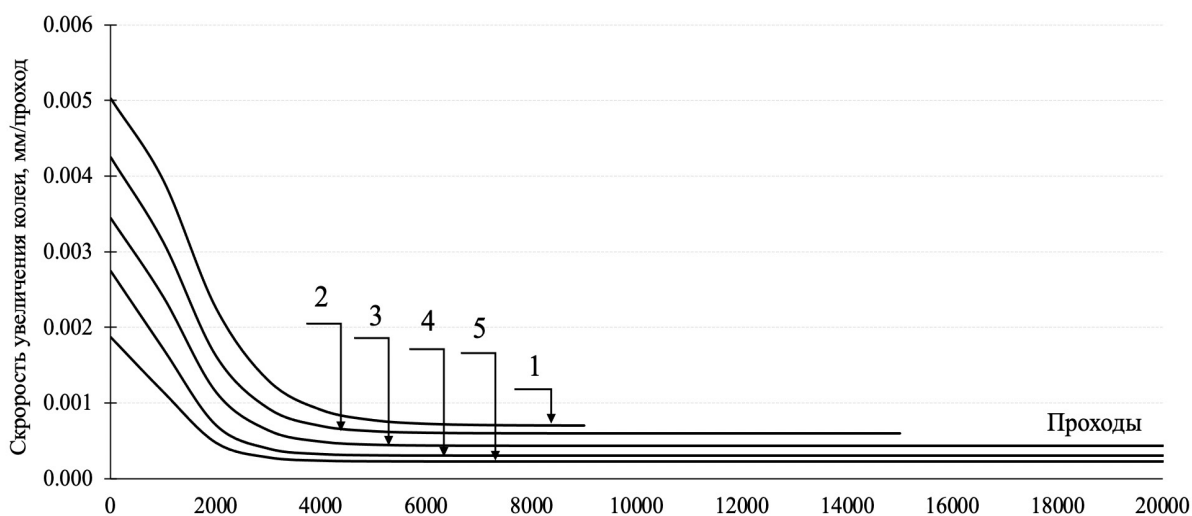


Рис. 6. Влияние числа проходов колеса и процента модификатора серы в смеси на глубину колеи:

1 – асфальтобетон без серного модификатора; 2 – смесь с содержанием 20% серы; 3 – смесь с содержанием 30% модификатора серы; 4 – смесь с содержанием 40% серы; 5 – смесь с содержанием модификатора серы 50%

ления колеи на образце сероасфальтобетона во время определенного количества проходов колеса по образцу меньше, чем возникновение колеи на контрольном образце за такое же количество проходов колеса. Также отметим, что чем выше процент содержания модификатора серы в смеси, тем ниже скорость возникновения колеи. Это видно из таблицы 6 и уравнения 4. После их анализа видим, что коэффициент c является показателем, который указывает скорость появления колеи в асфальтобетонном покрытии и сероасфальтобетонном покрытии. Сравнив показатели коэффициента c (табл. 6), видим, что чем выше процент модификатора серы в смеси, тем медленнее происходит появление колеи под воздействием проходов колеса (табл. 7).

Во время формирования колеи происходит несколько стадий: доуплотнение и ползучесть. Выявить конкретные места, где происходит смена стадий образования колеи, можно,

принимая во внимание следующее условие: радиус кривизны и радиус, соприкасающийся с окружностью в данной точке кривой, должен быть максимально маленьким. Величина, которая является противоположной радиусу кривизны, – это кривизна кривой. Мы можем найти ее с помощью следующей формулы:

$$K(N) = -\frac{y''}{(\sqrt{y'^2 + 1})^3} \quad (5)$$

где y' , и y'' – производные первого и второго порядка функции z .

На рисунке 7 можно увидеть результаты, которые получены при выявлении $K(N)$.

После проведения анализа данных, которые указаны на рисунке 7, можем сделать вывод по поводу границ, которые соответствуют различным стадиям образования колеи:

1. Стадия доуплотнения. Она сопровождается уплотнением асфальтобетонной и сероасфальтобетонной смесей.

Таблица 7

Кратность снижения скорости образования колеи c^*/c_0

Кратность снижения скорости колесобразования	Содержание серного модификатора, %			
	20	30	40	50
c^*/c_0	1,18	1,62	2,31	3,13

Примечание – c^* – Значения коэффициента c для модифицированных составов; c_0 – значения коэффициента c для контрольного состава.

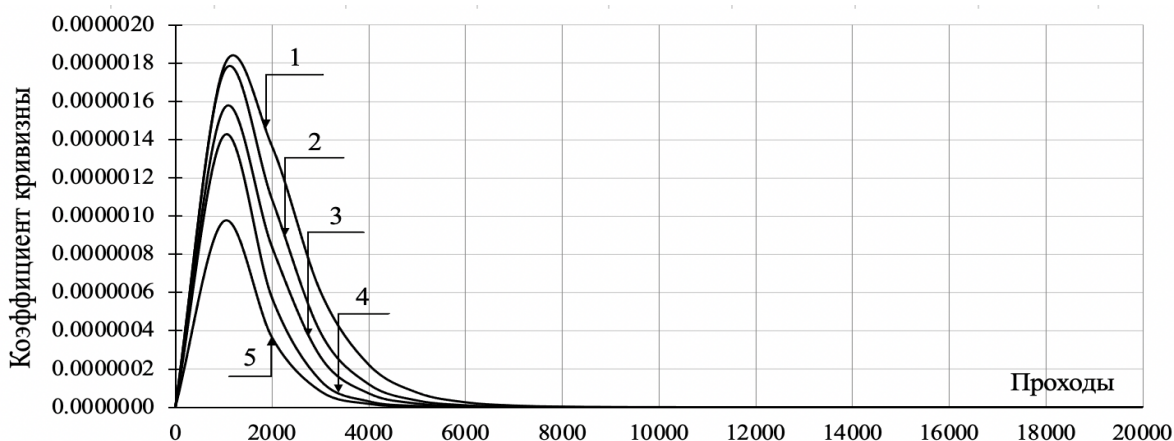


Рис. 7. Влияние числа проходов колеса и процента модификатора серы в смеси на глубину колеи: 1 – асфальтобетон без серного модификатора; 2 – смесь с содержанием 20% серы; 3 – смесь с содержанием 30% модификатора серы; 4 – смесь с содержанием 40% серы; 5 – смесь с содержанием модификатора серы 50%

2. Стадия ползучести. Ей характерно увеличение глубины колеи благодаря повышению количества пластических деформаций.

Рисунок 7 показывает, что первая стадия для контрольного состава асфальтобетона за 650 проходов по колее колеса. Здесь же можно увидеть, что для сероасфальтобетона первая стадия наступает в зависимости от количества модификатора серы в составе. Так, для сероасфальтобетона с 20% содержанием серы количество проходов колеса составляет 550; с 30% содержанием серы – 450; с 40% содержанием серы – 400; с 50% содержанием серы – 350. При этом видим, что глубина колеи асфальтобетона на стадии доуплотнения выше в 1,2-2,9 раза, чем глубина колеи сероасфальтобетона на этой же стадии. При повышенном индексе жесткости отмечается уменьшение длительности стадии доуплотнения сероасфальтобетона, а при увеличенных температурах модуля упругости наблюдается серьезное уменьшение пористости и уплотнения.

Также следует отметить, что по методу определения стойкости к колееобразованию по ГОСТ Р 58406.3-2020 «Метод определения стойкости к колееобразованию прокатыванием нагруженного колеса», лабораторные исследования проходили в течение 10 тысяч циклов нагрузки, или 20 тысяч проходов колеса, либо до

появления 15 мм глубины колеи на каком-либо образце. Самые большие показатели глубины колеи контрольных образцов из асфальтобетонной и сероасфальтобетонной смесей отмечены после проведения 9000 проходов колеса и 15000 соответственно. Через 20000 проходов были отмечены следующие показатели: для смеси с 30% серы – 12,88 мм, с 40% серы – 9,23 мм, с 50% серы – 6,46 мм.

Выводы:

Из всего вышесказанного делаем вывод, что во время лабораторных испытаний было выявлено свойство сероасфальтобетона лучше выдерживать воздействие регулярных проходов колеса, чем у асфальтобетона. Если в смеси содержится 20% модификатора серы, то это свойство увеличивается в 1,2 раза; 30% серы в составе увеличивает сопротивление покрытия в 1,6 раза; при 40% – в 2,3 раза; при 50% – в 3,2 раза. Основной вывод по итогу научной работы: чем выше процент модификатора серы в составе, тем выше устойчивость покрытия к образованию колеи.

Источник финансирования. Настоящее исследование финансировал Научно-исследовательский и испытательный центр НИиИЦ МГСУ СТРОЙ-ТЕСТ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Ю. Э., Ивачев А. В., Братищев И. С. Исследование устойчивости дорожно-строительных материалов к износу колееобразованию в условиях, приближенных к эксплуатационным // Вестник евразийской науки. 2014. № 5 (24). С. 1-14.
2. Дошлов О. И., Калапов И. А. Новые дорожные битумы на основе органического вяжущего, модифицированного технической серой и полимерными добавками // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 11 (106). С. 107-111.
3. Тураев Ф. Т., Бекназаров Х. С., Джалилов А. Т. Исследование модификации дорожного битума элементной серой // Universum: технические науки. 2019. № 2 (59). С. 65-69.
4. Gladkikh V., Korolev E., Husid D., Sukhachev I. Properties of sulfur-extended asphalt concrete // MATEC Web of Conferences IPICSE. 2016.
5. Yang R., Ozer H., Ouyang Y., Alarfaj A. H., Islam K., Khan M. I., Khan K. M., Shalabi F. I. Life-Cycle Assessment of Using Sulfur-Extended Asphalt (SEA) in Pavements // Airfield and Highway Pavements. 2019. С. 183-192.
6. Gladkikh V., Korolev E., Smirnov V. Structure and physical properties of sulfur with nanoscale carbon modifiers // E3S Web of Conferences. 2019.
7. Inozemtcev S., Korolev E. Method of Modifying of Mineral Fillers for Asphalt Concrete by Calcium Polysulfide // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019.
8. Васильев Ю. Э. Методологические основы автоматизации процессов промышленного

- производства сероасфальтобетонных смесей с оптимизацией компонентов минеральной части по гранулометрическому составу: авторефер. дис.... докт. тех. наук: 05.13.06. М., 2012. 41 с.
9. *Andronov S. Y., Vasiliev Y. E., Timokhin D. K., Repin A. M., Repina O. V., Talalay V. V.* Production and use of sulfur-asphalt composite coatings on roads and bridges // *Bulletin of Eurasian Science*. 2016.
 10. *Fediuk R., Mugahed Amran Y. H., Mosaberpanah M. A., Danish A., El-Zeadani M., Klyuev S. V., Vatin N.* A critical review on the properties and applications of sulfur-based concrete // *Materials*. 2020. №13 (21).
 11. *Yeoh D., Boon K. H., Jamaluddin N.* Exploratory study on the mechanical and physical properties of concrete containing sulfur // *Journal Technology Sciences & Engineering*. 2015. №77 (32) С. 179-188.
 12. *Пат. 8361216 США.* Method providing for a low release of H₂S during the preparation of sulfur-extended asphalt / *Chughtai M. J., Davies H. J., May R. W., Strickland D., onybl.* 05/01/2013.
 13. *Gladkikh V. A., Korolev E. V.* Reducing emissions of hydrogen sulfide and sulfur dioxide from sulfur-bitumen materials // *Internet Herald VolgGASU*. 2014. №2 (33).
 14. *Gladkikh V. A., Korolev E. V.* Suppressing the Hydrogen Sulfide and Sulfur Dioxide Emission from Sulfur-bituminous Concrete // *Advanced Materials Research*. 2014. №1040. С. 387-392.
 15. *Медведев В. А., Алексеев В. И., Бергман Г. А., Васильев В. П., Ходаковский И. Л., Гурвич Л. В., Юнгман В. С., Резницкий Л. А., Колесов В. П., Воробьев А. Ф., Монаенкова А. С. и др.* Термические константы веществ. Вып. 8. Часть 2. М.: ВИНТИ АН СССР, 1978. 256 с.
 16. *Gladkikh V. A., Korolev E. V., Khusid D. L.* Resistance of sulfur asphalt concrete to rutting // *Vestnik MGSU*. 2016. №12. С. 70-78.
 17. *Le Kh. T., Gladkikh V. A., Korolev E. V., Grishina A. N.* Water resistance of sulfur asphalt concrete. Results of the study and features of the definition // *Building materials*. 2021. №3. С. 39-44.

RESISTANCE OF SULFUR ASPHALT CONCRETE WITH RUBBER TO RUTS FORMATION

© H.T. Le¹, N.T. Vu², V.V. German²

¹*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia*

²*National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia*

When writing this article, a number of experimental studies were carried out to study the resistance of the finished sulfur-asphalt concrete mixture to rutting. As a result of the studies, the influence of the number of wheel passages and the type of sulfur modifier on the rut depth, as well as on the slope of the rutting curve, was revealed. According to the results of the study, it was concluded that sulfur asphalt concrete resists the effects of regular wheel loads better than other types of materials for the production of asphalt concrete. So, for example, if the asphalt concrete contains 20% sulfur modifier, then the load perception increases by 1.2 times, if the mixture contains 30% sulfur modifier, then this figure increases to 1.6, with 40% sulfur modifier – up to 2,3, and if the mixture consists of 50% sulfur modifier, then the increase is 3.2 times. This suggests that the more sulfur modifier is contained in the mixture, the higher the rutting resistance of the asphalt.

Keywords: healthcare, social project, quality, partnership, concession agreement, investment

REFERENCES

1. Vasiliev Yu. E., Ivachev A. V., Bratishchev I. S. (2014) 'Issledovaniye ustoychivosti dorozhno-stroitel'nykh materialov k iznosnomu koleyeobrazovaniyu v usloviyakh, priblizhennykh k ekspluatatsionnym'. *Vestnik yevraziyskoy nauki*. [Study of the resistance of road building materials to wear rutting in conditions close to operational. Bulletin of the Eurasian Science]. № 5 (24), pp. 1-14.
2. Doshlov O. I., Kalapov I. A. (2015) 'Novyye dorozhnyye bitумы na osnove organicheskogo vyazhushchego, modi fitsirovannogo tekhnicheskoy seroy i polimernymi dobavkami'. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. [New road bitumen based on organic binder modified with technical sulfur and polymer additives. Bulletin of the Irkutsk State Technical University]. № 11 (106), pp. 107-111.
3. Turaev F. T., Beknazarov Kh. S., Jalilov A. T. (2019) 'Issledovaniye modifikatsii dorozhnogo bituma elementnoy seroy'. *Universum: tekhnicheskkiye nauki*. [Research on the modification of road bitumen with elemental sulfur. Universum: technical sciences]. № 2 (59). Pp. 65-69.
4. Gladkikh V., Korolev E., Husid D., Sukhachev I. (2016) 'Properties of sulfur-extended asphalt concrete'. *MATEC Web of Conferences IPICSE*.
5. Yang R., Ozer H., Ouyang Y., Alarfaj A. H., Islam K., Khan M. I., Khan K. M., Shalabi F. I. (2019) Life- Cycle Assessment of Using Sulfur-Extended Asphalt (SEA) in Pavements. Airfield and Highway Pavements. Pp. 183-192.
6. Gladkikh V., Korolev E., Smirnov V. (2019) 'Structure and physical properties of sulfur with nanoscale carbon modifiers'. *E3S Web of Conferences*.
7. Inozemtcev S., Korolev E. (2019) 'Method of Modifying of Mineral Fillers for Asphalt Concrete by Calcium Polysulfide'. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
8. Vasiliev Yu. E. Methodological bases of automation of processes of industrial production of sulfur-asphalt-concrete mixtures with optimization of the components of the mineral part in terms of granulometric composition: author's abstract. dis.... dr. tech. Sciences: 05.13.06. M., 2012. 41p.
9. Andronov S. Y., Vasiliev Y. E., Timokhin D. K., Repin A. M., Repina O. V., Talalay V. V. (2016) 'Production and use of sulfur-asphalt composite coatings on roads and bridges'. *Bulletin of Eurasian Science*.
10. Fediuk R., Mughahed Amran Y. H., Mosaberpanah M. A., Danish A., El-Zeadani M., Klyuev S. V., Vatin N. (2020) 'A critical review on the properties and applications of sulfur-based concrete'. *Materials*, № 13 (21).
11. Yeoh, D., Boon K. H., Jamaluddin N. (2015) 'Exploratory study on the mechanical and physical properties of concrete containing sulfur'. *Journal Technology Sciences & Engineering*. № 77 (32), pp. 179-188.
12. Chughtai M. J., Davies H. J., May R. W., Strickland D. *Method providing for a low release of H₂S during the preparation of sulfur-extended asphalt*, publ. 05/01/2013, Pat. 8361216 USA.
13. Gladkikh V. A., Korolev E. V. (2014) 'Reducing emissions of hydrogen sulfide and sulfur dioxide from sulfur-bitumen materials'. *Internet Herald VolgGASU*. № 2 (33).
14. Gladkikh V. A., Korolev E. V. (2014) 'Suppressing the Hydrogen Sulfide and Sulfur Dioxide Emission from Sulfur-bituminous Concrete'. *Advanced Materials Research*. № 1040. Pp. 387-392.
15. Medvedev V. A., Alekseev V. I., Bergman G. A., Vasiliev V. P., Khodakovskiy I. L., Gurvich L. V., Yungman V. S., Reznitsky L. A., Kolesov V. P., Vorobyov A. F., Monaenkova A. S., et al. (1978) Thermal constants of substances. Issue. 8. Part 2., VINITI AN SSSR, Moscow, 256 p.
16. Gladkikh V. A., Korolev E. V., Khusid D. L. (2016) 'Resistance of sulfur asphalt concrete to rutting'. *Vestnik MGSU*. № 12. Pp. 70-78.
17. Le Kh. T., Gladkikh V. A., Korolev E. V., Grishina A. N. (2021) 'Water resistance of sulfur asphalt concrete. Results of the study and features of the definition'. *Building materials*. № 3. Pp. 39-44.

КОНСТРУКЦИЯ С РЕШЕТКОЙ ИЗ U-ОБРАЗНОГО ПРОФИЛЯ

© А. С. Марутян

Филиал СКФУ, Пятигорск, Россия

Приведен сравнительный расчет оптимальных параметров стержневых элементов из V- и U-образных профилей. Оба они оптимизированы по критерию равноустойчивости. Первый получен в результате раскрытия полок равнобокого уголка на угол, меньший прямого, и применен в качестве прототипа для второго. U-образный профиль состоит из двух вертикальных стенок, соединенных круглым полукольцом, и отличается отношением габаритных размеров ширины и высоты 1/1,39 по средней линии его расчетного сечения. Тестирование приближенной методики расчета подтвердило ее необходимую и достаточную корректность, остающуюся в пределах погрешностей конечно-элементного моделирования. Результаты расчета показали, что при одинаковом расходе конструкционного материала U-образный профиль более предпочтителен, поскольку его размеры компактнее, а ресурсы несущей способности больше.

Ключевые слова: решетчатая конструкция, гнутозамкнутый профиль, U-образный профиль, оптимизационный расчет, равноустойчивость.

Введение

Предлагаемое техническое решение предназначено для несущих и связевых решетчатых систем и может быть использовано при изготовлении ферм, прогонов, колонн, арок, рам и других строительных конструкций. Известным техническим решением является

ферма, включающая пояса из гнутых тавров, двойные стенки которых сболчены со стержневыми элементами решетки из одиночных уголков [1]. Каждый из уголков соединен с поясным элементом только одной полкой, что существенно ограничивает его несущую способность (рис. 1).

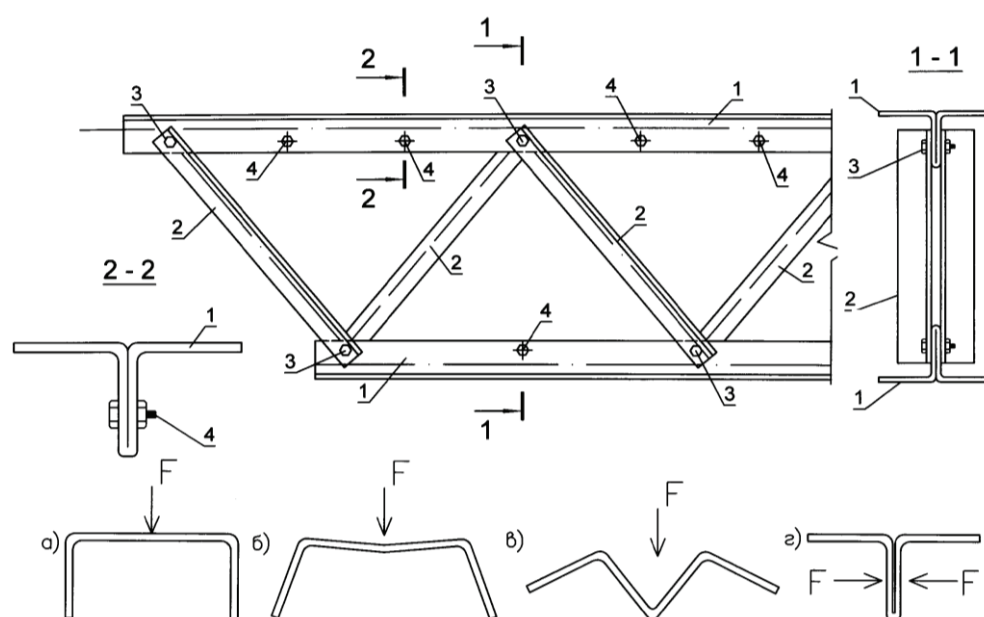


Рис. 1. Схемы фермы с поясами из гнутых тавров с двойными стенками и решеткой из одиночных уголков: 1 – стержни поясов; 2 – стержни решетки; 3 – болтовые соединения стержней поясов и решетки; 4 – болтовые соединения стержней поясов; а, б, в, г – очередность операций по изготовлению поясного стержня

Известно еще одно техническое решение (принятое за аналог) в виде строительного элемента для изготовления решетчатых конструкций, включающего тонкостенный стержень многоугольного замкнутого сечения, ребро которого по всей длине имеет двойную толщину и ряд соосных отверстий под болты. В этом ряду предусмотрены также соединения со стержневыми элементами решетки из одиночных уголков (рис. 2) [2]. Поскольку каждый из уголков решетки соединен с поясным элементом только одной полкой, недостаток аналога совпадает с недостатком приведенной выше фермы.

Наиболее близким техническим решением (прототипом) для предлагаемого является решетчатая конструкция, включающая пояса из замкнутых профилей с листовыми фасонками на всю длину, соединенные стержнями решетки из одиночных уголков, прикрепленных к фасонкам на болтах и отличающихся углом γ раскрытия полок:

$$\gamma = 2 \arccos \sqrt{(4b^2 - t^2) / (5b^2 - 2t^2)}, \quad (1)$$

где b – размер полки уголка, t – толщина полки уголка.

При этом в обушках по концам уголков выполнены прорезы на ширину поясных фасонок, полки уголков в узлах крепления сплюснены до контакта с фасонками, в сплюсненных полках и фасонках имеются соосные отверстия для болтов (рис. 3) [3].

В техническом решении прототипа стержневые элементы решетки оптимизированы по критерию равноустойчивости, что обеспечивает устойчивость, одинаковую в плоскости наибольшей жесткости и в плоскости наименьшей жесткости. При такой оптимизации за счет острого угла раскрытия полки профили стержневых элементов решетки трансформируются из уголкового с ортогональным сопряжением этих полки в V-образные. С переходом от прямого к острому углу конструкционный материал в обеих полках профиля располагается с меньшим удалением от центра

тяжести поперечного сечения, что увеличивает наклеп и концентрацию напряжений, снижает устойчивость стержневого элемента [4-7]. Влияние такого снижения проявляется и в прокатном уголке [8, 9], и в гнупом [10], и в алюминии [11]. Поэтому определенная проработка профиля с более обтекаемым удалением материала от центра тяжести сечения может повысить его несущую способность.

V-образная компоновка равнополочных уголков в стержневых элементах решеток встречается гораздо реже ортогональной (Г- или L-образной). В частности, она использована в конструкциях покрытия типа «Тагил» с поясами из двутавров (рис. 4) [12-14].

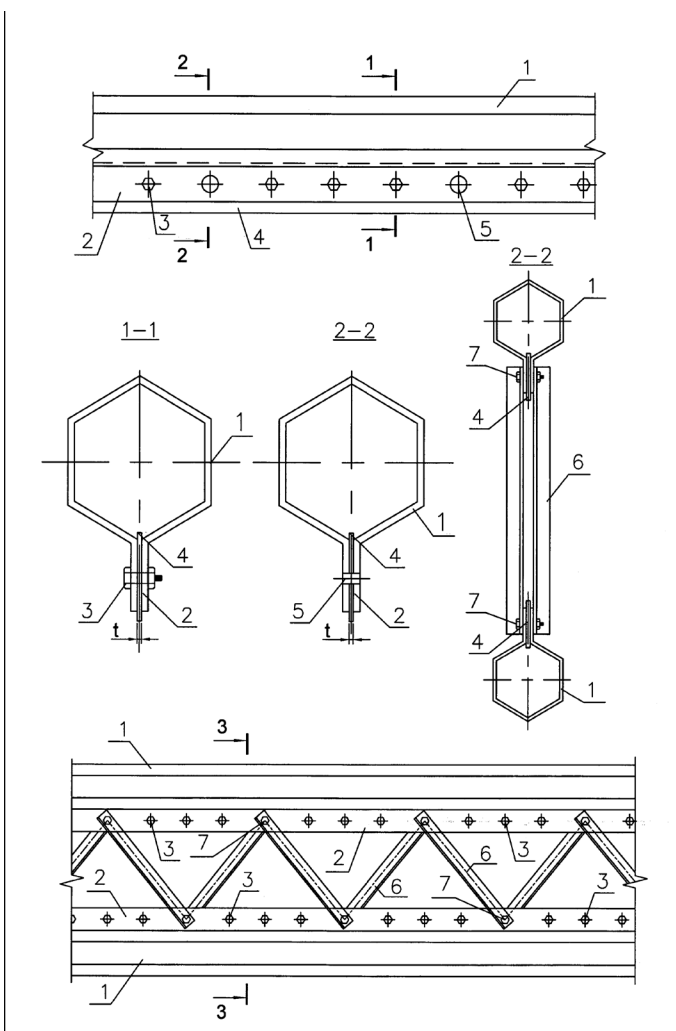


Рис. 2. Схемы строительного элемента для изготовления решетчатых (ферменных) конструкций: 1 – поясной стержень замкнутого сечения; 2 – кромки ребра; 3 – поясной болт; 4 – листовая полоса; 5 – отверстие; 6 – стержень решетки; 7 – болтовое соединение пояса и стержней решетки

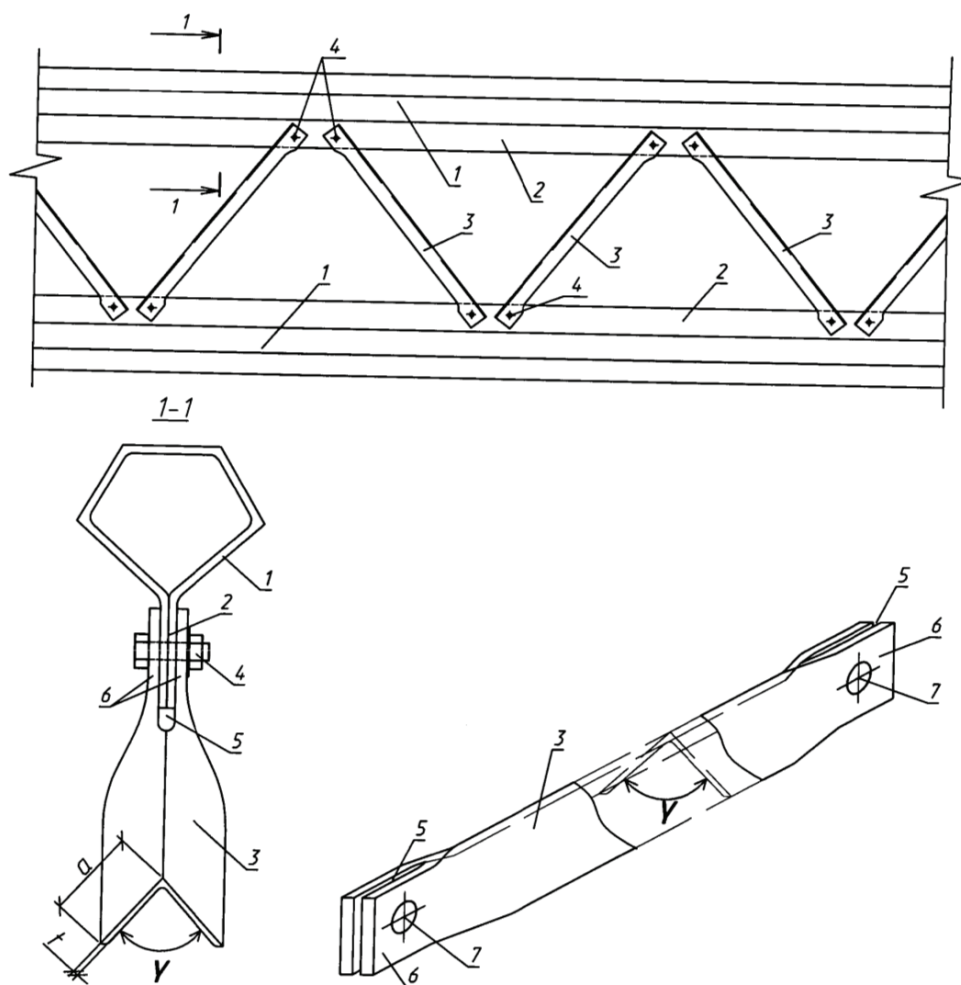


Рис. 3. Схемы решетчатой (ферменной) конструкции: 1 – пояс из замкнутого профиля; 2 – листовая фанонка на всю длину пояса; 3 – стержень решетки из уголка; 4 – болт; 5 – прорезь; 6 – сплюснутые полки стержня решетки; 7 – отверстие

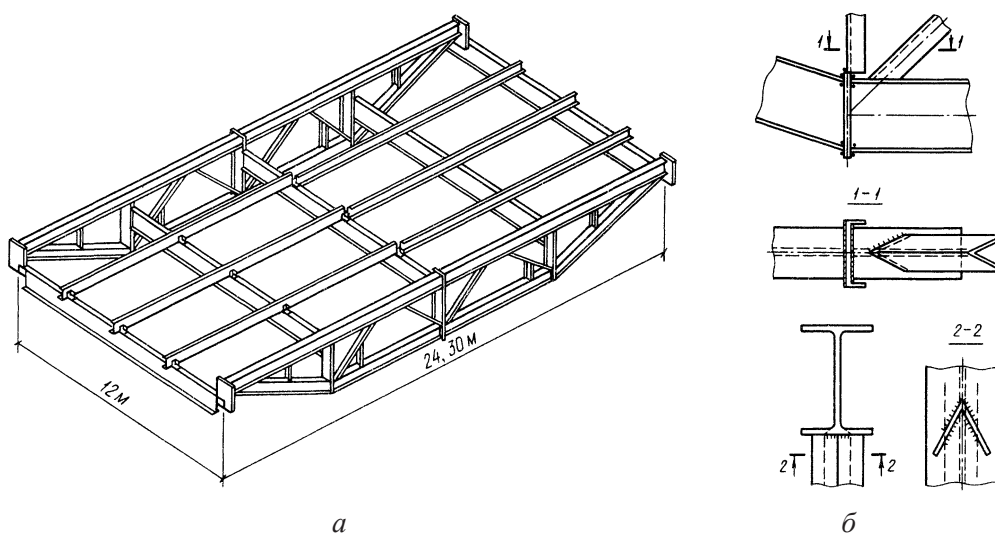


Рис. 4. Аксонометрия ферменных конструкций покрытия типа «Тагил» (а) и схемы их основных узлов (б)

Менее известны модификации, в одной из которых одиночный уголок верхнего пояса снабжен столиками для опирания на них кровельных прогонов (рис. 5) [15], а в другой – уголкового профиля верхнего пояса усилен швеллером, опертым на грани этого профиля и ребро между ними с образованием составного сечения [16].

Техническим результатом предлагаемого решения является повышение устойчивости, сокращение расхода конструкционного материала, уменьшение наклепа и концентрации напряжений, снижение массы (веса) решетчатой конструкции. Он достигается тем, что в конструкции, включающей пояса из гнutoзамкнутых профилей, соединенных стержнями решетки, сплюснутые торцы которых снабжены прорезями и соосными отверстиями для болтов, стержневые элементы решетки имеют U-образное сечение с отношением габаритов ширины и высоты $1/1,39$ по средней линии этого же сечения (рис. 6) [17].

В предлагаемой конструкции верхний и нижний пояса выполнены из гнutoзамкнутых профилей, имеющих трубчатую (замкнутую) часть одинарной (одинарной) толщины и реберную часть двойной толщины. Реберная часть замыкает листовую развертку (заготовку) в профиль при помощи болтовых, заклепочных, сварных, замковых (фальцевых или зубчатых) и других соединений [18-22]. Для непосредственного примыкания к реберной части гнutoзамкнутого профиля верхнего или нижнего пояса с образованием соединительного узла U-образный профиль каждого из стержневых элементов решетки в торцах прорезают и сплющивают. За счет протяженности продольных прорезей и ширины сплюснутых торцов вполне допустима унификация конструктивно-компоновочного оформления узловых соединений на болтах без эксцентриситетов с учетом закрепления одним болтом одного, двух или нескольких стержневых элементов решетки U-образного профиля. Исходя

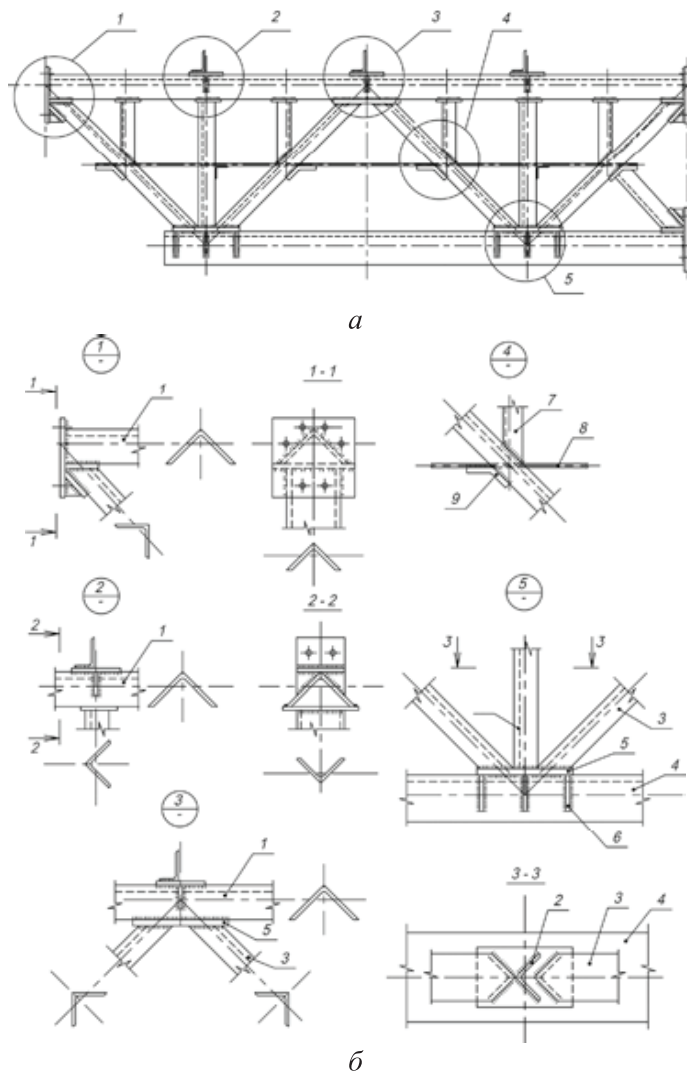


Рис. 5. Схемы полуфермы (отправочной марки) из одиночных уголков (а) и ее основных узлов (б)

из этого, чтобы стержневые элементы решетки в плоскости и из плоскости конструкции имели одну и ту же гибкость, целесообразен такой профиль их поперечного сечения, у которого радиусы инерции по главным центральным осям имеют равные значения. Такому условию вполне отвечает тонкостенное сечение U-образной формы с отношением габаритов ширины и высоты $1/1,39$ по его средней линии, где больший габарит расположен в плоскости конструкции, а меньший – из плоскости.

Таким образом, настоящее исследование преследует две цели. Первая из них представляет собой тестовый (проверочный) расчет незамкнутых профилей по приближенной методике с использованием средних линий поперечных сечений, когда значения статических

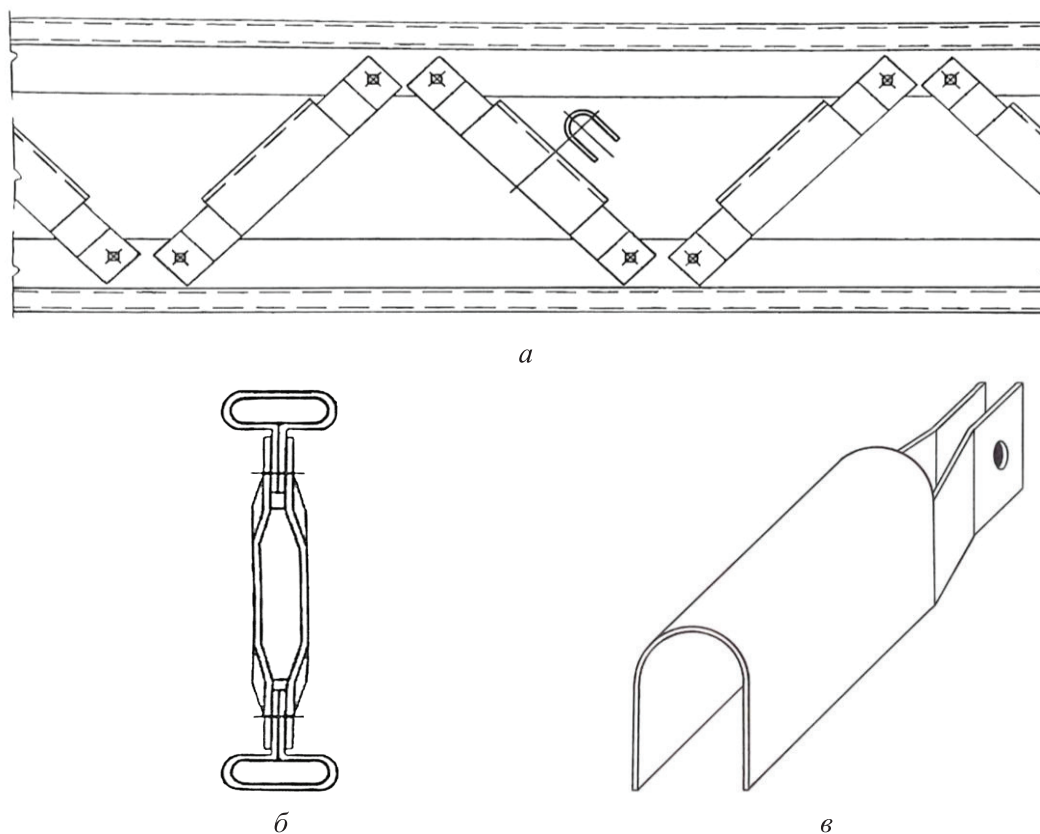


Рис. 6. Схема конструкции с решеткой из U-образного профиля (а), ее разрез (б) и аксонометрия фрагмента стержня решетки (в)

(геометрических) характеристик, полученных с ее применением, можно сравнить с величинами тех же параметров, определенных в результате информационного (компьютерного) моделирования. Вторая цель – показать, что по своим статическим (геометрическим) и технико-экономическим характеристикам U-образные профили в решетках ферменных конструкций более предпочтительны, чем V-образные профили, включая одиночные уголки с оптимальным углом раскрытия полков.

Расчет оптимальных параметров V-образного профиля

Для вывода оптимального отношения и количественной оценки ресурсов V-образного профиля за его расчетное сечение целесообразно принять составную фигуру, включающую пару наклонных прямоугольников размерами $t \times b$, расположенных под углом α симметрично относительно вертикали (рис. 7):

$$b = \sqrt{V^2 + (0,5U)^2} = U \sqrt{1/n^2 + 0,25}; \quad (2)$$

$$\sin \alpha = 0,5U / b = 0,5 / \sqrt{1/n^2 + 0,25};$$

$$\sin^2 \alpha = 0,25 / (1/n^2 + 0,25); \quad (3)$$

$$\cos \alpha = V / b = 1 / n \sqrt{1/n^2 + 0,25};$$

$$\cos^2 \alpha = 1/n^2 (1/n^2 + 0,25), \quad (4)$$

где n – отношение габаритных размеров ширины профиля U по средней линии сечения и высоты профиля V также по средней линии сечения,

$$n = U / V. \quad (5)$$

Численные выкладки допустимо выполнять по средней линии расчетного сечения без учета входящих в них величин, содержащих значение толщины, возведенное во вторую и третью степень (t^2, t^3), а также без учета угловых закруглений [23]:

$$A = 2tU \sqrt{1/n^2 + 0,25}; \quad (6)$$

$$I_x = tU^3 (0,1666666 \sqrt{1/n^2 + 0,25}) / n^2; \quad (7)$$

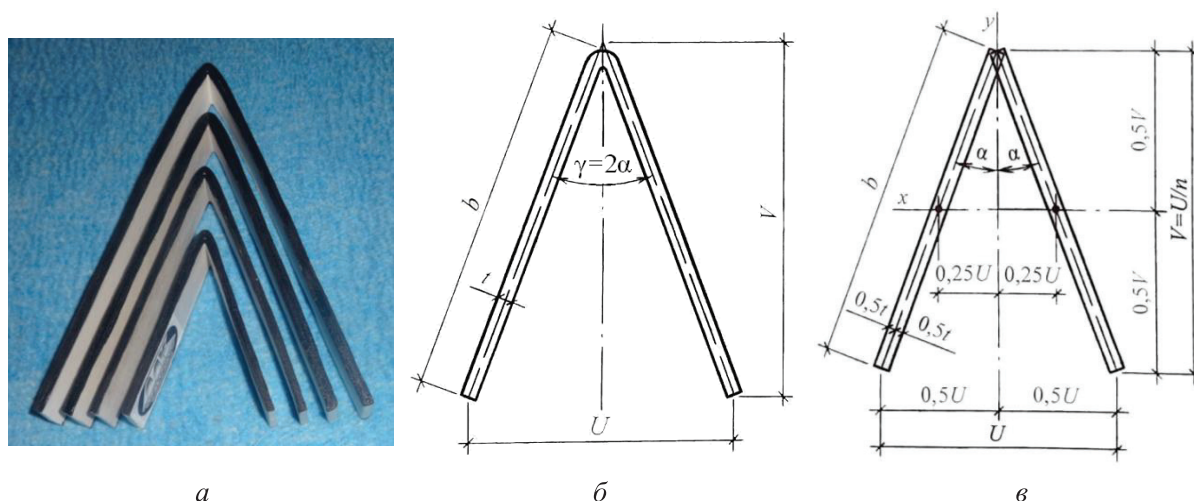


Рис. 7. Снимок среза разнокалиберных V-образных профилей (а) и расчетные схемы их сечения (б, в)

$$I_y = tU^3(0,1666666\sqrt{1/n^2 + 0,25}), \quad (8)$$

где A – расчетная площадь сечения профиля; I_x – расчетный осевой момент инерции сечения относительно оси $x - x$; I_y – расчетный осевой момент инерции сечения относительно оси $y - y$.

Для решения задачи с равноустойчивостью в качестве критерия оптимизации V-образного профиля осевые моменты его сечения должны иметь нулевую разницу, то есть $I_x - I_y = 0$.

Если подставить расчетные значения моментов инерции (7) и (8), то для отношения (5) можно получить уравнение второй степени

$$1/n^2 - 1 = 0$$

с корнями

$$n_1 = -1; n_2 = 1.$$

Из этих корней прикладное значение имеет последний, так как он позволяет определять расчетные параметры оптимизированных по критерию равноустойчивости V-образных профилей в самом общем случае:

$$n = 1 = 1/1; A = 2,2360678tU;$$

$$U = V = 0,4472136A/t; b = 0,5A/t;$$

$$\cos\alpha = 0,8944272; \sin\alpha = 0,4472136;$$

$$\alpha = 26,57^\circ; \gamma = 2\alpha = 53,14^\circ;$$

$$I_x = I_y = 0,1863389U^3 = 0,0166666A^3/t^2, \text{ сечения профиля (рис. 8):}$$

где A и t – соответственно площадь сечения и толщина листовой заготовки для профиля, $A = const$ и $t = const$.

Полученное значение угла γ практически совпало с углом раскрытия равноположного уголка сечением $b \times b \times t = 100 \times 100 \times 7$ мм ($\gamma = 53,1^\circ$) [24], включая расчет по формуле (1):

$$\gamma = 2 \arccos \sqrt{(4 \times 100^2 - 7^2) / (5 \times 100^2 - 2 \times 7^2)} = 2 \arccos 0,8947564 = 2 \times 26,52^\circ = 53,04^\circ$$

при погрешности

$$100(53,14 - 53,04) / (53,14 \dots 53,04) = 0,188 \dots 0,189\%.$$

В необходимой и достаточной корректности приближенной методики расчета можно убедиться еще раз, если в формуле (1) обнулить значение толщины профиля ($t = 0$):

$$2 \arccos \sqrt{(4 \times 100^2 - 0^2) / (5 \times 100^2 - 2 \times 0^2)} = 2 \arccos 0,8944271.$$

Расчет оптимальных параметров U-образного профиля

Расчетное сечение U-образного профиля можно представить составной фигурой из пары вертикальных прямоугольников размерами $t \times (V - 0,5U)$, объединенных круглым полукольцом толщиной t и радиусом по его средней линии $R = 0,5U$, где V (U) – габаритный размер высоты (ширины) по средней линии

$$A = tU(2/n + 0,57); \quad (9)$$

$$y_0 = U(1/n^2 + 0,034955) / (2/n + 0,57); \quad (10)$$

$$I_x = tU^3(0,6666666/n^5 + 0,95/n^4 + 0,07678/n^3 - 0,018247/n^2 + 0,0098689/n + 0,001058)/(2/n + 0,57)^2; \quad (11)$$

$$I_y = tU^3(0,5/n - 0,53575), \quad (12)$$

где y_0 – ордината центра тяжести расчетного сечения профиля относительно точки пересечения средней линии его полукольцевой части с вертикальной осью симметрии;

$$n = U/V = (B-t)/(H-0,5t); \quad (13)$$

$B(H)$ – габаритный размер ширины (высоты) профиля по наружной линии его сечения.

Поскольку расчетное сечение U-образных профилей отличается от такого же сечения полуплоскоовальных профильных труб (замкнутых гнутосварных профилей) отсутствием полки (горизонтальной грани), корректность приведенных формул проверена с помощью приближенной методики расчета, апробированной при оптимизации стержневых и балочных элементов из таких труб [25]. С не меньшим успехом полученные формулы проверены на примере расчетного сечения плоскоовальных профильных труб (замкнутых гнутосварных профилей) с отношением габаритных размеров ширины и высоты по средней линии $n = U/V = 1/2,78$, скомпонованного из парных U-образных профилей с отношением $n = U/V = 1/1,39$. Для этого использована методика приближенного расчета, апробированная при оптимизации плоскоовальных профилей применительно к ферменным конструкциям [26].

Равноустойчивость U-образных профилей обеспечена при нулевой разнице осевых моментов инерции их расчетного сечения, то есть когда $I_x - I_y = 0$.

Если подставить расчетные значения моментов инерции по (11) и (12), то для отношения габаритных размеров ширины и высоты ($n = U/V$) можно получить уравнение пятой степени

$$0,6666666/n^5 + 0,95/n^4 - 1,92322/n^3 - 0,9432427/n^2 - 0,0300311/n + 0,0185213 = 0$$

с корнями

$$n_1 = -3,9025612; n_2 = -3,5087055;$$

$$n_3 = 0,7191272; n_4 = 8,7321874.$$

Из этих корней практический интерес вызывает предпоследний, значение которого можно округлить до приведенного выше отношения, а также записать в самом общем случае для оптимизированных по критерию равноустойчивости U-образных профилей:

$$n = 0,7191272 = 1/1,3905754 \approx 1/1,39;$$

$$A = 3,3511491tU;$$

$$U = 0,2984051A/t (66,73\%);$$

$$V = 0,4149545A/t (92,79\%);$$

$$y_0 = 0,5874559U = 0,1752998A/t;$$

$$I_x = 0,6414454tU^3 =$$

$$= 0,0170442A^3/t^2 (102,27\%);$$

$$I_y = 0,6415372tU^3 =$$

$$= 0,0170466A^3/t^2 (102,28\%);$$

$$I_x/I_y = 0,9998569 \approx 1$$

при погрешности $100(0,6415372 - 0,6414454) / (0,6415372 + 0,6414454) = 0,0143\%$, а также $A = const$ и $t = const$.

Здесь расчетные параметры оптимизированных V-образных профилей (прототип) приняты за эталонные (100-процентные) показатели. Их сравнение с соответствующими показателями таких же U-образных профилей (предлагаемое решение), приведенных в скобках, со всей определенностью указывает на более высокие геометрические (статические) характеристики и более компактные размеры у U-образных профилей.

Пример замены V-образного профиля U-образным

Для более наглядного примера использования U-образного профиля в качестве стержневого элемента решетки конструкции за базовый объект можно принять прокатной уголок сечением $7 \times 100 \times 100$ мм, оптимизированный по техническому решению из прототипа [24]:

$$A = 13,024 \text{ см}^2; I_x = 75,262 \text{ см}^4; I_y = 75,480 \text{ см}^4;$$

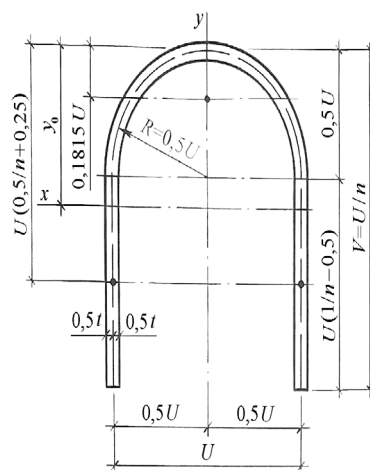
$$i_x = 2,404 \text{ см}; i_y = 2,407 \text{ см};$$

$$U = V = 0,4472136 \times 13,024 / 0,7 = 8,320 \text{ см}.$$

Предлагаемое техническое решение представлено U-образным профилем с габаритом высоты $V = 8,32$ см и следующими характеристиками его расчетного сечения:

$$t = 0,4149454 \times 13,024 / 8,320 = 0,6496 \text{ см} \rightarrow t = 6,0 \text{ мм (ГОСТ 19903-2015);}$$

$$A = 0,60 \times 8,320 / 0,4149545 = 12,042 \text{ см}^2 (92,46\%);$$



а
Рис. 8. Снимок среза разнокалиберных U-образных профилей (а)
 и расчетная схема их сечения (б)

$$U = 0,2984051 \times 12,042 / 0,60 = 5,989 \approx 6,0 \text{ см};$$

$$I_x = 0,0170442 \times 12,042^3 / 0,60^2 = 82,674 \text{ см}^4$$

(109,8%);

$$I_y = 0,0170466 \times 12,042^3 / 0,60^2 = 82,686 \text{ см}^4$$

(109,5%);

$$i_x = \sqrt{82,674 / 12,042} = 2,620 \text{ см (109,0%);}$$

$$i_y = \sqrt{82,686 / 12,042} = 2,623 \text{ см (109,0%),}$$

где за эталонные (100-процентные) показатели приняты соответствующие характеристики расчетного сечения из базового объекта.

Судя по полученным результатам сравнительного расчета, замена V-образного профиля, оптимизированного из уголка сечением 100×100×7 мм, в стержневых элементах решетки U-образным профилем сечением 86,2×66×6 мм сопровождается уменьшением площади расчетного сечения и, как следствие, расхода конструкционного материала на 7,54 %, а также увеличением геометрических (статических) характеристик того же сечения на 9,0...9,8 % и соответствующим повышением устойчивости этих элементов.

Заключение

Полученные результаты сопоставительного расчета оптимальных параметров стержневых элементов решеток из V-образных (прототип) и U-образных (предлагаемое решение) гнутых профилей позволяют сделать ряд выводов и обобщений.

1. При использовании одной и той же листовой заготовки U-образный профиль выгодно отличается более компактными размерами ширины и высоты, а также более высокими геометрическими (статическими) характеристиками, чем V-образный профиль.

2. Острый угол раскрытия полков V-образного профиля приводит к определенному росту наклепа и концентрации напряжений, а также сокращению расстояния от расположения конструкционного материала до центра тяжести сечения и, как следствие, уменьшению устойчивости.

3. Круглое полукольцо, соединяющее параллельные стенки U-образного профиля, способствует определенному снижению наклепа и концентрации напряжений, а также обеспечивает расположение конструкционного материала с большим удалением от центра тяжести сечения и, как следствие, увеличением устойчивости.

4. Замена в стержневых элементах решеток V-образных профилей U-образными профилями при прочих равных условиях сопровождается определенным ростом несущей способности и, как следствие, полезной нагрузки, а при неизменной нагрузке приводит к сокращению расхода конструкционного материала и массы (веса) конструкции.

5. Разработку решетчатых конструкций с применением гнутых и гнutoзамкнутых про-

филей (ГЗП) можно признать достаточно рациональной, эффективной для перспективного использования в несущих и связевых системах различных зданий (сооружений).

6. Приближенная методика расчета тонкостенного сечения по его средней линии обладает необходимой и достаточной корректностью для практического использования при решении оптимизационных задач и вариантном проектировании строительных конструкций, а ее

погрешности не превышают пределов неточностей конечно-элементного моделирования.

Завершая заключительную часть, представляется вполне уместным отдать поклон светлой памяти и высказать добрые слова благодарности Ивану Леонидовичу Кузнецову, сделавшему так много для разработки и исследования легких металлических конструкций, отрасли которых исполняется в текущем году полста лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов И.Л., Салахутдинов М.А., Фахрутдинов А.Э. Ферма // Патент №2647137. 14.03.2018. Бюл. №8.
2. Кузнецов И.Л., Салахутдинов М.А., Саянов С.Ф. Строительный элемент для изготовления решетчатой конструкции // Патент №2633851. 18.10.2017 Бюл. №29.
3. Кузнецов И.Л., Фахрутдинов А.Э., Салахутдинов М.А. Решетчатая конструкция // Патент №2715785. 03.03.2020. Бюл. №3.
4. Бабалич В.С., Сухина К.Н., Сухин К.А., Дубовский Е.А., Слышкина Е.А. Алгоритм расчета основных геометрических характеристик сечения с дефектами // Инженерный вестник Дона. 2019. №5. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2019/5893.
5. Вильгельм Ю.С. Влияние погиба равнополочного уголка на несущую способность конструкции покрытия / К.Н. Сухина, М.Е. Дубовский, В.Н. Слышкина, В.Н. Власов, К.А. Сухин // Инженерный вестник Дона. 2019. №2. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5719.
6. Arthur A. de Menezes, Pedro C. G. da S. Vellasco, Luciano R. O. de Lima, Andre T. da Silva. Experimental and numerical investigation of austenitic stainless steel hot-rolled angles under compression // Journal of Constructional Steel Research 152 (2019) 42-56.
7. Songzhao Qua, Yonghua Guob, Qing Sunc. Resistances of high-strength steel equal-leg-angle section columns eccentrically connected by one leg // Journal of Constructional Steel Research 191 (2022) 107143.
8. Горохов Е.В. Влияние геометрических несовершенств уголков на несущую способность стойки пояса опоры ЛЭП / Е.В. Горохов, В.Н. Васылев, В.Г. Гаврилов, А.В. Танасогло, Р.И. Игнатенко // Металлические конструкции. 2021. №1. С. 29-43.
9. Aljosa Filipovic, Jelena Dobric, Nancy Baddoo, Primoz Moze. Experimental response of hot-rolled stainless steel angle columns // Thin-Walled Structures 163 (2021) 107659.
10. Fangying Wanga, Yating Liangb, Ou Zhaoa, Ben Youngc. Pin-ended press-braked S960 ultra-high strength steel angle section columns: Testing, numerical modelling and design // Engineering Structures 228 (2021) 111418.
11. Wang Y.Q., Wang Z.X., Hu X.G., Han J.K., Xing H.J. Experimental study and parametric analysis on the stability behavior of 7A04 high-strength aluminum alloy angle columns under axial compression // Thin-Walled Structures 108 (2016) 305-320.
12. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 2. Стальные конструкции зданий и сооружений. (Справочник проектировщика) / Под ред. В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова). М.: Издательство АСВ, 1998. С. 235-236.
13. Соболев Ю.В., Зинкевич И.В. К расчету элементов решетки ферм типа «Тагил» // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1989. №12. С. 12-17.
14. Проектирование металлических конструкций: Спец. курс / В.В. Бирюлев, И.И. Кошин, И.И. Крылов, А.В. Сильверстов. Л.: Стройиздат, 1990. С. 85, 89-91.
15. Байшев А.Ю., Байшев Ю.П., Годзевич Э.В., Плохих В.И. Рациональные конструктивные решения стальных элементов большепролетных зданий // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2018. №1. С. 62-66.

16. Шимановский О. В., Божко В. А., Перельмутер А. В. Новые технические решения симметричных ферм из одиночных уголков: Сборник научных трудов Украинского научно-исследовательского и проектного института стальных конструкций им. В. М. Шимановского. Выпуск 1. 2008. С. 80-84.
17. Марутян А. С. Конструкция с решеткой из U-образного профиля // Патент №207351. 25.10.2021. Бюл. №30.
18. Аветян Н. Ю., Марутян А. С. Плоскоовальные гнutoзамкнутые профили // Инвестиции, строительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения: материалы XI Международной научно-практической конференции, 3-4 марта 2021 г. / Под ред. Т. Ю. Овсянниковой, И. Р. Салагор. Томск: Издательство ТГАСУ, 2019. Ч. 1. С. 342-347.
19. Кузнецов И. Л., Гимранов Л. Р., Салахутдинов М. А., Фахрутдинов А. Э. Совершенствование узлов стальных ферм с поясами из многогранных труб // Известия КГАСУ. 2017. №3. С. 116-123.
20. Марутян А. С. Гнutoзамкнутые профили и расчет их оптимальных параметров // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15. №1. С. 33-43. <http://doi.org/10.22363-1815-5235-2019-15-1-33-43>.
21. Липатникова В. С. Фальцевая картина с замком повышенной надежности // Патент №207500. 29.10.2021. Бюл. №31.
22. Салахутдинов М. А., Кузнецов И. Л., Саянов С. Ф. Стальные фермы с поясами из труб многогранного сечения // Известия КГАСУ. 2016. №4. С. 236-242.
23. Марутян А. С. Оптимизация конструкций из трубчатых (гнutosварных) профилей квадратных (прямоугольных) и ромбических сечений // Строительная механика и расчет сооружений. 2016. №1. С. 30-38.
24. Салахутдинов М. А., Кузнецов И. Л., Фахрутдинов А. Э. Решетчатая конструкция // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2019. №2. С. 86-90.
25. Марутян А. С. Расчет оптимальных параметров полуплоскоовальных труб для ферменных и балочных конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. 2019. №2. С. 68-74.
26. Марутян А. С., Абовян А. Г. Расчет оптимальных параметров плоскоовальных труб для ферменных конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. 2017. №4. С. 17-22.

CONSTRUCTION WITH A U-SHAPED PROFILE GRILLE

© A. S. Marutyan

Branch of NCFU, Pyatigorsk, Russia

A comparative calculation of the optimal parameters of rod elements from V- and U-shaped profiles is given. Both of them are optimized according to the criterion of equidistance. The first one was obtained as a result of opening the shelves of an equilateral corner by an angle smaller than a straight one, and was used as a prototype for the second one. The U-shaped profile consists of two vertical walls connected by a circular semicircle, and differs in the ratio of overall dimensions of width and height 1/1.39 along the middle line of its design section. Testing of the approximate calculation method confirmed its necessary and sufficient correctness, remaining within the limits of errors of finite element modeling. The results of the calculations showed that with the same consumption of structural material, the U-shaped profile is more preferable, since its dimensions are more compact, and the load-bearing capacity resources are greater.

Keywords: lattice structure, bent-closed profile, U-shaped profile, optimization calculation, equidistance.

REFERENCES

1. Kuznecov, I. L., Salahutdinov, M. A. and Faxrutdinov, A. (14.03.2018) *Ferma*. [Ferm], Byul, №8, Patent №2647137.
2. Kuznecov, I. L., Salahutdinov, M. A. and Sayanov, S. F. (18.10.2017) *Stroitelnyj element dlya izgotovleniya reshchatoj konstrukcii*. [Building element for the manufacture of a lattice structure], Byul., №29, Patent №2633851.
3. Kuznecov I.L., Faxrutdinov A.E. and Salaxutdinov M.A. (03.03.2020) *Reshchataya konstrukciya*. [Lattice structure], Byul. №3, Patent №2715785.
4. Babalich, V. S., Suxina, K. N., Suxin, K. A., Dubovskij, E. A. and Slyshkina, E. A. (2019) 'Algoritm rascheta osnovnyx geometricheskixarakteristik secheniya s defektami'. *Inzhenernyj vestnik Dona*. [Algorithm for calculating the main geometrical characteristics of a section with defects // Engineering Bulletin of the Don.], №5, available at: [www. ivdon. ru/magazine/ archive/n5y2019/5893](http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n5y2019/5893).
5. Vilgelm, Yu. S., Suhina, K. N., Dubovskij, M. E., Slyshkina, V. N., Vlasov, V. N. and Suhin, K. A. (2019) 'Vliyanie pogiba ravnopolochnogo ugolka na nesushhuyu sposobnost konstrukcii pokrytiya' *Inzhenernyj vestnik Dona*. [Influence of the equal-shelf corner bending on the bearing capacity of the coating structure. Engineering Bulletin of the Don], №2, available at: [www. ivdon. ru/magazine/ archive/n2y2019/5719](http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2019/5719).
6. Arthur, A. de Menezes, Pedro, C. G. da S. Vellasco, Luciano, R. O. de Lima and Andre, T. da Silva (2019) 'Experimental and numerical investigation of austenitic stainless steel hot-rolled angles under compression'. *Journal of Constructional Steel Research* 152, pp. 42-56.
7. Songzhao, Qua, Yonghua, Guoband and Qing Sunc (2022) 'Resistances of high-strength steel equal-leg-angle section columns eccentrically connected by one leg' *Journal of Constructional Steel Research* 191, 107143 p.
8. Gorohov, E. V., Vasylev, V. N., Gavrilov, V. G., Tanasoglo, A. V. and Ignatenko, R. I. (2021) 'Vliyanie geometricheskix nesovershenstv ugolkov na nesushhuyu sposobnost stojki poyasa opory LEP'. [Influence of geometrical imperfections of the corners on the bearing capacity of the rack of the belt of the power transmission line support. Metal constructions]. *Metallicheskie konstrukcii*. №1. P. 29-43.
9. Aljosa, Filipovic, Jelena, Dobric, Nancy, Baddoo and Primoz, Moze (2021) Experimental response of hot-rolled stainless steel angle columns. *Thin-Walled Structures* 163, 107659 p.
10. Fangying Wanga, Yating Liangb, Ou Zhaoa, Ben Youngc. Pin-ended press-braked S960 ultra-high strength steel angle section columns: Testing, numerical modelling and design // *Engineering Structures* 228 (2021) 111418.
11. Y.Q. Wang, Z.X. Wang, X.G. Hu, J.K. Han, H.J. Xing. Experimental study and parametric analysis on the stability behavior of 7A04 high-strength aluminum alloy angle columns under axial compression // *Thin-Walled Structures* 108 (2016) 305-320.
12. (1998) *Metallicheskie konstrukcii v 3t. V. 2. Stalnye konstrukcii zdaniy i sooruzhenij* (Spravochnik proektirovshhika), pod red. V.V. Kuznecova (CzNIIproektstal'konstrukciya im. N.P. Mel'nikova). [Steel structures of buildings and structures. (Designer's Handbook). in V.V. Kuznetsova (ed.) (TsNIIprojectstalkonstruktsiya named after N.P. Melnikov)]. ASV Publishing House, Moscow, pp. 235-236.
13. Sobolev, Yu. V. and Zinkevich I.V. (1989) 'K raschetu elementov reshetki ferm tipa «Tagil»'. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura*. [To the calculation of lattice elements of farms of the "Tagil" type. *Izvestiya vuzov. Construction and architecture*]. №12, Pp. 12-17.
14. Biryulev, V.V. Koshin, I. I., Krylov, I. I. and Silverstov, A.V. *Proektirovanie metallicheskix konstrukcij: Specz. kurs.: Strojizdat, Leningrad, pp. 85, 89-91.*
15. Bajshev, A. Yu., Bajshev, Yu. P., Godzevich, E. V. and Plohih, V. I. (2018) 'Racionalnye konstruktivnye resheniya stalnyx elementov bolsheproletnyx zdaniy'. *Akademicheskij vestnik UralNIIproekt RAASN*. [Rational constructive solutions for steel elements of large-span buildings]. №1, pp. 62-66.
16. Shimanovskij, O. V., Bozhko, V. A., and Perelmuter, A. V. (2008) 'Novye texnicheskie resheniya

- simmetrichny`x ferm iz odinochny`x ugotkov`. [New technical solutions for symmetrical trusses from single corners]. *Sbornik nauchny`x trudov Ukrainskogo nauchno-issledovatel`skogo i proektnogo instituta stal`ny`x konstrukcij im. V.M. Shimanovskogo*. Vypusk 1, pp. 80-84.
17. Marutyan, A. S. *Konstrukciya s reshetkoj iz U-obraznogo profilya* (25.10.2021) [Structure with a U-profile grating], Byul. №30, Patent №207351
 18. Avetyan, N. Yu. and Marutyan, A. S. (2019) 'Ploskoovalnye gnutozamknutyje profile'. *Investicii, stroitel`stvo, nedvizhimost kak drajvery socialno-ekonomicheskogo razvitiya territorii i povysheniya kachestva zhizni naseleniya: materialy XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 3-4 marta 2021 g.* Pod red. T.Yu. Ovsyannikovej, I.R. Salagor. [Plano-oval bent-closed profiles. Investments, construction, real estate as drivers of the socio-economic development of the territory and improving the quality of life of the population: materials of the XI International Scientific and Practical Conference, in T.Yu. Ovsyannikova and I.R. Salagor (ed), Izdatelstvo TGASU, Ch. 1. Tomsk, pp. 342-347.
 19. Kuznecov, I. L., Gimranov, L. R., Salahutdinov, M. A., Fahrutdinov A.E. (2017) *Sovershenstvovanie uzlov stalnyx ferm s pojasami iz mnogogrannyx trub*. *Izvestiya KGASU*. [Improvement of nodes of steel trusses with belts from multifaceted pipes]. №3, pp. 116-123.
 20. Marutyan, A. S. (2019) 'Gnutozamknutyje profili i raschet ix optimalnyh parametrov'. [Bent-closed profiles and calculation of their optimal parameters. *Stroitel'naya mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij*. V. 15, №1, pp. 33-43, available at: <http://doi.org/10.22363-1815-5235-2019-15-1-33-43>.
 21. Lipatnikova, V. S. (29.10.2021) *Falcevaya kartina s zamkom povyshennoj nadezhnosti* [Seam picture with a high security lock], Byul. №31. Patent №207500
 22. Salahutdinov M.A., Kuznetsov I.L. and Sayanov, S. F. (2016) 'Stalnye fermy s pojasami iz trub mnogogrannogo secheniya'. [Steel trusses with belts made of multifaceted pipes]. *Izvestiya KGASU*, №4, pp. 236-242.
 23. Marutyan, A. S. (2016) 'Optimizaciya konstrukcij iz trubchatyh (gnutosvarnyh) profilej kvadratnyh (pryamougolnyh) i rombicheskix sechenij'. [Optimization of structures from tubular (bent-welded) profiles of square (rectangular) and rhombic sections]. *Stroitel'naya mehanika i raschet sooruzhenij*. №1, pp. 30-38.
 24. Salahutdinov, M.A., Kuznetsov, I.L. and Fahrutdinov, A. E. (2019) 'Reshetchataya konstrukciya'. [Lattice structure], *Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN*. №2, pp. 86-90.
 25. Marutyan, A. S. (2019) 'Raschet optimalnyh parametrov poluploskoovalnyh trub dlya fermennyh i balochnykh konstrukcij'. [Calculation of optimal parameters of semi-flat oval pipes for truss and beam structures]. *Stroitel'naya mehanika i raschet sooruzhenij*. №2, pp. 68-74.
 26. Marutyan, A. S. and Abovyan, A. G. (2017) 'Raschet optimalnyh parametrov ploskoovalnyh trub dlya fermennyh konstrukcij'. [Calculation of optimal parameters of flat-oval pipes for truss structures]. *Stroitel'naya mehanika i raschet sooruzhenij*. №4, pp. 17-22.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО РЕСУРСА СТРОИТЕЛЬСТВА

© М. Ш. Саламанова^{1,2}, М. Р. Нахаев³, Т. С-А. Муртазаева^{1,4}

¹ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

²КНИИ РАН им. Х. И. Ибрагимова, Грозный, Россия

³ЧГУ имени А. А. Кадырова, Грозный, Россия

⁴АН ЧР, Грозный, Россия

При всей значимости гидравлического портландцемента всемирная федерация Central Pollution Control Board относит карбонатную технологию к категории экологически вредных и опасных для окружающей среды. Обоснованием указанных доводов служат многие факторы, такие как крупномасштабная добыча исчерпаемого природного ресурса, высокотемпературная обработка которого приводит к выбросам потенциально опасных для здоровья ультрадисперсной аспирационной и клинкерной пыли, углекислоты, сернистых соединений, тяжелых металлов, диоксинов и др. Снижение доли клинкера в составе вяжущего позволит создавать многокомпонентные цементные системы с использованием минеральных порошков, подвергнутых механо- или механохимической активации, что требует глубокого исследования их природы, условий формирования, обменной емкости и свойств в целом.

Ключевые слова: минеральный порошок, генезис, структура, условия формирования, факторы, механоактивация.

Современный строительный рынок из года в год восполняется широким ассортиментом новой продукции, но согласно мониторингу данных опроса потребителей, востребованным материалом считается портландцемент, без которого невозможна организация и проведение строительства. Но при всей глобальной значимости этого незаменимого гидравлического материала, всемирная федерация CentralPollutionControlBoard относит карбонатную технологию к категории экологически вредных и опасных для окружающей среды. Обоснованием указанных доводов служат многие факторы, такие как крупномасштабная добыча исчерпаемого природного ресурса, высокотемпературная обработка которого приводит к выбросам потенциально опасных для здоровья ультрадисперсной аспирационной и клинкерной пыли, углекислоты, сернистых соединений, тяжелых металлов, диоксинов и др. [1-4]. Мировое научное сообщество давно стремится найти альтернативу портландцементу, или хотя бы снизить долю клинкера в

составе вяжущего, огромное количество исследований направлено на разработку многокомпонентных цементных систем с использованием минеральных порошков, подвергнутых механо- или механохимической активации. Использование минеральных порошков различного генезиса для получения вяжущих систем щелочного затворения требует глубокого исследования их природы, условий формирования, обменной емкости и свойств в целом.

Известен факт, что горные породы состоят из породобразующих минералов, формирование структуры которых происходило на протяжении миллионов лет в результате сложных физико-химических преобразований. Минералы отличаются строением и свойствами, и в зависимости от условий возникновения и источника энергетического потенциала можно выделить следующие группы, представленные на рисунке 1.

Такие минералы, как силикаты, разновидности кварца, рудные материалы можно отнести к эндогенной категории горных пород.



Рис. 1. Классификация минералов в зависимости от источника энергии

Минералы алюмосиликатного генезиса, такие как каолинит, монтмориллонит, нонтронит, бейделит, гидрослюды, карбонатные кристаллический кальцит, ангидрит, магнезит и др., составляют группу экзогенных горных пород осадочного происхождения. Эндо-экзогенные минералы метаморфической природы представлены метаморфическими породами, такими как хризотил-асбест, парагнейсы, ортогнейсы, тальк, графит и др.

Земная кора нашей планеты состоит из различных минералов, по степени распространения их можно охарактеризовать следующим процентным соотношением, представленным на гистограмме рисунка 2. Самыми распространёнными соединениями в массе земной коры являются силикаты – 77%, входящие в состав 800 минералов, карбонаты, оксиды и гидроксиды в небольшом количестве восполняют свое существование.

Исследования показали, что для силикатных минералов характерны сложный химический состав и изоморфность замещения одних элементов и комплексов элементов другими. В процессе кристаллизации захватывая в свою

структуру такие химические элементы, как Al, Si, Ca, Mg, Fe, O, K, Na и др., формируется кристаллическая решетка за счет химических связей ионного типа. Ключевое звено кристаллической решетки силикатных минералов – кремнекислородный тетраэдр SiO_4^{4-} , с довольно небольшими размерами микросвязей Si – O в диапазоне от 0,15 до 0,17 нм, незначительно увеличивающихся с повышением температуры [6-9].

За счет наличия четырех свободных валентных связей у кремнекислородного тетраэдра проявляются акцепторные свойства, позволяющие притягивать ионы других химических элементов, зацепляя их в структуре с образованием прочной кристаллической решетки. Рассматривая конкретный пример на кристаллической решетке алюмосиликатов, можно отметить ионы Al^{3+} , обладающие способностью замещать ионы кремния Si внутри кремнекислородного тетраэдра. Внутри силикатных минералов существуют различные типы структур кремнекислородных тетраэдров: цепные, ленточные, островные, слоистые и каркасные (рисунок 2).

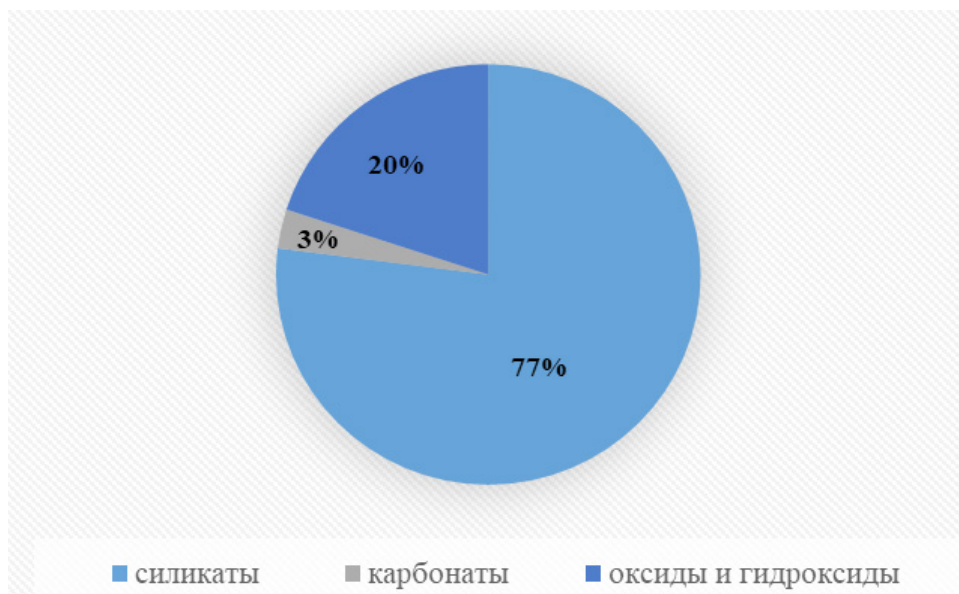


Рис. 2. Степень распространения минералов в земной коре

Рассмотрим конкретные примеры присутствия силикатов с указанными типами структур кремнекислородных тетраэдров. Основной тип соединений кремнекислородных тетраэдров характерен минералу – оливин ($Mg, Fe)_2SiO_4$, кристаллическая структура которого сформирована взаимодействием катионов щелочных и щелочноземельных металлов и свободных дислокаций с отрицательными валентностями SiO_4^{4-} тетраэдров. Минерал оливин входит в состав многих магматических, как глубинных, так и излившихся горных пород, твердость по шкале Мооса соответствует 6,5-7 и характеризуются достаточно высокой плотностью 3,2-3,5 г/см³.

Островной тип структуры свойственен химическому взаимодействию кремнекислородных тетраэдров через общий кислород, что содействует формированию островной структуры из отдельных кольцевых групп $(Si_2O_7)^{6-}$. К этому типу структуры можно отнести такие породообразующие минералы – мелелит и эпидот.

Замкнутые кольцевые цепочки образуются при соединении трех или шести кремнекислородных тетраэдров $(Si_3O_9)^{6-}$, $(Si_4O_{12})^{8-}$, $Si_6O_{18})^{12-}$.

Цепная структура свойственна для бесконечного объединения тетраэдров $(Si_2O_6)^{4-}$, при этом цепочки объединяются через катионы ме-

таллов. Представителями данной структуры являются пироксены $Ca (Mg, Fe, Al) [(Si, Al)_2O_6]$, с твердостью по шкале Мооса 5-6, плотностью 3,3-3,6 г/см³.

При сближении и контакте отдельных структурных цепочек происходит формирование сдвоенных кремнекислородных цепочек. При дальнейшем соединении которых через общий кислород приводит к формированию бесконечных ленточных структур со звеном $(Si_4O_{11})^{6-}$.

Такая ленточная структура свойственна таким минералам, как актинолит, роговая обманка, хризотил-асбест, с твердостью 5,6-5,7 и плотностью 3,2-3,3 г/см³.

Образование кремнекислородных тетраэдров через общие атомы кислорода, находящиеся в одной плоскости, приводит к появлению листовидной структурной цепочки с основным звеном $(Si_4O_{10})^{4-}$. Такой тип структуры характерен для минералов осадочного происхождения, таких как тальк, каолинит, мусковит, слюда и др. Такие минералы, как каолинит, гидрослюда и монтмориллонит являются основой глинистых пород, имеют твердость 1-2,6; плотность 2,59-2,61 г/см³.

И наконец, самый сложный вид структуры – трехмерный каркас, когда соединение кремнекислородных тетраэдров происходит объединением через кислороды, так и заме-

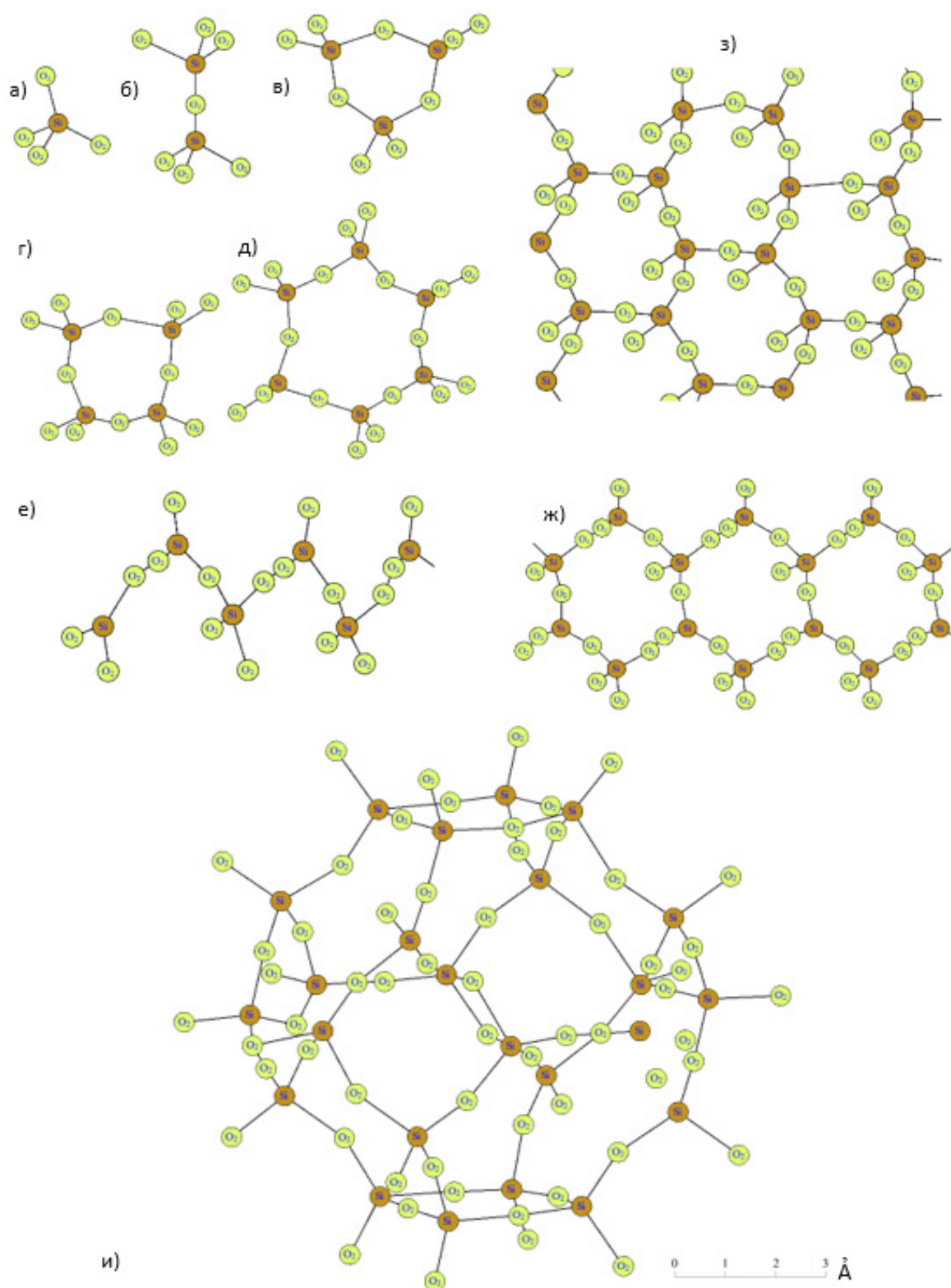




Рис. 2. Типы связей между кремнекислородными тетраэдрами: а – изолированные тетраэдры; б – двойные тетраэдры; в-д – кольцевые структуры; е – одинарные цепочки; ж – двойные цепочки; з – слоистая структура; и – трехмерный каркас;  – кремний;  – кислород

щением ионов кремния ионами алюминия. Трехмерный каркас представлен звеном $[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_8]^{1-}$ и характерен для полевых шпатов, состоящих из ортоклаза, микроклина, плагиоклаза.

Соли угольной кислоты – кальцит (CaCO_3), магнезит (MgCO_3) и доломит $[\text{Ca}, \text{Mg}(\text{CO}_3)_2]$, являются представителями карбонатной группы минералов и после силикатов занимают по объему распространения следующую позицию 20%. Углекислый кальций существует в виде двух разновидностей арагонита и кальцита, имеющего форму ромбоэдра (рисунок 3 а). Кальцит имеет твердость 3, арагонит 3,5-4, плотность кальцита 2,7 г/см³, арагонита 2,9-3,0 г/см³. Минерал арагонит формировался в ромбической сингонии, и при температуре 400 °С он переходит в кальцит. Эти минералы являются основой большинства горных пород осадочного и метаморфического происхождения.

Магнезит так же как и кальцит имеет форму ромбоэдра в тригональной сингонии, с твердостью 3,5-4,5, плотностью 2,9-3,1 г/см³. Доломит представлен ионами Ca^{+2} , CO_3^{2-} , Mg^{2+} , переплетающимися по очереди вдоль тройной оси (рисунок 3 б). Твердость доломита 3,5-4,0, плотность 2,8-2,9 г/см³. Необходимо отметить, что магнезит и доломит при контакте с

соляной кислотой не закипают, в отличие от кальция. Оксиды кремния, железа, алюминия, гидроксиды этих же элементов являются наиболее часто встречающимися в природе. Это минералы третьего и четвертого класса предложенной классификации.

Кварц SiO_2 очень распространенный породообразующий минерал горных пород, с твердостью 7, плотностью 2,65 г/см³, имеет множество разновидностей: халцедон, горный хрусталь, роговик, аметист, агат и кремнь. Гематит – оксид железа Fe_2O_3 , минерал с твердостью 5-6,5, плотностью 5-5,4 г/см³. Корунд оксид алюминия Al_2O_3 минерал с твердостью 9, плотностью 3,9-4,1 г/см³.

Одним из известных минералов класса гидроксидов можно считать опал и лимонит, они входят в состав многих осадочных пород, в составе их присутствует некоторое количество воды от 4 до 8%, твердость 5,4-6,4, плотность 1,8-2,4 г/см³.

Химическое строение породообразующих минералов, составляющих природный ресурс, играет важную роль в процессе синтеза материалов, интенсивность протекания физико-химических процессов и свойства которых определяются именно минеральным составом используемого сырья, диктуя технологию производства. Поверхность материала также вно-

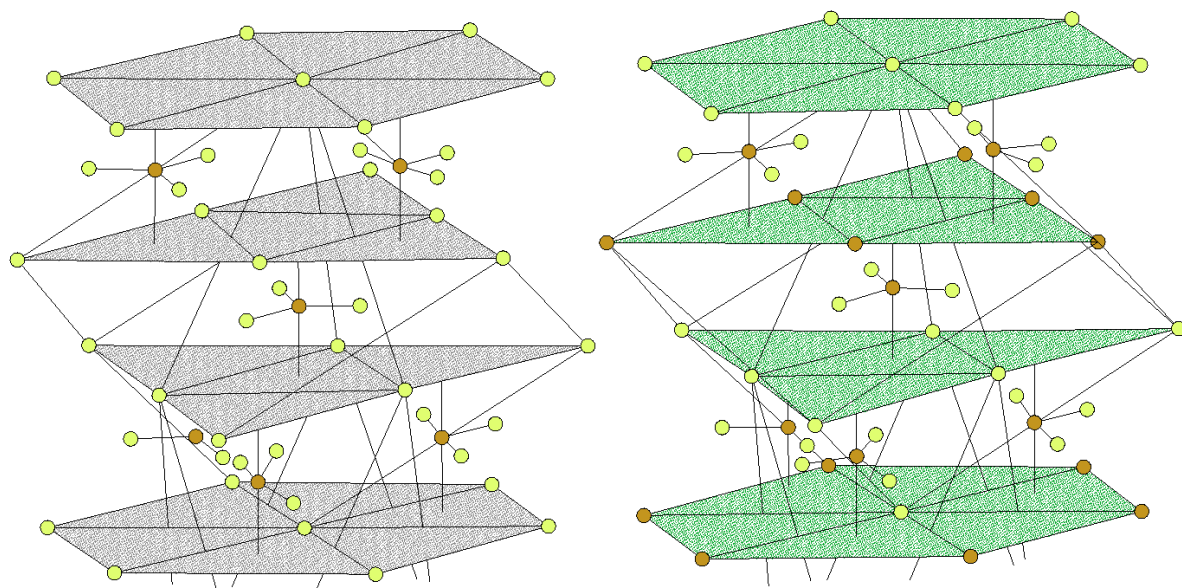


Рис. 3. Схема кристаллических решеток кальцита (а) и доломита (б)

сит свою первостепенную лепту в формирование структуры строительного композита. Еще в начале двадцатого века Габер доказал, что на поверхности твердого тела присутствуют обменные центры кристаллической активности, обладающие «остаточной валентностью», которые являются адсорбентами атомов и молекул другого вещества.

Классифицировать минеральные порошки можно по многим параметрам: в зависимости от энергетического потенциала поверхности порошков, по концентрации активных поверхностных центров и адсорбционной способности. Тонкодисперсные минеральные порошки можно разделить на следующие группы:

– полученные в результате тонкого измельчения горных пород с преобладанием кислотных оксидов и наличием высокого отрицательного потенциала, что повлечет к образованию на поверхности добавок большого количества центров адсорбции, представленных ионами O^{-2} (кварц, кварцит, гранит, габбро и др.);

– полученные в результате тонкого измельчения магматических пород средней кислотности, отрицательный потенциал которых обусловлен наличием центров адсорбции типа O^{-2} , и щелочных катионов металлов Na^+ , K^+ (плагиоклаз, ортоклаз, микроклин и др.);

– полученные в результате тонкого измельчения минералов и магматических пород повышенной основности, потенциал которых менее отрицательный благодаря присутствию на поверхности добавок существенного количества центров адсорбции типа O^{-2} и катионов металлов K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} (порфир, анортит, андезит, базальт и др.);

– полученные в результате тонкого измельчения осадочных пород высокой основности, которые обладают высоким положительно заряженным потенциалом, обусловленным значительным содержанием центров адсорбции из щелочноземельных катионов Ba^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} (арагонит, известняк, магнезит, доломит и др.);

– полученные из метаморфических минералов с преобладанием нейтральной поверхности (графит, гнейсы, тальк и др.).

Таким образом, анализируя теоретические представления о генезисе твёрдых материалов, можно сделать следующее заключение, что твердое массивное тело можно считать прочной основой, образованной в результате взаимодействия на микроуровне соответствующих функциональных групп на поверхности. А для раскрытия и активизации поверхности твердого материала необходимо разрушить либо разрушить химические связи, раскрыть дефекты,

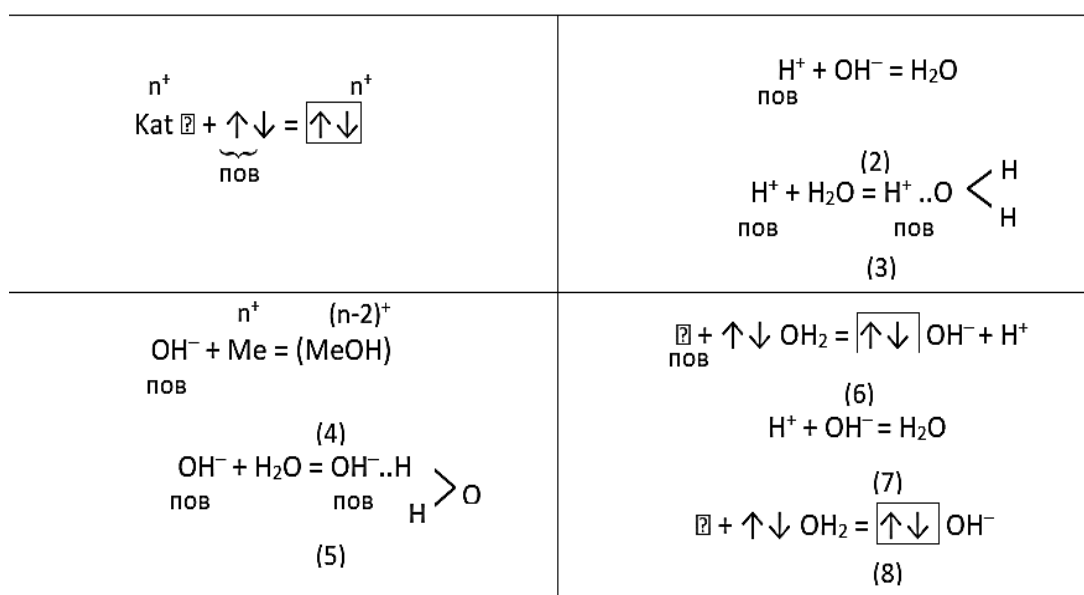


Рис. 4. Вероятностные модели реагирования активных центров кристаллизации

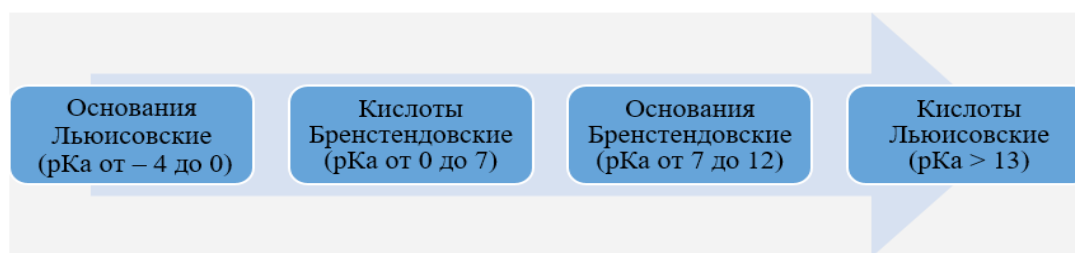


Рис. 5. Диапазоны кислотности среды

микротрещины и дислокации, обнажая тем самым активные обменные центры на ее поверхности [14, 16].

Многочисленными исследованиями установлено [4, 18-20], что возможно контролировать процессы преобразований, физико-химических превращений и формирования структуры и свойств систем с использованием минеральных тонкодисперсных порошков и эффективных высокомолекулярных добавок за счет варьирования степенью наполнения и соотношения основных и кислотных обменных центров кристаллизации на поверхности твердого материала (рисунок 4).

Предложенный донорно-акцепторный механизм [19], происходящий на твердой поверхности тела с возможным распределением адсорбционных центров, оценивают по показателю кислотности рКа, и он позволяет выде-

лить следующие диапазоны среды (рисунок 5):

Данный механизм позволит разработать вероятностные модели реагирования активных центров кристаллизации между собой, наблюдающиеся в цементной системе. Установлено, что твердые тела обладают определенной зависимостью химического и минералогического состава с фактическим электрохимическим потенциалом минерального порошка [9, 18].

Таким образом, использование минеральных порошков в тонкодисперсном состоянии определенного химико-минерального состава, активация этих добавок ПАВ щелочными растворами, тепловым воздействием позволит увеличить количество обменных центров кристаллизации на поверхности твердого тела, что в комплексе позволит управлять процессом структурообразования, набором свойств цементного камня и композита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lopez F.J. Metakaolin-Based Geopolymers for Targeted Adsorbents to Heavy Metal Ion Separation / F.J. Lopez, S. Sugita, M. Tagaya, T. Kobayashi // Journal of Materials Science and Chemical Engineering. 2014. №2. P. 16-27.
2. Муртазаев С.-А. Ю., Саламанова М.Ш., Нахаев М.Р. Возможные пути альтернативного решения проблем в цементной индустрии // Строительные материалы. 2020. №1-2. С. 73-77.
3. Chen L., Wang Z., Wang Y. and Feng J. Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin – Based Geopolymer // Materials 2016. Vol. 9. P. 767.
4. Krivenko P. Influence of alkali activation on the structure formation and properties of blastfurnace cement / P. Krivenko, O. Petropavlovskii, M. Mokhort, V. Puchkar // Proceed. 3rd International Symposium “Non-traditional cement&concrete” (Brno). 2008. P. 400-409.
5. Рахимова Н.Р. Прочность камня композиционных шлакощелочных вяжущих с цеолитсодержащими добавками / Н.Р. Рахимова, Р.З. Рахимов // ИзвестияКазГАСУ. 2008. №2 (10). С. 131-134.
6. Саламанова М.Ш., Алиев С.А., Муртазаева Р. С.-А. Структура и свойства вяжущих щелочной активации с использованием цементной пыли // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019. №2 (Т. 46). С. 148-158.

7. *Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М.Ш.* Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы // Приволжский научный журнал. 2018. №2 (Т. 46). С. 65-70.
8. *Fadhil Nuruddin M.* Effect of Superplasticizer and NaOH molarity on workability, compressive strength and Microstructure Properties of Self- Compacting Geopolymer Concrete / M. Fadhil Nuruddin, S. Demie, M. Fareed Ahmed, Nasir Shafiq. // World Academy of Science, Engineering and Technology. 2011. №75. P. 908-914.
9. *Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M.Sh., Mintshev M.Sh., Bisultanov R. G.* Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging // Proceedings of the International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” dedicated to the 85th anniversary of H. I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. P. 500-503.
10. *Bataev D. K-S., Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M.Sh., Viskhanov S.S.* Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders // Proceedings of the International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” dedicated to the 85th anniversary of H. I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. P. 457-460.
11. *Рахимов М.М., Хабибуллина Н.Р., Рахимов Р.З.* Механизм отверждения боратных солевых растворов шлакощелочными вяжущими // Цемент и его применение. 2016. №3. С. 96-99.
12. *Ушеров-Маршак А.В., Перишина Л.А., Циук М.* Совместимость цементов с химическими и минеральными добавками. Ч. 1 // Цемент. 2002. №6. С. 6-9.
13. *Dombrowski K., Buchwald A.* Weil The Influence of Calcium Content on the Structure and Thermal Performance of Fly Ash Based Geopolymers // Journal of Materials Science. Vol. 42. №9. 2007. P. 3033-3043.
14. *Pawlasova S., Skvara F.* High-Temperature Properties of Geopolymer Materials // Alkali Activated Materials. 2008. P. 523-525.
15. *Khater H.M.* Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT // Advances in Nano Research. 2015. Vol. 3. №4. P. 225-242.
16. *Khater H.M., El Nagar A.M., Ezzat M.* Optimization of Alkali Activated Grog/Ceramic Wastes Geopolymer Bricks // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2016. Vol. 5. Issue 1. P. 37-46.
17. *Nagajothi S., Elavenil S.* Strength assessment of geopolymer concrete using M-sand // Int. J. Chem. Sci. 2016. №14 (S1). P. 115-126.
18. *Саламанова М.Ш., Нахаев М.Р., Исмаилова З.Х.* Закономерности протекания процессов формирования структуры и прочности бесклинкерного вяжущего щелочной активации // Международный научно-исследовательский журнал «Строительные материалы и изделия». 2020. Т. 3. №1. С. 21-29.
19. *Nesvetaev G., Koryanova Y., Zhilnikova T.* On effect of superplasticizers and mineral additives on shrinkage of hardened cement paste and concrete // MATEC Web of Conferences 27. Ser. “27th R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFoCE 2018” 2018. С. 04018.

RESEARCH OF THE MINERAL NATURAL RESOURCE CONSTRUCTION

© M. Sh. Salamanova^{1,2}, M. R. Nakhaev³, T. S-A. Murtazaeva^{1,4}

¹GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

²Kh. Ibragimov Complex Institute of the RAS, Grozny, Russia

³CSU named after A. A. Kadyrov, Grozny, Russia

AS of the Chechen Republic, Grozny, Russia

Despite the importance of hydraulic Portland cement, the global federation Central Pollution Control Board classifies carbonate technology as environmentally harmful and hazardous to the environment. These arguments are substantiated by many factors, such as large-scale mining of an exhaustible natural resource, the high-temperature processing of which leads to emissions of potentially hazardous ultrafine aspiration and clinker dust, carbon dioxide, sulfur compounds, heavy metals, dioxins, etc. Reducing the proportion of clinker in the binder composition will make it possible to create multicomponent cement systems using mineral powders subjected to mechanical or mechanochemical activation, which requires a deep study of their nature, formation conditions, exchange capacity and properties in general.

Keywords: mineral powder, genesis, structure, formation conditions, factors, mechanical activation

REFERENCES

1. Lopez, F. J. Sugita, S., Tagaya, M. and Kobayashi, T. (2014) 'Metakaolin-Based Geopolymers for Targeted Adsorbents to Heavy Metal Ion Separation'. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. №2. P. 16-27.
2. Murtazaev, S-A. Yu., Salamanova, M. Sh. and Nakhaev, M. R. (2020) 'Vozmozhnye puti al'ternativnogo resheniya problem v tsementnoi industrii'. *Stroitel'nye materialy*. [Possible ways of alternative solutions to problems in the cement industry. Construction materials]. № 1-2. Pp. 73-77.
3. Chen, L., Wang, Z., Wang, Y. and Feng, J. Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin – Based Geopolymer. *Materials* 2016. Vol. 9. P. 767.
4. Krivenko P., Petropavlovskii, O., Mokhort, M. and Puchkar, V. (2008) 'Influence of alkali activation on the structure formation and properties of blastfurnace cement'. *Proceed. 3rd International Symposium "Non-traditional cement&concrete"* (Brno). P. 400-409.
5. Rakhimova, N. R. and Rakhimov, R. Z. (2008) 'Prochnost' kamnya kompozitsionnykh shlakoshchelochnykh vyazhushchikh s tseolitsoderzhashchimi dobavkami'. *IzvestiyaKazGASU*. [Durability of stone of composite slag-alkaline binders with zeolite-containing additives], №2 (10), pp. 131-134.
6. Salamanova, M. Sh., Aliev, S. A. and Murtazaeva, R. S-A. (2019) 'Struktura i svoistva vyazhushchikh shchelochnoi aktivatsii s ispol'zovaniem tsementnoi pyli'. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. [Structure and properties of alkaline activation binders using cement dust]. №2 (V. 46), pp. 148-158.
7. Murtazaev, S-A. Yu. and Salamanova, M. Sh. (2018) 'Perspektivy ispol'zovaniya termoaktivirovannogo syr'ya alyumosilikatnoi prirody'. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. [Prospects for the use of thermally activated raw materials of aluminosilicate nature. Privolzhsky scientific journal]. №2 (V. 46), pp. 65-70.
8. Fadhil, Nuruddin, M., Demie, S., Fareed, M. and Nasir, Shafiq, Ahmed. (2011) Effect of Superplasticizer and NaOH molarity on workability, compressive strength and Microstructure

- Properties of Self- Compacting Geopolymer Concrete. World Academy of Science, Engineering and Technology. № 75, pp. 908-914.
9. Murtazayev, S- A. Yu., Salamanova, M. Sh., Mintsaeв, M. Sh, and Bisultanov, R. G. (2019) 'Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging' *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1, pp. 500-503.
 10. Bataev, D. K-S., Murtazayev, S- A. Yu., Salamanova, M. Sh. and Viskhanov, S. S. 'Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders'. *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1, pp. 457-460.
 11. Rakhimov, M. M., Khabibullina, N. R. and Rakhimov, R. Z. (2016) 'Mekhanizm otverzhdeniya boratnykh solevykh rastvorov shlakoshchelochnymi vyazhushchimi' *Tsement i ego primenenie*. [The mechanism of curing of borate salt solutions with slag-alkaline binders. Cement and its application]. № 3, pp. 96-99.
 12. Usherov-Marshak, A. V., Pershina, L. A. and Tsiak, M. (2002) 'Sovmestimost' tsementov s khimicheskimi i mineral'nymi dobavkami'. Ch. 1. *Tsement*. [Compatibility of cements with chemical and mineral additives. Part 1. Cement], № 6, pp. 6-9.
 13. Dombrowski, K., Buchwald, A. and Weil (2007) 'The Influence of Calcium Content on the Structure and Thermal Performance of Fly Ash Based Geopolymers'. *Journal of Materials Science*. Vol. 42, № 9, pp. 3033-3043.
 14. Pawlasova, S. and Skvara, F. (2008) High-Temperature Properties of Geopolymer Materials. Alkali Activated Materials, pp. 523-525.
 15. Khater, H. M. (2015) Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT. *Advances in Nano Research*. Vol. 3, № 4, p. 225-242.
 16. Khater, H. M., El Nagar, A. M. and Ezzat, M. (2016) 'Optimization of Alkali Activated Grog/ Ceramic Wastes Geopolymer Bricks' *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. Vol. 5, Issue 1, pp. 37-46.
 17. Nagajothi, S. and Elavenil, S. (2016) strength assessment of geopolymer concrete using M-sand *Int.J. Chem. Sci.* № 14 (S1), pp. 115-126.
 18. Salamanova, M. Sh., Nakhaev, M. R. and Ismailova, Z. Kh. (2020) 'Zakonomernosti protekaniya protsessov formirovaniya struktury i prochnosti besklinkernogo vyazhushchego shchelochnoi aktivatsii' *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal «Stroitel'nye materialy i izdeliya»* [Patterns of the processes of formation of the structure and strength of a clinker-free binder of alkaline activation. International Scientific Research Journal "Building Materials and Products"]. V. 3, № 1, pp. 21-29.
 19. Nesvetaev, G., Koryanova, Y. and Zhilnikova, T. (2018) 'On effect of superplasticizers and mineral additives on shrinkage of hardened cement paste and concrete' *In proceedings: MATEC Web of Conferences 27. Ser. "27th R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFoCE 2018"*, p. 04018.

ШЛАКОЩЕЛОЧНЫЕ БЕТОНЫ С РЕЗИНОВОЙ КРОШКОЙ ИЗ ИЗНОШЕННЫХ АВТОШИН ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

© О. М. Смирнова¹, Л. Ф. Казанская²

¹СПбГУ, Санкт Петербург, Россия

²ПГУПС Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия

Разработаны новые композиты гидратационного твердения и технология переработки вторичных ресурсов при использовании фракционированной резиновой крошки из изношенных автошин с установленной фракцией. Проанализированы требования к изделиям и конструкциям, применяемым в дорожном строительстве. Использование фракционированной, резиновой крошки позволяет изменять пористость композита и за счет этого повышать звукопоглощающие свойства, ударную прочность. Получена диаграмма деформирования в осях «нагрузка-прогиб» для образцов с резиновой крошкой. Установлено, что при использовании резиновой крошки в составе шлакощелочного бетона изменяется характер разрушения, отсутствует хрупкое разрушение, возрастает удельная работа разрушения. Предел прочности при сжатии и изгибе снижается при использовании резиновой крошки. Однако увеличение удельной работы разрушения позволяет рассматривать разработанный композит для применения в деформируемых конструкциях.

Ключевые слова: шлакощелочные вяжущие, молотый гранулированный доменный шлак, звукопоглощение, ударная прочность, устойчивое развитие.

Вопросы охраны окружающей среды за счет разработки технологий использования вторичных ресурсов в транспортном строительстве приобретают особую актуальность, поскольку объемы использования цементных бетонов являются высокими [5, 6]. Цементные бетоны составляют значительную долю в общем объеме материалов, применяемых в транспортном строительстве, соответственно вовлечение вторичных ресурсов улучшит экологическую обстановку [1, 2, 4], а также позволит получить композиты с новыми или улучшенными свойствами [12-15].

В настоящее время исследования направлены на получение бесклнкерных цементов на основе побочных продуктов промышленности, в том числе шлакощелочных вяжущих [7, 8-11]. Продукты гидратации этих вяжущих отличаются химическим и минералогическим составом от продуктов гидратации портландцемента, а также структурой камня на микро- и наноуровне и, соответственно, свойствами [16-20]. Экспериментально и теоретически

доказано значительное повышение морозостойкости шлакощелочного бетона за счет снижения капиллярной пористости [17]. Имеется опыт применения шлакощелочных цементов на основе гранулированных доменных шлаков в транспортном строительстве в сложных условиях эксплуатации, например, в подрельсовых конструкциях, а также в напольных конструкциях животноводческих ферм [11, 17]. Это позволяет изучить использование шлакощелочных цементов в составах композитов с резиновой крошкой из изношенных автошин.

Общеизвестно, что использование резиновой крошки в составах цементных композитов приводит к снижению прочности на сжатие и прочности на растяжение при изгибе. Отсюда, применение резиновой крошки возможно в строительных изделиях, для которых эти характеристики важны, но не являются первостепенными. В связи с этим авторами проанализированы требования к изделиям и конструкциям, применяемым в дорожном строительстве. Согласно ГОСТ 33127 «Автомобильные доро-

Таблица 1

Химический состав шлака

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	FeO	S	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O
41,0	7,5	43,0	6,3	0,1	0,3	0,2	0,2	0,5	0,9

ги общего пользования. Ограждения дорожные. Классификация» боковые удерживающие ограждения подразделяют на два подкласса: недеформируемые (часть энергии удара гасится за счет подъема транспортного средства, уменьшающего опрокидывающий момент) и деформируемые (часть энергии удара гасится за счет деформации материала в конструкции и трения в конструкции). По принципу работы боковые удерживающие ограждения подразделяют на несколько типов, один из которых – боковые барьерные ограждения. В таких ограждениях энергия удара гасится за счет преимущественно изгибной деформации материала конструкций.

Целью работы является изучение влияния резиновой крошки на ударную прочность, звукопоглощение и предел прочности при сжатии и изгибе шлакощелочного бетона.

При проведении исследований использован гранулированный доменный шлак Череповецкого металлургического завода по ГОСТ 3476 «Шлаки доменный и электротермофосфорный гранулированные для производства цементов» с химическим составом, представленным в таблице 1.

Жидкое стекло (производитель ООО «Тиккурила СПб») с плотностью 1,3 г/см³ и силикатным модулем $n=1,5$. Гидроксид натрия соответствовал ГОСТ 4328-77. Тонкоизмельченная резиновая крошка с размером частиц менее 0,315 мм из отработавших автошин соответствовала ТУ 2519-001-09691885-2016 «Крошка резиновая».

Для определения ударной прочности были изготовлены образцы-цилиндры с диаметром 2,5 см и высотой 2,5 см. Образцы изготавливали из теста нормальной густоты в соответствии с требованиями ГОСТ 310.3-76. Ударная прочность определялась с использованием копра для испытания цилиндрических образцов на удар. Для определения прочностных

характеристик образцы-призмы с размером 40×40×160 мм были изготовлены из раствора с соотношением вяжущего к песку, равным 1:3. Мелкий заполнитель имел модуль крупности 1,9.

Для определения звукопоглощения авторами был разработан стенд. Стенд представляет звуконепропускаемую коробку, внутри которой располагается прибор для измерения интенсивности звука (шумомер «Testo 816»), а в одной из стенок находится специальное окно, которое перекрывается испытываемым образцом. Через этот образец проходит звук от источника с постоянной громкостью и частотой. Источник звука располагался на постоянном расстоянии от образца. Схема стенда представлена на рисунке 1.

Специальный стенд изготовлен из пенопласта с толщиной листов 100 мм и представляет звукоизолирующую коробку в сборе. Элементы коробки были соединены и загерметизированы при помощи клея OLIVASTRONG «Акрилит-47». Коробка стояла для набора прочности 2 недели. Так как ключевым параметром этого эксперимента является звук (шум), то для чистоты эксперимента внутрь звукоизолирующей коробки помещался прибор – шумомер, фотография которого представлена на рисунке 2.

Шумомер непосредственно измерял интенсивность звука, прошедшего через образец, расположенный в специальном окне. После каждого замера показания шумомера заносились в таблицу, после чего измерения повторялись, по 10 замеров на каждый образец.

В ходе проведения эксперимента были получены три серии результатов, каждая из которых относилась к образцу с определённым составом:

– первая серия результатов относилась к контрольному образцу, в состав которого не вводилась резиновая крошка (образец № 1);

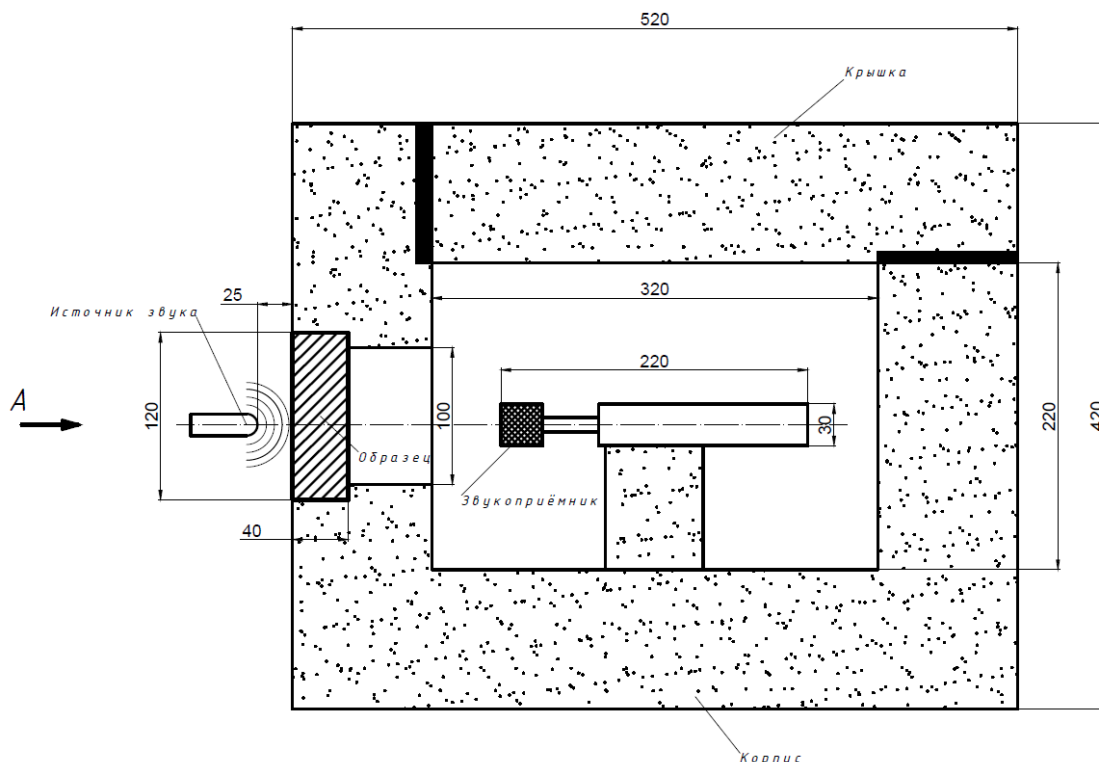


Рис. 1. Схема стенда для испытания образцов на звукопоглощение

– вторая серия результатов относилась к образцу с небольшим содержанием резиновой крошки, частично замещающей мелкий заполнитель (песок) (образец №2);

– третья серия результатов относилась к образцу с наибольшим содержанием резиновой крошки, полностью замещающей мелкий заполнитель (песок) (образец №3).

Резиновая крошка с размером частиц менее 0,315 мм может быть использована в составе композита для повышения ударной прочности согласно результатам таблицы 2. Кроме фракционированной резиновой крошки микро- и нанопористость цементирующей матрицы можно регулировать за счет применения минеральных добавок с развитой системой микро- и нанопор. Такими добавками могут служить термообработанная шелуха риса, молотые обожженные шунгитовые породы, молотый керамический кирпич, гранулированное пеностекло фракции от 100 до 800 мкм и др. Эти добавки выполняют роль демпфирующих компонентов в цементном композите за счет наличия сферических микро- и нанопор, которые способствуют распределению напряже-

ний в матрице и, соответственно, повышению ударной прочности материала [3].

Одной из технологий, где может найти применение разработанный композит, является производство блоков ограждений для авто-



Рис. 2. Испытательный стенд, вид изнутри

Таблица 2

Составы вяжущих и свойства камня

Состав	Компоненты	Состав масс. %	Нормальная густота, %	Средняя плотность, г/см ³	Ударная прочность, кг/см ²
1	Гранулированный доменный шлак Жидкое стекло Гидроксид натрия	86,30 9,40 4,30	25,1	2,214	5,64
2	Гранулированный доменный шлак Термообработанная шелуха риса Резиновая крошка Жидкое стекло Гидроксид натрия	78,50 4,50 4,30 8,90 3,80	25,9	1,756	7,21

Таблица 3

Свойства бетона на основе бесклинкерных вяжущих

№ состава	Сроки схватывания		В/В	Прочность в 28-суточном возрасте, МПа		Удельная работа разрушения, Дж/м ³
	начало, час	конец, час		изгиб	сжатие	
1	0-20	1-00	0,45	5,2	38,2	0
2	0-50	2-10	0,45	4,4	31,1	11065

дорог, поскольку для таких конструкций требуется повышенная ударная прочность и звукопоглощение.

Следующие исследования были проведены для получения данных об изменении деформационных свойств бетонов. Были по-

лучены диаграммы деформирования в осях «нагрузка-прогиб» (рис. 3). Работа разрушения подсчитывалась как площадь фигуры под кривой «нагрузка-прогиб».

Способность образцов к звукопоглощению определялась по снижению уровня шума.

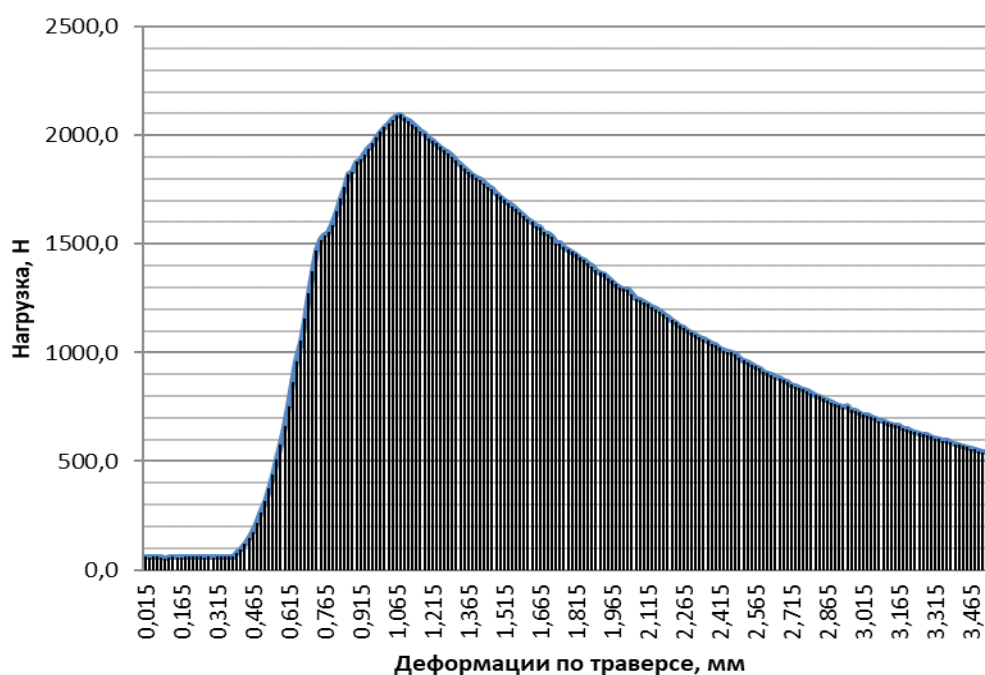


Рис. 3. Кривая деформирования образца состава №2 с резиновой крошкой

Результаты лабораторных измерений показателей шумомера

Испытания	Образец			В чистой среде
	№1	№2	№3	
	дБ			дБ
1	78,5	63,4	62,6	84,2
2	76,2	63,6	62,4	
3	67,8	65,3	62,9	
4	68,3	66,1	60,8	
5	68,5	66,4	61,5	
6	67,8	62,2	63,0	
7	70,0	62,4	60,9	
8	66,3	63,4	58,2	
9	69,3	64,0	57,3	
10	68,7	62,9	60,7	
Среднее арифметическое значение	70,4	63,9	61,0	84,2

Результаты исследования представлены в таблице 4.

Разброс значений по снижению уровня шума в серии испытаний одного образца вызван неоднородностями в структуре материала. При анализе усредненных значений можно наблюдать снижение уровня шума с увеличением расхода крошки.

Таким образом, в работе определены прочностные и деформационные свойства при сжатии и растяжении при изгибе для шлакощелочных композитов с резиновой крошкой из изношенных автошин в сравнении с составом без крошки. Использование фракционирован-

ной резиновой крошки позволяет изменять пористость композита и за счет этого повышать звукопоглощающие свойства, ударную прочность. Установлено, что прочность на сжатие снизилась на 19%, прочность на растяжение при изгибе снизилась на 15% в образцах с крошкой, при этом увеличивается удельная работа разрушения, ударная прочность, звукопоглощение. Таким образом, композиты гидратационного твердения с резиновой крошкой можно рассматривать для изготовления строительных конструкций и изделий дорожного строительства, для которых требуется повышенная деформационная способность.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bazhenov Y.* The use of finely ground slag in portland cement with mineral additives / *Y. Bazhenov, I. Kozlova, K. Nechaev [and etc.]* // E3S Web of Conferences. 2019. Т. 91. С. 02044.
2. *Kazanskaya L.F.* Supersulfated cement applied to produce lightweight concrete / *Kazanskaya L.F., Smirnova O.M., Palomo Á.И. [and etc.]* // Materials. 2021. Т. 14. №2. С. 1-14.
3. *Kharitonov A., Korobkova M., Smirnova O.* The influence of low-hard dispersed additives on impact strength of concrete // *Procedia Engineering*. 2015. Т. 108. С. 239-244.
4. *Rakhimova N. R., Rakhimov R. Z.* Toward clean cement technologies: A review on alkali-activated fly-ash cements incorporated with supplementary materials // *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2019. Т. 509. С. 31-41.

5. *Shcherban E. M.* Nanomodification of Lightweight Fiber Reinforced Concrete with Micro Silica and Its Influence on the Constructive Quality Coefficient / *E. M. Shcherban, S. A. Stelmakh, A. Beskopylny [and etc.]*. // *Materials*. 2021. Т. 14. №23. С. 7347.
6. *Stelmakh S. A.* Development of High-Tech Self-Compacting Concrete Mixtures Based on Nano-Modifiers of Various Types / *Stelmakh S. A., Shcherban E. M., Beskopylnyi A. N. [and etc.]*. *Materials*. 2022. Т. 15. №8. С. 2739.
7. *Амелин С. В.* Переводные брусья из преднапряженного шлакощелочного бетона / *С. В. Амелин, П. Г. Комохов, Т. М. Петрова, В. М. Ермаков* // *Путь и путевое хозяйство*. 1991. №5. С. 12-14.
8. *Ахметов Д. А.* Влияние мелкодисперсных наполнителей из техногенных отходов и низко-модульного фиброволокна на удобоукладываемость самоуплотняющихся бетонов / *Ахметов Д. А., Пухаренко Ю. В., Роот Е. Н., Ахажанов С. Б.* // *Вестник гражданских инженеров*. 2021. №5 (88). С. 102-108.
9. *Зайцева Л. Р.* Влияние вида заполнителя из отходов производств на коррозионную стойкость бетона / *Л. Р. Зайцева, Е. В. Луцък, Т. В. Латыпова, В. М. Латыпов и др.* // *Строительные материалы*. 2021. №11. С. 23-29.
10. *Иващенко Ю. Г.* Структурообразование строительных композиционных материалов на основе местного сырья модифицированных добавками полифункционального назначения / *Ю. Г. Иващенко, Р. Т. Мамешов, Р. Н. Эминов, Ш. М. Магомедов* // *Техническое регулирование в транспортном строительстве*. 2019. №6 (39). С. 306-311.
11. *Казанская Л. Ф., Смирнова О. М.* Вяжущие щелочной активации: стремление к альтернативе портландцементу // *Цемент и его применение*. 2015. №2. С. 137-140.
12. *Королев Е. В.* Перспективы развития строительного материаловедения // *Academia. Архитектура и строительство*. 2020. №3. С. 143-159.
13. *Харченко А. И.* Применение шлакощелочных вяжущих в технологии струйной цементации для усиления грунтов / *А. И. Харченко, В. А. Алексеев, И. Я. Харченко, А. А. Алексеев* // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. №6 (129). С. 680-689.
14. *Лесовик В. С.* Повышение эксплуатационных характеристик защитных композитов / *Лесовик В. С., Федюк Р. С., Гридчин А. М., Мурали. Г.* // *Строительные материалы*. 2021. №9. С. 32-40.
15. *Федюк Р. С.* Повышение ударной вязкости фиброзолобетона / *Р. С. Федюк, Ю. Л. Лисейцев, А. В. Таскин и др.* // *Строительные материалы и изделия*. 2020. Т. 3. №6. С. 5-16.
16. Пат. 2556563 Российская Федерация, МПК В02С 19/16 (2006.01), В02С 17/00 (2006.01). Вяжущее / *Т. М. Петрова, О. М. Смирнова*; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Государственный университет путей сообщения Императора Александра. №2014129156/03; заявл. 15.07.2014; опубл. 21.12.2015. 6 с.
17. *Петрова Т. М.* Взаимосвязь структуры и долговечности шлакощелочных бетонов на основе доменных и сталеплавильных шлаков // *Вестник гражданских инженеров*. 2012. №4 (33). С. 167-173.
18. *Рахимова Н. Р., Рахимов Р. З.* Влияние содержания добавок термоактивированной глины на свойства и состав продуктов твердения композиционного шлакощелочного вяжущего с низким содержанием щелочного активатора // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2021. №2 (56). С. 50-59.
19. *Рахимова Н. Р.* Активированные щелочами цементы с добавкой мергеля / *Н. Р. Рахимова, Р. З. Рахимов, А. Р. Бикмухаметов, Л. И. Потапова* // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2019. №4 (724). С. 5-19.
20. *Федюк Р. С.* Свойства композиционных вяжущих на основе техногенных отходов Дальнего Востока // *Вестник гражданских инженеров*. 2016. №2 (55). С. 132-136.

ALRFLI-ACTIVATED SLAG CONCRETE WITH RUBBER CRAMB FROM TIRES FOR TRANSPORT CONSTRACTION

© O. M. Smirnova¹, L. F. Kazanskaya²

¹*Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia,*

²*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg, Russia,*

New hydration hardening composites and technology for recycling secondary resources using fractionated rubber chips from worn tires with a fixed fraction have been developed. The requirements for products and structures used in road construction are analyzed. The use of fractionated rubber chips makes possible to change the porosity of the composite and thereby increase the sound-absorbing properties, impact strength. It is stated that by changing the type and consumption of the binder, as well as the consumption of rubber crumbs, it is possible to change the properties of the composite in a wide range: compressive and tensile strength, impact strength, sound absorption coefficient. In addition to fractionated rubber crumbs, the micro- and nanoporosity of the cementing matrix can be regulated by the use of mineral additives with a developed system of micro- and nanopores. The presented results contribute to the development of an ecological approach to making design decisions in construction.

Keywords: alkali-activated slag binder, ground granulated blast furnace slag, sound absorption, impact strength, sustainable development.

REFERENCES

1. Bazhenov, Y., Kozlova, I., Nechaev, K. and Kryuchkova, A. (2019) 'The use of finely ground slag in portland cement with mineral additives' [*E3S Web of Conferences*]. №91, p. 02044.
2. Kazanskaya, L. F., Smirnova O.M. and Palomo Á. [and etc.] (2021). 'Supersulfated cement applied to produce lightweight concrete'. *Materials*. Vol. 14. №2. Pp. 1-14.
3. Kharitonov, A., Korobkova, M. and Smirnova, O. (2015). The influence of low-hard dispersed additives on impact strength of concrete. *Procedia Engineering*. Vol. 108, pp. 239-244.
4. Rakhimova, N. R. and Rakhimov, R. Z. (2019) 'Toward clean cement technologies: A review on alkali-activated fly-ash cements incorporated with supplementary materials'. *Journal of Non-Crystalline Solids*. Vol. 509, pp. 31-41.
5. Shcherban, E. M., Stel'makh, S. A. and Beskopylny, A. N. [and etc.] (2021) 'Nanomodification of Lightweight Fiber Reinforced Concrete with Micro Silica and Its Influence on the Constructive Quality Coefficient'. *Materials*. Vol. 14, №23 pp. 7347.
6. Stelmakh, S. A., Shcherban, E. M. and Beskopylny, A. N. [and etc.] (2022) 'Development of High-Tech Self-Compacting Concrete Mixtures Based on Nano-Modifiers of Various Types'. *Materials*. Vol. 15. №8. C. 2739.
7. Amelin, S. V., Komohov, P. G., Petrova, T. M. and Ermakov, V. M. (1991) 'Perevodnye brusja iz prednaprjazhennogo shlakoschelochnogo betona'. *Put' i putevoe hozjajstvo* [Transfer bars made of prestressed slag-alkaline concrete. Path and track facilities]. №5, pp. 12-14.
8. Ahmetov, D. A., Puharenko, Ju. V., Root, E. N. and Ahazhanov, S. B. (2021) 'Vlijanie melkodispersnyh napolnitelej iz tehnogennyh othodov i nizkomodul'nogo fibrovolokna na udoboukladyvaemost' samouplotnjajuschihja betonov'. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov* [The effect of fine fillers from man-made waste and low-modulus fiber fiber on the workability of self-compacting concrete. Bulletin of Civil Engineers]. №5 (88), pp. 102-108.
9. Zajtseva, L. R., Lutsyk, E. V., Latypova, T. V. [i dr.] (2021) 'Vlijanie vida zapolnitelja iz othodov proizvodstv na korrozionnuju stojkost' betona'. *Stroitel'nye materialy*. [The influence of the type of filler from industrial waste on the corrosion resistance of concrete. Building materials]. №11, pp. 23-29.

10. Ivaschenko, Ju. G., Mameshov, R. T., Eminov, R. N. and Magomedov, Sh. M. (2019) 'Strukturoobrazovanie stroitel'nyh kompozitsionnyh materialov na osnove mestnogo syr'ja modifitsirovannyh dobavkami polifunktsional'nogo naznachenija'. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve* [Structuring of building composite materials based on local raw materials modified with additives of multifunctional purpose. Technical regulation in transport construction]. №6 (39), pp. 306-311.
11. Kazanskaja, L. F. and Smirnova, O. M. (2015). 'Vjazhuschie schelochnoj aktivatsii: stremlenie k al'ternativno portlandtsementu'. *Tsement i ego primenenie* [Alkaline activation binders: striving for an alternative to Portland cement. Cement and its application]. №2, pp. 137-140.
12. Korolev, E. V. (2020) 'Perspektivy razvitiya stroitel'nogo materialovedenija'. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*. [Prospects for the development of construction materials science. Academia. Architecture and construction]. №3, pp. 143-159.
13. Harchenko, A. I., Alekseev, V. A., Harchenko, I. Ja. and Alekseev, A. A. (2019). 'Primenenie shlakoschelochnyh vjazhuschih v tehnologii strujnoj tsementatsii dlja usilenija gruntov'. *Vestnik MGSU*. [The use of slag – alkaline binders in jet cementation technology to strengthen soils. Bulletin of MGSU]. Vol. 14. №6 (129), pp. 680-689.
14. Lesovik, V.S. Fedjuk, R. S., Gridchin, A. M. and Murali, G. (2021). 'Povyshenie `ekspluatatsionnyh harakteristik zaschitnyh kompozitov'. *Stroitel'nye materialy*. [Improving the performance of protective composites. Building materials]. №9, pp. 32-40.
15. Fedjuk, R. S., Lisejtsev, Ju. L., Taskin, A. V. [i dr.] (2020) 'Povyshenie udarnoj vjazkosti fibrozolobetona'. *Stroitel'nye materialy i izdelija*. [Increasing the impact strength of fibroconcrete. Building materials and products]. Vol. 3. №6, pp. 5-16.
16. Petrova, T. M. and Smirnova, O.M. Zajavitel' i patentoobladatel' Federal'noe Gosudarstvennoe Bjudzhetnoe Obrazovatel'noe Uchrezhdenie Vysshogo Professional'nogo Obrazovanija Gosudarstvennyj Universitet Putej Soobschenija Imperatora Aleksandra (2006.01). *Vjazhuschee [Binder]*, Rossijskaja Federatsija, MPK B02C 19/16 (2006.01), B02C 17/00., application 15.07.2014, No. 2014129156/03, Pat. 2556563, publ. 21.12.2015., 6 p.
17. Petrova, T. M. (2012) 'Vzaimosvjaz' struktury i dolgovechnosti shlakoschelochnyh betonov na osnove domennyh i staleplavil'nyh shlakov'. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*. [The relationship between the structure and durability of slag-alkaline concretes based on blast furnace and steelmaking slags. Bulletin of Civil Engineers]. №4 (33), pp. 167-173.
18. Rahimova, N. R. and Rahimov, R. Z. (2021) 'Vlijanie sodержanija dobavok termoaktivirovannoj gliny na svojstva i sostav produktov tverdenija kompozitsionnogo shlakoschelochnogo vjazhuschego s nizkim sodержaniem schelochnogo aktivatora'. *Izvestija Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. [The effect of the content of additives of thermally activated clay on the properties and composition of the hardening products of a composite slag-alkaline binder with a low content of alkaline activator. Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering]. №2 (56), pp. 50-59.
19. Rahimova, N. R., Rahimov R. Z., Bikmuhametov A. R. and Potapova L. I. (2019) 'Aktivirovannye schelochami tsementy s dobavkoj mergelja'. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*. [Alkali-activated cements with the addition of marl. News of higher educational institutions. Construction]. №4 (724), pp. 5-19.
20. Fedjuk, R. S. (2016) 'Svojstva kompozitsionnyh vjazhuschih na osnove tehnogennyh othodov Dal'nego Vostoka'. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*. [Properties of composite binders based on technogenic wastes of the Far East. Bulletin of Civil Engineers.]. №2 (55), pp. 132-136.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ БАЛЛАСТНОГО ТИПА ДЛЯ БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

© Л. А. Токарева¹, Ю. М. Стрелков², Л. С. Сабитов³, Р. Д. Хусаинов⁴

^{1,3}КФУ, Казань, Россия

^{1,2,3,4}КГЭУ, Казань, Россия

Башенные конструкции в настоящее время получили широкое применение в качестве конструкций рекламного, коммуникационного и энергетического назначения. В связи с этим встает вопрос об определении и выборе конструкции с наилучшей несущей способностью, которая при этом будет обладать параметрами, актуальными для потребителя, – эстетические свойства, простота монтажа в сопоставлении с традиционными подходами к конструированию. Также одним из важнейших вопросов является ограничение на места установки башенных конструкций ввиду запрета их расположения в зонах массового нахождения людей, в местах расположения коммуникаций. Необходимость установки башенных конструкций в условиях указанных ограничений привела к возникновению новых конструктивных решений фундаментов, а именно – фундаменты балластного типа, устанавливаемые на поверхность земли без ограничений на установленное время. В данной статье приведен анализ существующих фундаментов балластного типа, предназначенных для сооружений башенного типа.

Ключевые слова: балластный фундамент, оптимизация, стоечные системы, конструкция, модульность.

Введение

Фундамент балластного типа для башенных сооружений является основным конструктивным элементом, который воспринимает все нагрузки от вышележащих конструкций и распределяет их по основанию. Также сборно-разборные фундаменты позволяют быстро и эффективно устанавливать башенные конструкции в сложных условиях городской застройки на специфических грунтовых условиях, когда разработка оснований грунтов под опору невозможна. Себестоимость его изготовления в структуре общей стоимости башенных сооружений достигает более 50%. В соответствии с этим поиск оптимального конструктивного решения фундамента для башенных сооружений является актуальной задачей в настоящее время [3, 4].

Методика

Особенностью современных тенденций во вводимых новых стандартах, касающихся башенных конструкций, являются [1, 3]:

1. Повышенные требования к демонтажу башенных конструкций, включая их фундаменты.
2. Снижение материалоемкости за счёт образования полости в каждом модуле и заполнения её грунтом.
3. Распределение массы фундамента в плане в соответствии с действием максимальных усилий.

Основная часть

Рассмотрим характерные конструктивные решения строительных конструкций с фундаментами балластного типа с указанием недостатков и преимуществ.

Первым вариантом является фундамент из монолитного железобетона, обладающий существенными размерами геометрических и весовых параметров, изготавливающийся на месте монтажа конструкции (рис. 1).

Среди недостатков данного вида фундамента выделяют невозможность его транспортирования ввиду значительной массы;



Рис. 1. Типовой фундамент балластного типа

сложность демонтажа; отсутствие требуемых эстетических свойств из-за невозможности изготовления в заводских условиях.

Вариант фундамента компании ООО «Сотка высоток» (рис. 2.) выполнен в виде монолитного железобетонного блока с анкерными болтами для крепления опорной стойки.

К основным достоинствам данного типа фундамента относятся:

- возможность транспортирования из-за незначительных весовых размеров;
- возможность изготовления в заводских условиях;
- простота демонтажа.

Среди недостатков можно выделить:

- ограничения по весу для транспортировки не позволяют использовать его для установки оборудования с большой ветровой площадью;

– недостаточные эстетические свойства. Как правило, нижняя часть закрывается обшивкой.

Третий вариант – это сборно-разборный балластный фундамент системы «Cell block», состоящий из однотипных железобетонных блоков, соединяемых в единую конструкцию с помощью винтовых стальных затяжек (рис. 3).

Основные достоинства системы:

- удобство монтажа и демонтажа;

- возможность использования под стоечно-балочные системы с различными размерами и габаритами и устанавливаемым оборудованием;

- достаточные эстетические качества вследствие изготовления.

Необходимость использования сложного технологического оборудования при монтаже конструкции фундамента является недостатком системы.

Проведенный анализ позволяет определить следующие оптимальные требования к фундаменту балластного типа:

1. Фундамент должен быть сборно-разборным, изготавливаемым в заводских условиях с достаточными эстетическими внешними качествами;

2. Монтаж фундамента должен быть возможен без применения сложного технологического оборудования;

3. Необходима современная инженерная методика подбора параметров фундамента под различное инженерное оборудование, навешиваемое на опорную стойку, позволяющая обеспечивать высокие технико-экономические показатели по расходу материалов и необходимый уровень ее надежности;

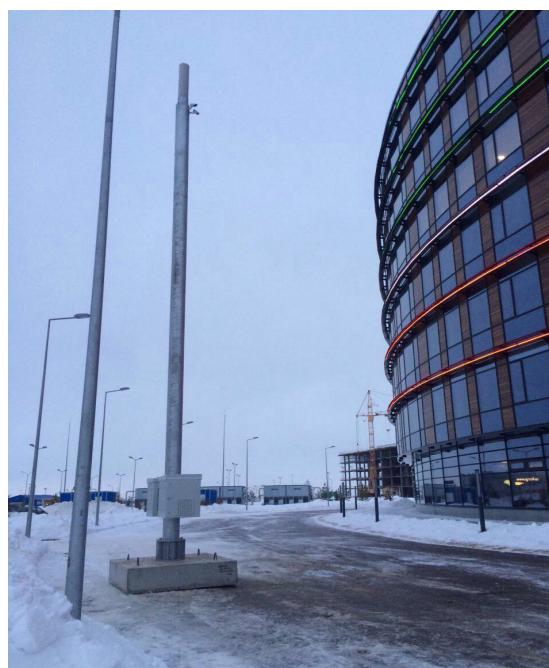


Рис. 2. Стоечно-балочная система компании ООО «Сотка высоток»



Рис. 3. Система сборно-разборного фундамента системы «Cell block».

4. Размеры фундаментов должны обеспечивать их применение для башенных конструкций, воспринимающих значительные ветровые нагрузки;

5. Для опор воздушных линий электропередач актуальным является конструктивное решение фундаментов опор, позволяющее быстро возводить новые опоры в труднодоступных местах, в сложных климатических условиях для ликвидации последствий аварий в виде падения опор отдельных участков воздушных линий электропередач.

Всем вышеперечисленным критериям отвечают сборно-разборные фундаменты балластного типа, которые позволяют быстро и эффективно установить высотные конструкции в сложных условиях городской застройки или специфических грунтовых условиях, в сложных климатических условиях, когда раз-

работка оснований грунтов под опоры невозможна.

Ниже представлены несколько вариантов сборно-разборных фундаментов, которые соответствуют представленным требованиям. Сборно-разборные элементы предлагаемых систем фундаментов собираются из типовых блоков до размеров, обеспечивающих несущую способность опор для различных ветровых районов и стоек различной высоты.

Потребителями «продукта» являются электросетевые компании, строительные, инновационные компании малой энергетики, рекламное производство, компании, обслуживающие городские электросети и освещение, департаменты внешнего благоустройства и предприятия дорожно-транспортной отрасли.

Сборно-разборный фундамент под опору реализуется следующим образом: железобе-

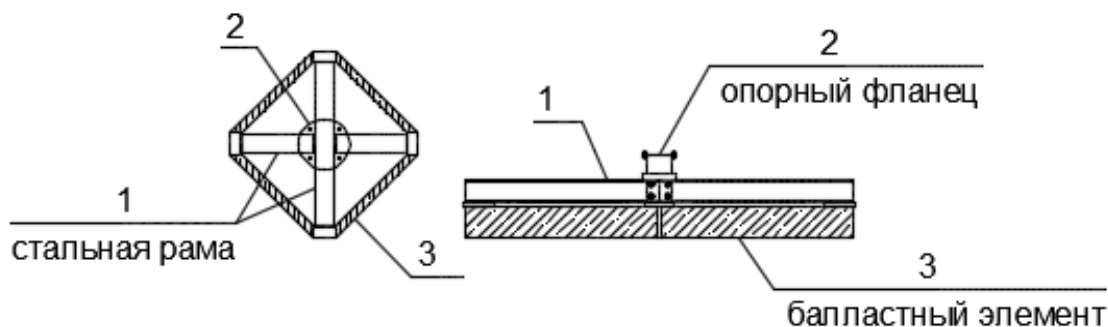


Рис. 4. Крестовая рамная сборка конструкций

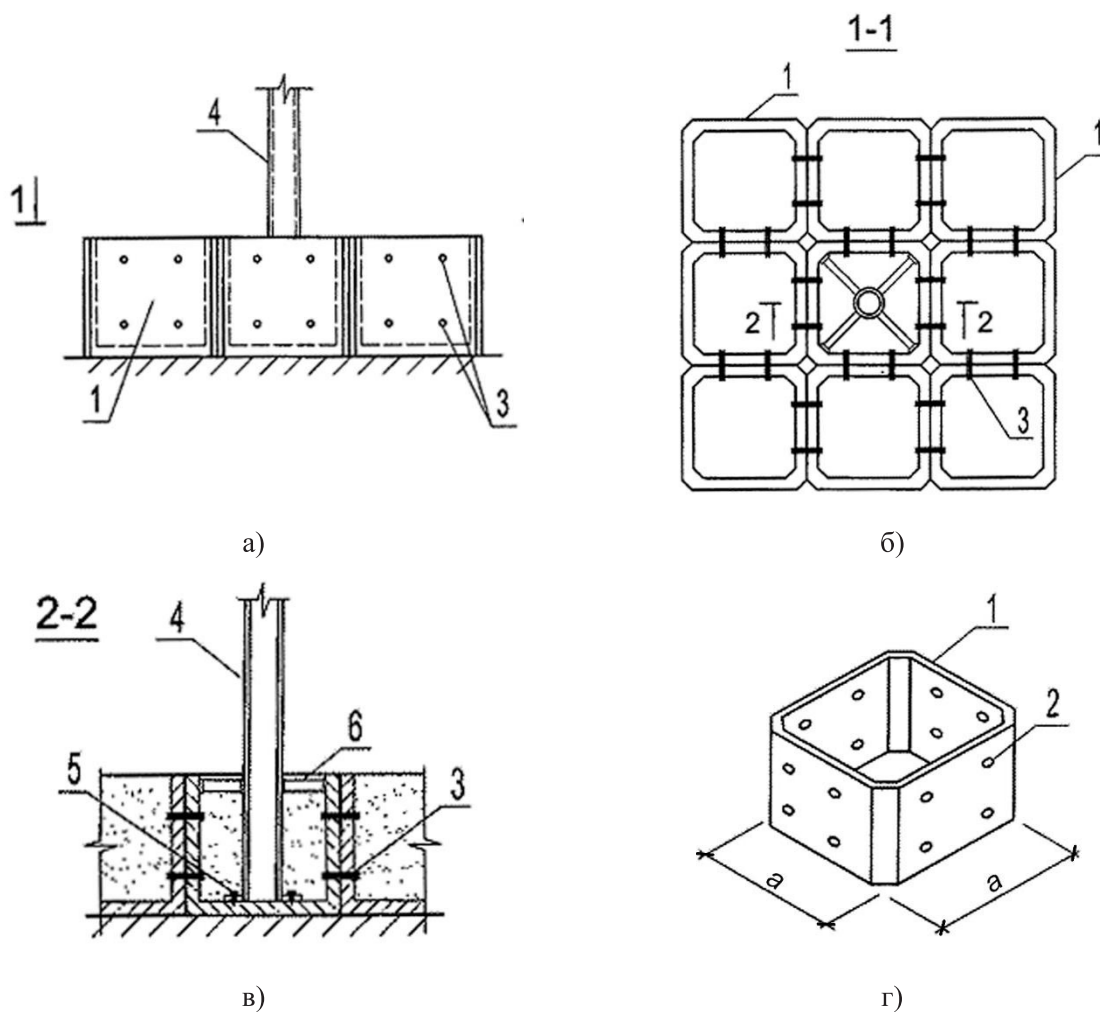


Рис. 5. Сборно-разборный фундамент под опору: а – общий вид; б – вид сверху, разрез 1-1; в – разрез 2-2; г – аксонометрия железобетонного блока в виде полой квадратной призмы с размерами дна «а».

тонные блоки в виде полых квадратных призм 1 устанавливаются на основание и стягиваются между собой болтами 3, устанавливаемые в отверстия 2 в стенках призм. Опора 4 устанавливается на днище центральной призмы и закрепляется анкерными болтами 5, а на уровне верха призмы распорками 6. Для повышения несущей способности фундамента на опрокидывание полость призм заполняется сыпучим инертным материалом, например щебнем. Демонтаж фундамента происходит в обратной последовательности: сначала из полостей призм убирается щебень 7, затем освобождаются распорки 6 и анкерные болты 5 опоры. После демонтажа опоры 4 освобождаются болты 3, стягивающие стенки призм [1, 5, 8].

Сборно-разборный фундамент позволяет уменьшить его массу при транспортировании и монтаже, а также снизить расход материалов и трудоемкость на крепление железобетонных блоков-призм и опоры. Главным преимуществом предлагаемого сборно-разборного фундамента является быстрота его возведения без проведения земляных работ и возможность более легкого демонтажа по сравнению с используемыми типами фундаментов. Данная особенность делает привлекательным использование данных фундаментов в стесненных (городских) условиях, в условиях ограничений на использование земляных работ, для быстрой ликвидации аварий участков ВЛ с необходимостью установки новых опор вместо раз-

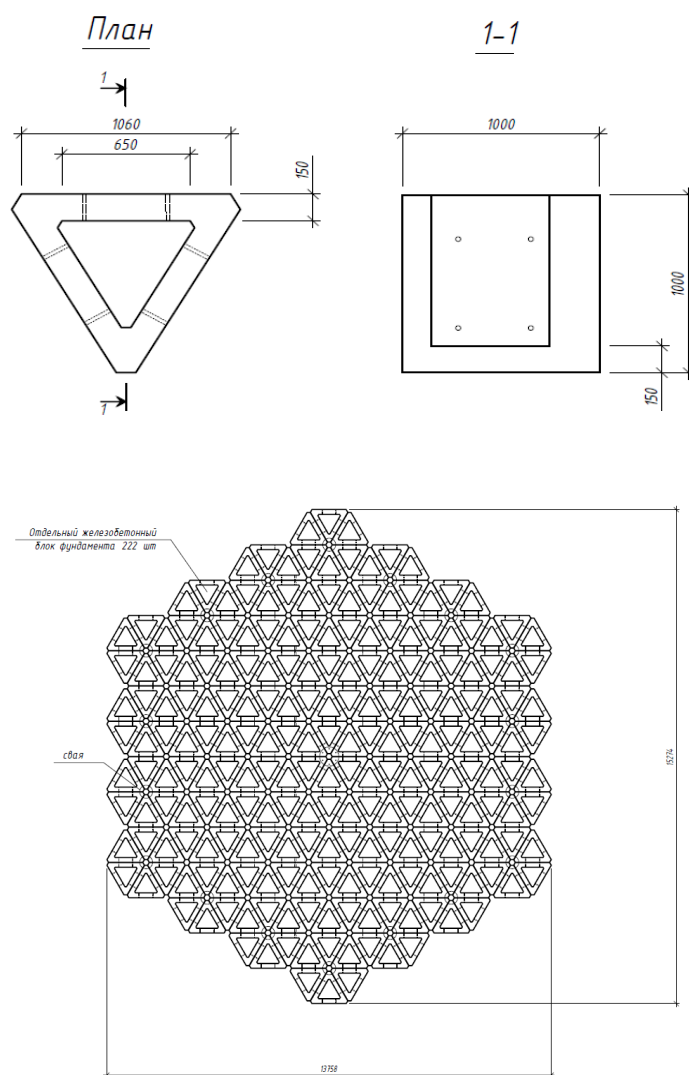


Рис. 6. План, разрез и армирование модулей фундамента для башенного сооружения

рушенных, для установки опор в удаленных и труднодоступных местах [1].

На рис. 5 а показан общий вид сборно-разборного фундамента. На фиг. 1 показан отдельный железобетонный блок в виде полого элемента с квадратным днищем и стенками кругового очертания. На фиг. 3 рис. 5 изображен поперечный разрез 1-1 на фиг. 2. На фиг. 4 рис. 5 показана опора на сборно-разборном фундаменте. На фиг. 5 рис. 5 показан общий вид анкера для опоры. Полости блоков заполнены инертным материалом 7.

На сборно-разборный фундамент в пределах блока кругового очертания 1 установлена опора 4. Для установки опоры на фундамент крепятся анкера 5 (фиг. 5 рис. 5), которые кре-

пятся болтами 6, соединяющими блоки кругового очертания 1 (фиг. 1,4 рис. 5). Сборно-разборный фундамент под опоры позволяет упростить крепление блоков, имеющих сечение кругового очертания, а также упростить крепление опор при помощи анкерных устройств.

Для повышения устойчивости фундамента на опрокидывание полости круговых блоков заполняются инертным материалом, например щебнем, песком и т. д.

Для оценки возможности применения конструктивных решений фундаментов на рис. 4 и 5 были выполнены численные исследования в виде их расчета на действие расчетных ветровых нагрузок, вызывающих появление расчетных моментов до 10 тм для рекламных

типовых конструкций и от 2 до 7,5 тм для опор линий ВЛ (высоковольтных линий) от 6 до 10 КВт. При расчетах варьировали величину засыпки в пазухи фундамента. При этом рассматривались варианты засыпки из местного грунта. Расчетное грунта под подошвой фундамента принималось соответствующим наиболее вероятному и неблагоприятному варианту в виде насыпного грунта. Так как планируется использовать данный тип фундамента по многогранные опоры ВЛ, требующие для их опирания и крепления трубы диаметром от 245 до 530 мм, были выбраны 2 варианта ячеек размером 0,6x0,6x0,6 м и 1x1x1 м.

Конструктивная схема сборно-железобетонного фундамента модульного типа состоит из полых призматических блоков, стянутых между собой болтами. Размеры сооружения в плане составляют 15,274 x 13,758 м, высота фундаментной плиты – 1 м, толщина стенок сборных блоков – 150 мм, толщина стенок сборных блоков – 150 мм [8, 9]. В центральных блоках присутствуют отверстия для крепления мачты к фундаменту, во всех блоках имеется 4 отверстия для стягивания отдельных блоков между собой болтами. В качестве материала конструкций использовать бетон класса В25, арматура А500, А240.

Нагрузки на фундамент передаются от мачты в центральную часть фундамента, которая жёстко закреплена с шестью сборными железобетонными блоками. На мачту действуют нагрузки от ветра, которые усилиями

передаются на основание мачты. Вертикальная нагрузка составляет 974 т, горизонтальное усилие, возникающее от действия ветра на всю длину мачты, равняется 48 т. На поверхность фундамента действует нагрузка от вышележащего грунта толщиной 1 м, на боковую поверхность фундамента действует давление грунта.

Расчет фундамента был произведен с использованием программного комплекса «Ли́ра», в котором реализован метод конечных элементов – как наиболее эффективный численный метод решения задач механики. Результатом моделирования стала пространственная несущая система фундамента (рис. 9). Фундаментная плита моделировалась в виде пластинчатых 3-хугольных элементов. Основание здания задано в системе «ЛИРА-ГРУНТ»; для того чтобы ограничить горизонтальные перемещения сооружения, использованы специальные одноузловые конечные элементы, моделирующие трение грунта.

По результатам расчёта максимальное значение вероятной осадки плитного фундамента, полученное в программном комплексе при основном сочетании расчетных нагрузок, составило:

$$S_{max} = 83,3 \text{ мм} < [S] = 200 \text{ мм}.$$

Таким образом, максимальное значение вероятных деформаций, полученных в программном комплексе, также не превышает значения предельных деформаций основания.

Дальнейшим этапом развития сборно-раз-

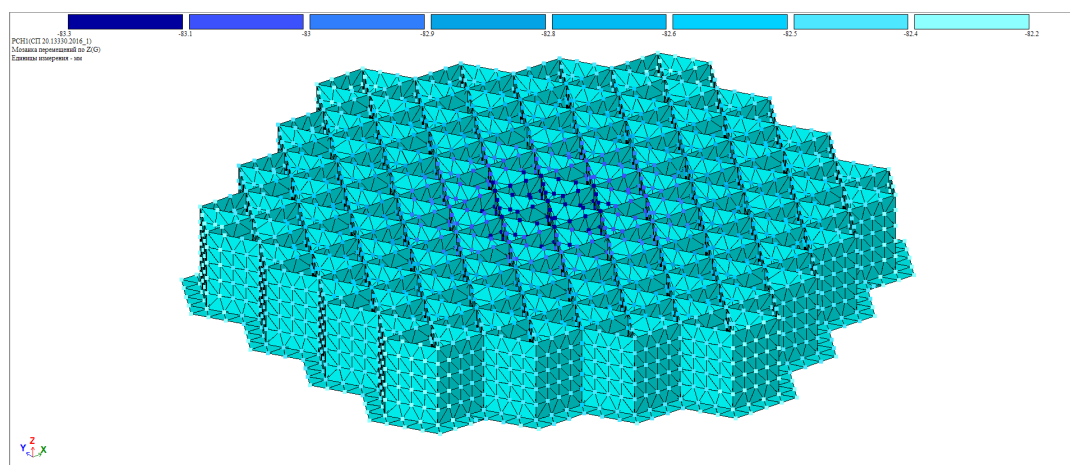


Рис. 7. Конечно-элементная схема расчётной модели фундамента из модульных элементов

борных фундаментов будет решение, состоящее в уменьшении числа болтов в креплении блоков, а также в упрощении крепления анкерных устройств к сборно-разборной опоре.

Выводы

По результатам проведенных численных исследований разработанных численных моделей сборно-разборных фундаментов можно сделать следующие выводы:

1. Рассмотренные в работе модели сборно-разборных балластных фундаментов из полых круглых призм позволяют их использовать в качестве фундаментов опорных конструкций при расчетных моментах в диапазоне от 1 до 7.5 тм. К этому классу конструкций можно отнести массу широко используемых конструкций, включающих в себя столбы освещения, информационные дорожные указатели, столбы линий электропередач высотой до 11 м мощностью до 10 кВт. При увеличении количества сборных элементов до 16 (4x4) возможно применение фундаментов данного типа для рекламных щитов.

2. Проведенные исследования влияния фактора плотности засыпки полостей сборно-разборных фундаментов показали существенное влияние фактора плотности засыпки фундаментов на их несущую способность. Для рассмотренных моделей увеличение плотно-

сти засыпки от неплотного грунта, крупного гравия (1000 кг/м^3) до уплотненного грунта (1600 кг/м^3) привело к увеличению величины расчетного момента, воспринимаемого фундаментом, в 2 раза.

3. При определении влияния расчетного сопротивления грунта под подошвой фундамента на величину расчетного момента, воспринимаемого фундаментом, выявили существенное влияние данного фактора. Изменение расчетного сопротивления грунта от 1 кг/см^2 (слабый насыпной грунт) до 3 кг/см^2 (грунт с хорошими средними по прочности характеристиками) приводило к увеличению расчетного момента, воспринимаемого фундаментом, в 1.5 раза. Данный фактор делает актуальным проведение специальных технологических мероприятий в виде уплотнения грунта в зоне установки сборно-разборного фундамента.

4. Приведено численное моделирование и конструктивные особенности изготовления и монтажа фундамента, реализованного по патенту 2633604 «Сборно-разборный фундамент под опоры» под реальную башню высотой 30 метров и мощностью ветроэлектрической установки 150 кВт. Результат состоит в том, чтобы повысить несущую способность фундамента на 20%, увеличить прочность, упростить монтаж конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хусаинов Д. М., Пеньковцев С. А., Хабибулина А. Г. Разработка фундаментов балластного типа для стоечных конструкций // Известия КГАСУ. 2017 №4. С. 204-213.
2. Стрелков Ю. М., Сабитов Л. С., Ключев С. В., Ключев А. В., Радайкин О. В., Токарева Л. А. Технологические особенности конструирования сборно-разборного фундамента под башенные сооружения // Строительные материалы и изделия. 2022. Том 5. №3. С. 17-26. DOI: 10.34031/2618-7183-2022-5-3-17-26
3. Машиян Л. Р., Языев С. Б., Сабитов Л. С., Коноплев Ю. Г., Радайкин О. В. Напряженно-деформированное состояние системы «комбинированная башня – железобетонный фундамент – грунт основания» высотных сооружений // Строительные материалы и изделия. 2019. Т. 2. №6. С. 29-37.
4. Сабитов Л. С., Кузнецов И. Л., Бадретдинов И. Р., Радайкин О. В. Исследование совместной работы стальной стойки-опоры и сборного железобетонного фундамента экспериментальным методом и с применением математического МКЭ-моделирования // Вестник гражданских инженеров. 2018. №6 (71). С. 37-44.
5. Патент 2633604 Российская Федерация, МПК E02D 27/42. Сборно-разборный фундамент под опору. Сабитов Л. С., Кузнецов И. Л., Хусаинов Д. М., Сабитов С. И., Ахунова З. Р., Стрелков Ю. М.; заявка 2016134679; опубл. 13.10.2017. Бюл. №29. 5 с.

6. Кузнецов И. В., Хусаинов Д. М., Хабибулина А. Г., Пеньковцев С. А. Разработка сборно-разборного фундамента балластного типа для стоечных конструкций // Известия КГАСУ. 2019 №4. С. 236-244.
7. Ахтямова Л. Ш., Сабитов Л. С., Маилян А. Л., Маилян Л. Р., Радайкин О. В. Технологические и конструктивные особенности проектирования модульного железобетонного фундамента под высотное сооружение различного типа // Строительные материалы и изделия. 2019. Т. 2. №6. С. 5.
8. Патент 2625060 Российская Федерация, МПК E02D 27/42. Модульный фундамент под опору. Кузнецов И. Л., Бадертдинов И. Р., Радайкин О. В., Сабитов Л. С., Ахтямова Л. Ш., Мезиков А. К., Киямов И. К.; заявка 2019121275; опубл. 15.11.2019. 5 с.
9. Муртазаев С. А. Ю., Саламанова М. Ш. Исследование стойкости цементного камня на бесклинкерных вяжущих щелочной активации // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2022. Т. 18. №2 (28). С. 98-107.

DESIGN FEATURES OF BALLAST TYPE FOUNDATIONS FOR TOWER STRUCTURES

L. A. Tokareva¹, Yu. M. Strelkov², L. S. Sabitov³, R. D. Khusainov⁴

^{1,3} Kazan Federal University, Kazan, Russia

^{1,2,3,4} Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Tower structures are currently widely used as structures for advertising, communication and energy purposes. In connection with this, the question arises of determining and choosing a structure with the best load-bearing capacity, which at the same time will have parameters that are relevant to the consumer – aesthetic properties, ease of installation in comparison with traditional design approaches. Also, one of the most important issues is the restriction on the installation sites of tower structures in view of the prohibition of their location in areas of mass presence of people, in the locations of communications. The need to install rack structures under the conditions of these restrictions has led to the emergence of new design solutions for foundations, namely, ballast-type foundations installed on the surface of the earth without restrictions for a set time. This article provides an analysis of existing ballast-type foundations intended for tower-type structures.

Keywords: ballast foundation, optimization, rack systems, design, modularity.

REFERENCES

1. Khusainov, D. M., Penkovtsev, S. A. and Khabibulina, A. G. (2017) 'Razrabotka fundamentov ballastnogo tipa dlya stoechnykh konstrukttsii' [Development of ballast-type foundations for rack-mount structures]. *Izvestiya KGASU*. №4, pp. 204-213.
2. Strelkov, Yu. M., Sabitov, L. S., Klyuev, S. V., Klyuev, A. V., Radaikin, O. V. and Tokareva, L. A. (2022) 'Tekhnologicheskie osobennosti konstruirovaniya sborno-razbornogo fundamenta pod bashennyye sooruzheniya' *Stroitel'nye materialy i izdeliya*. [Technological features of designing a collapsible foundation for tower structures. Building materials and products], Volume 5. №3, pp. 17-26. DOI: 10.34031/2618-7183-2022-5-3-17-26

3. Mailyan, L. R., Yazyev, S. B., Sabitov, L. S., Konoplev, Yu. G. and Radaikin, O. V. (2019) 'Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie sistemy «kombinirovannaya bashnya – zhelezobetonnyi fundament – grunt osnovaniya» vysoknykh sooruzhenii'. *Stroitel'nye materialy i izdeliya* [Stress-strain state of the system “combined tower – reinforced concrete foundation – foundation soil” of high-rise structures. Building materials and products]. Vol. 2. №6, pp. 29-37.
4. Sabitov, L. S., Kuznetsov, I. L., Badretdinov, I. R. and Radaikin, O. V. (2018) 'Issledovanie sovmestnoi raboty stal'noi stoiki-opory i sbornogo zhelezobetonnoogo fundamenta eksperimental'nym metodom i s primeneniem matematicheskogo MKE-modelirovaniya' [Investigation of the joint work of a steel pillar-support and a prefabricated reinforced concrete foundation by an experimental method and using mathematical FEM modeling]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. №6 (71), pp. 37-44.
5. Sabitov L.S., Kuznetsov I.L., Khusainov D.M., Sabirov S.I., Akhunova Z.R. and Strelkov Yu.M. *Sborny razborny fundament pod oporu* [Collapsible foundation for support], application 2016134679, publ. 10/13/2017. Bull. №29, 5 p, Russian Federation, IPC E02D 27/42, Patent 2633604.
6. Kuznetsov, I. V., Khusainov, D. M., Khabibulina, A. G. and Penkovtsev, S. A. (2019) 'Razrabotka sborno-razbornogo fundamenta ballastnogo tipa dlya stoechnykh konstruktсий' [Development of a prefabricated ballast-type foundation for rack structures]. *Izvestiya KGASU*. №4, pp. 236-244.
7. Akhtyamova, L. Sh., Sabitov, L. S., Mailyan, A. L., Mailyan, L. R. and Radaikin, O. V. (2019) 'Tekhnologicheskie i konstruktivnye osobennosti proektirovaniya modul'nogo zhelezobetonnoogo fundamenta pod vysoknoe sooruzhenie razlichnogo tipa' [Technological and design features of the design of a modular reinforced concrete foundation for a high-rise structure of various types]. *Building materials and products*. Vol. 2. №6. P. 5.
8. Kuznetsov, I. L., Badertdinov, I. R., Radaikin, O. V., Sabitov, L. S., Akhtyamova, L. Sh., Mezikov, A. K. and Kiyamov, I. K. *Modul'nyi fundament pod oporu*. [Modular foundation for support], application 2019121275, publ. 11/15/2019., 5 p, Russian Federation, IPC E02D 27/42, Patent 2625060
9. Murtazaev, S. A. Yu. and Salamanova, M. Sh. (2022) 'Issledovanie stoikosti tsementnogo kamnya na besklinkernykh vyazhushchikh shchelochnoi aktivatsii'. *Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki*. [Study of the resistance of cement stone on clinker-free binders of alkaline activation. Herald of Gstou. Technical sciences.], V. 18, №2 (28), pp. 98-107.

ВЕСТНИК ГГНТУ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

2022. Том XVIII. № 4 (30)

Редактор – *Таймасханова З.Р.*
Корректор, дизайн и верстка – *Маслов Е.Н.*
Технический секретарь – *Алаудинова А.И.*

Выход в свет 22.12.2022
Формат 60x84/8. Печать офсетная
Усл. печ. л. 11,5. Тираж 350 экз. Заказ № 110

Свободная цена

Типография: ИПЦ ИП Цопанова А.Ю.
362002, г. Владикавказ, пер. Павловский, 3

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ №ФС77-79693 от 27 ноября 2020 г.

Журнал основан в 2001 г.