

ISSN 1997-0935

научно-технический журнал

ВЕСТНИК



МГСУ

6/2016



материалы оборудование технологии

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

2016 № 6

Москва

НИУ МГСУ

СОДЕРЖАНИЕ

Соловьев А.А. Становление современной возобновляемой энергетики и ее роль в развитии строительной индустрии5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Громов П.А., Емельянов Р.Т., Серватинский В.В. Эффективность применения плоских георешеток с металлическими жилами в конструкциях армогрунтовых автодорожных насыпей.....7

Малахова А.Н. Пустотные кессонные плиты перекрытий монолитных многоэтажных зданий.....15

Мкртычев О.В., Андреев М.И. Расчет уникального высотного здания на землетрясения в нелинейной динамической постановке.....25

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. МЕХАНИКА ГРУНТОВ

Пономарев А.Б., Сычкина Е.Н., Волгарева Н.Л. К вопросу прогноза осадки сваи на аргиллитоподобной глине численными и аналитическими методами.....34

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ. МЕХАНИЗМЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Тускаева З.Р. Обеспечение эргономических основ безопасности деятельности машинистов.....46

Основан в 2005 году, 1-й номер вышел в сентябре 2006 г.
Выходит ежемесячно

Учредители:
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), общество с ограниченной ответственностью «Издательство АСВ»

Выходит при научно-информационной поддержке Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), международной общественной организации «Ассоциация строительных высших учебных заведений» (АСВ)

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-63119 от 18 сентября 2015 г.

Включен в утвержденный ВАК Минобрнауки России Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук

Индексируется в РИНЦ, UlrichsWeb Global Serials Directory, DOAJ, EBSCO, Index Copernicus, RSCI (Russian Science Citation Index на платформе Web of Science)

Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering

Scientific and Technical Journal
on Construction and Architecture

Founded in 2005,
1st issue was published in September, 2006.
Published monthly

Founders: Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGUSU), ASV Publishing House

The Journal enjoys the academic and informational support provided by the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), International Association of Institutions of Higher Education in Civil Engineering

The Journal has been included in the list of the leading review journals and editions of the Highest Certification Committee of Ministry of Education and Science of Russian Federation in which the basic results of PhD and Doctoral Theses are to be published

Главный редактор
 акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.
Валерий Иванович Теличенко (НИУ МГСУ)

Редакционная коллегия:

Х.И.Х. Броуэрс (Технический университет Эйндховена, Нидерланды),

А.И. Бурханов (ВолГАСУ),

А.А. Волков (НИУ МГСУ),

П.Г. Грабовый (НИУ МГСУ),

О.В. Игнатьев (РУДН),

Е.В. Королев (НИУ МГСУ),

О.И. Поддаева (НИУ МГСУ),

А.П. Пустовгар (НИУ МГСУ),

Б.Н. Родионов (зам. гл. редактора, НИУ МГСУ),

Д.Н. Силка (НИУ МГСУ),

Н.В. Сироткина (ВГУ),

А.В. Шамшин (Университет Центрального Ланкашира, Соединенное Королевство)

Редакционный совет:

А.А. Волков (председатель),

Ю.М. Баженов, **Н.Г. Верстина**, **О.О. Егорычев**,

Е.А. Король, **А.Н. Ларионов**, **И.Г. Лукманова**,

Н.С. Никитина, **В.И. Теличенко**,

З.Г. Тер-Мартirosян (НИУ МГСУ),

С.А. Амбарцумян (Концерн «МонАрх»),

А.Г. Бадалова (МГТУ СТАНКИН),

А.Т. Беккер (ДВФУ, ДВРО РААСН, Владивосток),

Н.В. Баничук, **С.В. Кузнецов** (ИПМ им. А.Ю. Ишлинского РАН),

Й. Вальравен (Технический университет Дельфта, Нидерланды),

Й. Вичан (Университет Жилина, Словакия),

З. Войчицки (Вроцлавский технологический университет, Польша),

М. Голицки (Институт Клокнера Чешского технического университета в Праге, Чешская Республика),

В.Т. Ерофеев (МГУ им. Н.П. Огарева)

Н.П. Кошман (Ассоциация строителей России),

П. МакГи (Университет Болтона, Соединенное Королевство),

Н.П. Осмоловский (МГУ им. М.В. Ломоносова),

П.Я. Паль (Технический университет Берлина, Германия),

В.В. Петров (СГТУ, Саратов),

Е.И. Пузырев (Межрегиональный союз проектировщиков),

А.Ю. Русских (Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации),

Ю.А. Табунчиков (МАРХИ),

О.В. Токмаджян (Совет старейшин г. Еревана, Армения),

П.А. Акимов, **В.И. Травуш** (РААСН)

Адрес редакции:

129337, Москва, Ярославское шоссе, 26.

Тел./ факс +7 (499) 188-15-87, (499) 188-29-75,

e-mail: vestnikmgsu@mgsu.ru

Официальный сайт журнала

<http://vestnikmgsu.ru>

ISSN 2304-6600 (Online)

Периодическое научное издание

Вестник МГСУ. 2016. № 7

Научно-технический журнал

Редакторы **Е.Б. Махиянова**

Корректор **А.А. Дядичева**

Верстка **А.Д. Федотов**

Перевод на английский язык **О.В. Иванова**

Подписан в печать 23.06.2016. Подписан в свет 30.06.2016.

Формат 70x108/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Гарнитура Таймс. Усл.-печ. л. 16,75. Уч.-изд. л. 10,82.

Тираж 200 экз. Цена свободная. Заказ № 155.

Издатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«**Национальный исследовательский**

Московский государственный строительный университет».

Издательство МИСИ — МГСУ

www.mgsu.ru, psc@mgsu.ru

(495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75.

Отпечатано в типографии Издательства МИСИ — МГСУ,

(499) 183-91-44, 183-67-92, 183-91-90,

129337, Москва, Ярославское шоссе, 26

Перепечатка или воспроизведение материалов

номера любым способом полностью или по частям

допускается только с письменного разрешения Издателя.

Распространяется по подписке.

Подписка по каталогу агентства «Роспечать».

Подписной индекс 18077 (полугодовая),

36869 (годовая)

© НИУ МГСУ, 2016

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Еремин А.В., Пустовгар А.П., Голотина А.А., Неведов С.В., Пашкевич С.А., Шеин А.Л.** Оптимизация состава и свойств гипсового вяжущего, полученного в варочном котле56
- Ерофеев В.Т., Ликомаскина М.А.** Оценка долговечности асфальтобетонов при испытаниях в климатических условиях с переменной влажностью, ультрафиолетовым облучением и агрессивной морской водой63

БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Теличенко В.И., Курочкина В.А.** Методология оценки техногенного загрязнения водных объектов урбанизированных территорий80

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

- Уварова С.С., Канхва В.С., Рогачева Я.А.** Когнитивные технологии — императив устойчивого развития инновационной деятельности в строительстве90

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЛОГИСТИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

- Ланидус А.А., Фельдман А.О.** Информационное взаимодействие участников строительного проекта как дополнительный фактор оценки организационно-технологического потенциала101

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

- Канен М.Г.Ф., Масленников В.А.** Методика и алгоритм оптимизации потребности населенных пунктов в линиях технического осмотра автотранспортных средств107
- Юшков В.С., Кычкин В.И., Бармин Н.Д.** Реализация диагностики и ремонта мостовых сооружений118
- Авторам**126

CONTENT

Solov'ev A.A. Formation of the modern renewable energy production and its role in the development of the construction industry5

DESIGNING AND DETAILING
OF BUILDING SYSTEMS.
MECHANICS IN CIVIL ENGINEERING

Gromov P.A., Emel'yanov R.T., Servatinskiy V.V. Efficiency of the use of plain geogrids with metal cores in the structures of reinforced ground road embankments7

Malakhova A.N. Caisson type hollow floor slabs of monolithic multi-storeyed buildings.....15

Mkrtychev O.V., Andreev M.I. Calculation of the unique high-rise building for earthquakes in nonlinear dynamic formulation.....25

BEDDINGS AND FOUNDATIONS,
SUBTERRANEAN STRUCTURES.
SOIL MECHANICS

Ponomarev A.B., Sychkina E.N., Volgareva N.L. Forecasting pile settlement on claystone using numerical and analytical methods.....34

TECHNOLOGY OF CONSTRUCTION
PROCEDURES. MECHANISMS AND EQUIPMENT

Tuskaeva Z.R. Ensuring the ergonomic principles of safety of machinists' activity46

RESEARCH OF BUILDING MATERIALS

Eremin A.V., Pustovgar A.P., Golotina A.A., Nefedov S.V., Pashkevich S.A., Shein A.L. Optimizing the composition and the features of gypsum binder produced in a kettle.....56

Erofeev V.T., Likomaskina M.A. Durability estimation of asphalt concrete tested in the climatic conditions with varying humidity, ultraviolet radiation and aggressive sea water.....63

SAFETY OF BUILDING SYSTEMS.
ECOLOGICAL PROBLEMS OF CONSTRUCTION
PROJECTS. GEOECOLOGY

Telichenko V.I., Kurochkina V.A. Methods of estimation technogenic pollution of water bodies in urbanized territories80

Editor-in-chief
Member of the Russian Academy
of Architecture and Construction Sciences
(RAACS), DSc, Prof. **V.I. Telichenko**,
(MGSU)

Editorial board:
H.J.H. Brouwers (Eindhoven University of Technology, Netherlands),
A.I. Burkhanov (VSUCE, Volgograd, Russian Federation),
P.G. Grabovyy (MGSU, Moscow, Russian Federation)
O.V. Ignat'ev (PFUR, Moscow, Russian Federation),
E.V. Korolev (MGSU, Moscow, Russian Federation),
O.I. Poddaeva (MGSU, Moscow, Russian Federation),
A.P. Pustovgar (MGSU, Moscow, Russian Federation),
B.N. Rodionov (Deputy Chief Editor, MGSU, Moscow, Russian Federation),
A.V. Shamshin (University of Central Lancashire, Preston, United Kingdom),
D.N. Silka (MGSU, Moscow, Russian Federation),
N.V. Sirotkina (VSU, Voronezh, Russian Federation),
A.A. Volkov (MGSU, Moscow, Russian Federation)

Editorial council:
A.A. Volkov (Chairman),
Yu.M. Bazhenov, N.G. Verstina, O.O. Egorychev, E.A. Korol, A.N. Larionov, I.G. Lukmanova, N.S. Nikitina, V.I. Telichenko, Z.G. Ter-Martirosyan (MGSU, Moscow, Russian Federation),
S.A. Ambartsumyan (MonArch Group, Moscow, Russian Federation),
A.G. Badalova (MSTU "STANKIN", Moscow, Russian Federation)
A.T. Bekker (Far Eastern Federal University, FERD RAASN, Vladivostok, Russian Federation),
N.V. Banichuk, S.V. Kuznetsov (A. Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS, Moscow, Russian Federation),
V.T. Erofeev (Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russian Federation)
M. Holický (Czech Technical University in Prague, Klokner Institut, Czech Republic),
N.P. Koshman (Builders Association of Russia, Moscow, Russian Federation),
P. McGhee (University of Bolton, United Kingdom),
N.P. Osmolovskiy (Lomonosov Moscow State University, Russian Federation),
P.J. Pahl (Technical University of Berlin, Germany),
V.V. Petrov (Saratov State Technical University, Russian Federation),
E.I. Pupyrev (Transregional Unity of Designers, Moscow, Russian Federation),
A. Yu. Russkikh (State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation),
Yu.A. Tabunshchikov (Moscow Institute of Architecture (State Academy), Russian Federation),
O.V. Tokmadzhyan (Council of Elders of Erevan, Armenia),
P.A. Akimov, V.I. Travush (Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russian Federation),
J. Vičan (University of Zilina, Slovakia),
J. Walraven (Delft University of Technology, Netherlands)
Z. Wójcicki (Wrocław University of Technology, Poland)

Address:
MGSU, 26, Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation
Tel./ fax +7 (499) 188-15-87, (499) 188-29-75,
e-mail: vestnikmgsu@mgsu.ru
online version of the journal
<http://vestnikmgsu.ru>
ISSN 2304-6600 (Online)

Editorial team of issues:
Editors **E.B. Makhyanova**
Corrector **A.A. Dyadicheva**
Layout **A.D. Fedotov**
Russian-English translation **O.V. Ivanova**

Reprint or reproduction of material numbers by any means in whole or in part is permitted only with prior written permission of the publisher — MGSU.
Distributed by subscription

ECONOMICS, MANAGEMENT AND ORGANIZATION
 OF CONSTRUCTION PROCESSES

Uvarova S.S., Kankhva V.S., Rogacheva Ya.A. Cognitive technologies as an imperative of the sustainable development of innovative activity in the construction 90

INFORMATION SYSTEMS AND LOGISTICS IN CIVIL ENGINEERING

Lapidus A.A., Fel'dman A.O. Informational communication between the participants of a construction project as an additional factor in evaluating the organizational and technological capacity 101

TRANSPORTATION SYSTEMS

Kanen M.H.F., Maslennikov V.A. Methodology and algorithm of optimization of the need of settlements for technical inspection lines for vehicles 107

Yushkov V.S., Kychkin V.I., Barmin N.D. Implementation of diagnosis and repair of bridge structures 118

For authors 126

**Цели, задачи и тематика журнала.
 Редакционная политика**

В научно-техническом журнале «Вестник МГСУ» публикуются научные материалы по проблемам строительной науки и архитектуры (строительство в России и за рубежом: материалы, оборудование, технологии, методики; архитектура: теория, история, проектирование, реставрация; градостроительство).

Тематический охват соответствует утвержденной Номенклатуре научных специальностей:

из отрасли 05.00.00 Технические науки — группа специальностей 05.23.00 Строительство и архитектура (все специальности), а также в приложении к строительству и архитектуре:

группа специальностей 05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление
 группа специальностей 05.26.00 Безопасность деятельности человека

группа специальностей 05.02.00 Машиностроение и машиноведение

отрасль 08.00.00 Экономические науки.

К рассмотрению и публикации в основных тематических разделах журнала принимаются аналитические материалы, научные статьи, обзоры, рецензии и отзывы на научные публикации по фундаментальным и прикладным вопросам строительства и архитектуры.

Все поступающие материалы проходят научное рецензирование (двойное слепое) с участием редсовета и привлечением внешних экспертов — активно публикующихся авторитетных специалистов по соответствующим предметным областям.

Копии рецензий или мотивированный отказ в публикации предоставляются авторам и в Минобрнауки России (по запросу). Рецензии хранятся в редакции в течение 5 лет.

Редакционная политика журнала базируется на основных положениях действующего российского законодательства в отношении авторского права, плагиата и клеветы, и этических принципах, поддерживаемых международным сообществом ведущих издателей научной периодики и изложенных в рекомендациях Комитета по этике научных публикаций (COPE).

Aims and Scope. Editorial Board Policy

In the scientific and technical journal “Vestnik MGSU” /Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering/ the scientific materials on construction science and architectural problems are published (construction in Russia and abroad; materials, equipment, technologies, methods; architecture: theory, history, design, restoration; urban planning).

The topic area corresponds to the approved Classification of Scientific Specialties:

from the branch Technical Sciences — Construction and Architecture (all the specialties), and in addition to construction and architecture:

Informatics, computer engineering and management (Systems of design automation in construction and architecture, Mathematical simulation, numerical methods and program systems);

Emergency management (Safety in case of emergencies (in the construction), Fire and industrial safety (in the construction));

Machine Engineering and Machine Science (Industrial management);

Economical sciences (Economy and management of the national economy (in the construction and architecture, including: economy, organization and management of enterprises, branches, complexes; innovation management; regional economy; logistics; labour economics; population economics and demography; environmental economics; business economics; marketing; management; price setting; economical safety; production quality standardization and management; land planning; recreation and tourism).

Analytical materials, scientific articles, surveys, reviews on scientific publications on fundamental and applied problems of construction and architecture are admitted to examination and publication in the main topic sections of the journal.

All the submitted materials undergo scientific reviewing (double blind) with participation of the editorial board and external experts — actively published competent authorities in the corresponding subject areas.

The review copies or substantiated refusals from publication are provided to the authors and the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (upon request). The reviews are deposited in the editorial office for 5 years.

The editorial policy of the journal is based on the main provisions of the existing Russian Legislation concerning copyright, plagiarism and libel, and ethical principles approved by the international community of leading publishers of scientific periodicals and stated in the recommendations of the Committee on Publication Ethics (COPE).

СТАНОВЛЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ЕЕ РОЛЬ В РАЗВИТИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ




Современная возобновляемая энергетика определилась как отдельное самостоятельное направление общей энергетики именно в последние десятилетия. В отличие от традиционных направлений, особенность возобновляемой энергетики состоит в необычности ее источников энергии, поскольку ими являются не энергетические ресурсы фиксированной величины, а процессы, постоянно существующие или периодически возникающие в природе. Благодаря этому энергия возобновляемых источников может без истощения ее запасов неизменно извлекаться из разнообразных природных процессов, в числе которых солнечное излучение, водные и воздушные течения, биомасса, волны и приливы, геотермальное тепло.

Первоначальная доминантная составляющая потребления энергии была связана с преобразованием возобновляемой энергии природных источников, содержащейся в древесной биомассе, ветровых и водных потоках. В дальнейшем инновационные технологии, вначале термодинамические (паровой двигатель), а затем электродинамические (электрический двигатель), способствовали переходу к использованию других энергоносителей на основе ископаемых топлив. Углеродородные энергоносители, главным образом за счет угля, наращивали свою долю в энергоснабжении довольно продолжительный период параллельно с гидравлическими источниками энергии. Это продолжалось до тех пор, пока в конце XX столетия не произошли структурные изменения в производстве энергии, которые переориентировали энергетику на переход к комбинированному, смешанному использованию различных источников первичной энергии: углеводородных, ядерных и возобновляемых.

Как справедливо отмечено в дискуссиях на недавно прошедшем в Санкт-Петербурге Международном экономическом форуме, переход энергетики к многополярной структуре производства и потребления энергии связан с различными процессами в обществе, политике, экономике. В их числе кризисные явления в экономической и финансовой сфере на глобальном уровне, приводящие к угрозам национальной безопасности, которые ориентировали на отказ от доминанты однополярного энергоносителя. Тенденция к существенному росту народонаселения — потенциальных энергопотребителей — при грядущей ограниченности запасов ископаемых топлив диктовала переход к диверсификации первичных источников энергии и всемерному энергосбережению. Расширение неуправляемых антропогенных воздействий на окружающую среду с прогнозируемыми неблагоприятными климатическими изменениями способствовали росту сферы применимости экологически чистых источников энергии и увеличению доли их практического использования в энергоснабжении. Структурные изменения в общем энергобалансе ассоциировались также с ростом интеграции интеллектуальных и информационных технологий в различные отрасли хозяйствования и территориальными перераспределениями производителей и потребителей энергии.

В связи с современной тенденцией активного использования возобновляемых энергоресурсов в строительной индустрии, движущей силой которой, несомненно, является энергетика, приобретает актуальность эколого-энергосберегающее направление отрасли. Эффективное решение экологических, энергетических требований в настоящее время становится приоритетной задачей строительной отрасли, подразумевающей разработку технологий рационального использования энергии возобновляемых источников на всех этапах строительного производства.

Уверен, что в современной России динамическое развитие строительной индустрии с широким применением возобновляемых источников энергии позволит на практике реализовать задачу повышения энергосбережения и энергоэффективности строительства. Немалая роль в этом принадлежит издательской деятельности журнала «Вестник МГСУ», активно способствующего широкоформатной информированности о результатах исследований отечественных ученых.

Член Президиума Комитета по проблемам использования возобновляемых источников энергии Российского союза научных и инженерных объединений,
Заведующий научно-исследовательской лабораторией возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,
проф., д-р физ.-мат. наук, акад. Российской инженерной академии  А.А. Соловьев

FORMATION OF THE MODERN RENEWABLE ENERGY PRODUCTION AND ITS ROLE IN THE DEVELOPMENT OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY

The modern renewable power engineering has established as a separate direction of the general power engineering in the recent decade. As compared to traditional directions, the peculiarity of renewable energy production is unfamiliarity of its energy sources, because they are not energy sources of fixed volume but the processes existing constantly or occasionally emerging in the nature. Thanks to it the energy of the renewable sources may be constantly derived from different natural processes without depletion, which include solar radiance, water and air flows, biomass, waves and flows, geothermal heat.

The original dominant component of energy consumption was related to transformation of renewable energy of natural resources consisting in wood biomass, wind and water flows. Further the innovative technologies, first thermodynamical (steam engine) and then electrodynamic (electric motor) contributed to the transition to the use of other energy sources based on fossil fuels. Hydrocarbon energy sources mostly thanks to coal increased their role in energy supply for quite a long period simultaneously with hydraulic energy sources. It continued until in the end of the 20th century structural changes in energy production took place which redirected the energy to the transition to combined, mixed use of different energy sources: hydrocarbon, nuclear and renewable.

As it was fairly noted in the recent International Economical Forum in Saint Petersburg, the transition of energy sector with multipolar structure of energy production and consumption is connected with different processes in the society, policy and economy. Among them there are crisis phenomena in economical and financial spheres leading to threat to national security, which lead to the refusal from the domination of unipolar energy carrier. The tendency to the substantial growth of population — potential energy consumers together with the forthcoming scarcity of fossil fuels demanded the transition to diversification of the primary energy sources and world energy saving. Increase of uncontrolled anthropogenic influence on the environment with forecasted unfavourable climatic changes contributed to the growth of the field of application of green energy sources and increase of the share of their practical use in energy saving. Structural changes in the general energy balance associated also with the increase of integration of intellectual and informational technologies into different economic spheres and territorial redistribution of energy producers and consumers.

Taking into account the contemporary tendency of active use of renewable energy sources in the construction industry, the driving force of which is surely energy production, the ecological and energy saving direction of the branch becomes current. The efficient solution of ecological, energy requirements becomes today the priority task of the construction branch, which supposes the development of the technologies of rational use of renewable energy on all the stages of construction.

I am sure that in modern Russia the dynamic development of the construction industry with the wide use of renewable energy sources will allow solving the task of raising energy saving and energy efficiency of the construction in practice. The publishing activity of the journal “Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering” plays an essential role in it. The journal provides strong support to broad awareness on the results of investigations of domestic scientists.

Presidium member, Committee on the Problems of Using Renewable Energy Sources
 of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations,
 Head, Scientific Laboratory of Renewable Energy Sources
 of the Department of Geography of MSU named after M.V. Lomonosov,
 Professor, Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
 member of the Russian Engineering Academy

A.A.Solovyev

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 692.2:625

П.А. Громов, Р.Т. Емельянов, В.В. Серватинский
СФУ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛОСКИХ ГЕОРЕШЕТОК С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЖИЛАМИ В КОНСТРУКЦИЯХ АРМОГРУНТОВЫХ АВТОДОРОЖНЫХ НАСЫПЕЙ

Рассмотрены вопросы армирования насыпей высокопрочными геосинтетическими материалами. Предложено использовать в качестве армирующего материала плоскую георешетку с металлическими жилами для сооружения армогрунтовых подпорных стен на автомобильных и железных дорогах. Приведены результаты расчетов величины горизонтальных перемещений лицевой части подпорных стен, полученные в процессе численного моделирования по методу конечных элементов.

Ключевые слова: армированный грунт, геосинтетический материал, металлизированная георешетка, внешняя устойчивость, внутренняя устойчивость, долговременная прочность, осевая жесткость, численное моделирование, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние

Подпорные стены из армированного грунта характеризуются экономичностью и простотой возведения, причем эффективность их использования возрастает с увеличением высоты. Армогрунтовые стены представляют собой относительно жесткую структуру, что делает их менее чувствительными к осадкам основания. Такие подпорные стены лучше компенсируют температурные и усадочные напряжения, отлично справляются с различными видами динамических нагрузок. Применяемые в качестве армирующих материалов георешетки обладают разными показателями ползучести, высокой ползучестью, что для подпорных стен является важным параметром. Удлинение при действии статической нагрузки может привести к значительному отклонению лицевой части стены с последующим ее обрушением. При выборе армирующих материалов должно быть учтено требование стандарта Великобритании BS 8006 об использовании в армоконструкциях геосинтетических материалов, не допускающее в период эксплуатации их деформаций ползучести, превосходящих по величине 1 % для боковых стенок в армонасыпи и 0,5 % для торцевых стенок на подходах к мостам (например, устои с отдельными функциями). В качестве армирующего материала предлагается использовать плоскую металлизированную георешетку, обладающую высокой осевой жесткостью за счет наличия металлических жил внутри полимерных полос.

Цель работы заключается в усовершенствовании конструктивно-технологических решений подпорных стен из армированного грунта путем применения в качестве армирующего элемента плоской георешетки с металлическими жилами.

Условия и методы исследования. Объектом исследований принята армогрунтовая насыпь с активной облицовочной системой высотой 9,3 м с модульными бетонными стеновыми блоками высотой 0,3 м (рис. 1).

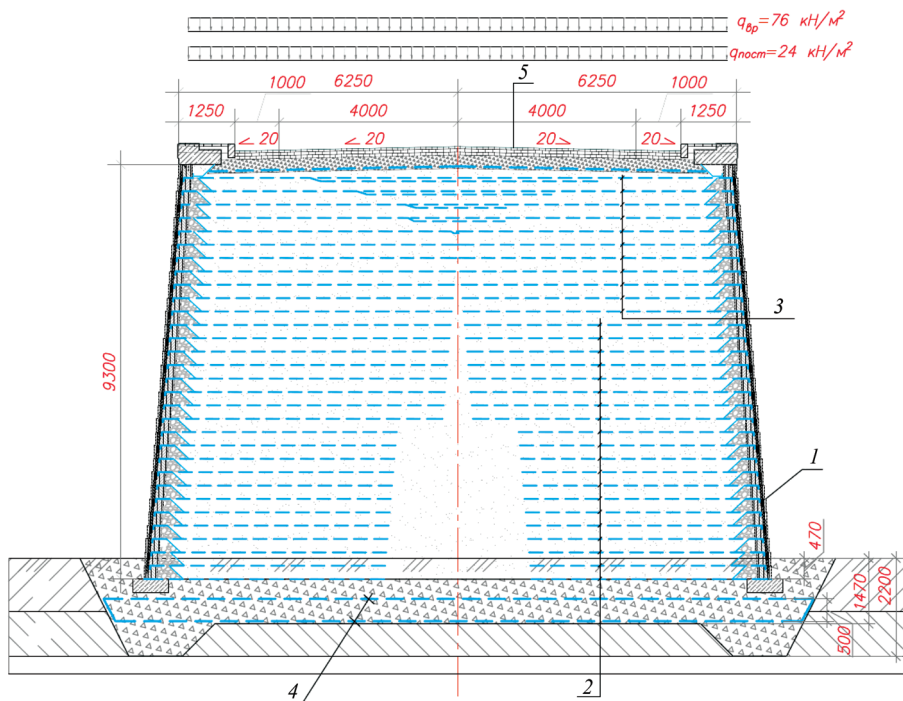


Рис. 1. Армогрунтовая система: 1 — облицовочный блок ($440 \times 300 \times 300$); 2 — плоская георешетка с долговременной прочностью 50 кН/м; 3 — плоская георешетка с долговременной прочностью 33 кН/м; 4 — силовая обойма из георешетки (щебеночная подушка); 5 — дорожная одежда

Подбор параметров георешетки исходя из условий устойчивости конструкции. Для обеспечения общей устойчивости конструкции щебеночная подушка должна быть армирована замкнутой силовой обоймой из плоской георешетки, под облицовочными блоками предусмотрен железобетонный ленточный фундамент.

Параметры армирования (длина заделки в грунт и прочность арматуралов) определены из условий внешней и внутренней устойчивости в соответствии с расчетной схемой (рис. 2). Расчеты выполнены в программе GEO 5 — модуль «Армированные насыпи». Толщина слоев соответствует высоте блока (300 мм).

Анализ внешней устойчивости включает в себя:

- проверку на опрокидывание;
- проверку на сдвиг;
- анализ несущей способности грунта основания;
- проверку на перемещение по круглоцилиндрической (или полигональной) поверхности скольжения.

Анализ внутренней устойчивости для каждого слоя георешетки состоит из следующих этапов:

- проверки смещения грунта по геоармировке;
- проверки геоармировки на разрыв;
- проверки геоармировки на выдергивание.

При расчете устойчивости конструкции насыпи в соответствии с п. 5.2.2 ГОСТ 52748—2007 расчетная нормативная нагрузка от транспортных средств, осуществляющих перевозки тяжеловесных грузов (НК) приводится к формированию эквивалентного слоя грунта земляного полотна:

$$H_3 = \frac{4 \cdot 18K}{(d + 0,2)(c + 0,8) \gamma_{гр}},$$

где d — база для нормативной нагрузки от автомобилей (АК), м; c — ширина колеи нагрузки, м; K — класс нагрузки для нормативной нагрузки НК.

Тогда для нормативной нагрузки НК80:

$$H_3 = \frac{4 \cdot 18 \cdot 14}{(3,6 + 0,2) \cdot (2,7 + 0,8) \cdot 16,5} = 4,59 \text{ м.}$$

Соответственно, удельное давление на поверхности насыпи:

$$q_{вр} = H_3 \gamma_{гр} = 4,59 \cdot 16,5 = 76 \text{ кН/м}^2.$$

Постоянная распределенная нагрузка от веса дорожной одежды принята равной

$$q_{пост} = 24 \text{ кН/м}^2.$$

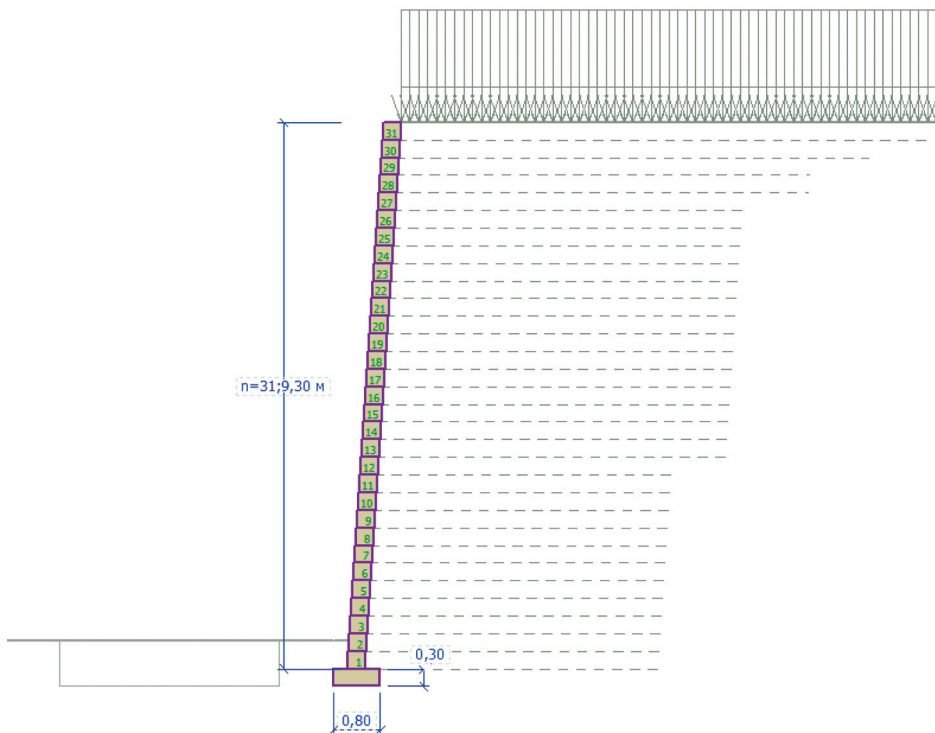


Рис. 2. Схема армирования подпорной стены

Табл. 1. Параметры армирования

Номер блока	Длина георешетки, м	Долговременная прочность, кН/м
1—12	5,0	Не менее 50,0
13—20	6,0	Не менее 50,0
21—27	6,0	Не менее 33,0
28, 29	7,0	Не менее 33,0
30	8,0	Не менее 33,0
31	9,0	Не менее 33,0

Расчет напряженно-деформированного состояния армогрунтовой подпорной стены методом конечных элементов. Для прогноза смещения армогрунтовых подпорных стен в горизонтальном направлении применялись численные методы расчета. Горизонтальные деформации армогрунтовой конструкции рассчитывались с использованием комплекса конечно-элементного моделирования GEO 5 — модуль МКЭ. Для исследования были выполнены расчетные сравнительные оценки влияния на горизонтальные перемещения стены деформативных и прочностных характеристик геосинтетиков, используемых для армирования насыпи. В программном комплексе GEO 5 геосинтетические армирующие материалы представлены в виде специального элемента — «арматуры» (термин программы GEO 5). Арматура представляет собой узкий объект с нормальной жесткостью, но без жесткости на изгиб. Расчетными свойствами арматуры является постоянная нормальная осевая жесткость EA [5].

Осевая жесткость определяется отношением приращения силы, приложенной к материалу, к перемещению, произошедшему под воздействием этой силы.

$$EA = \frac{F}{\Delta l / l},$$

где F — растягивающая сила, приложенная к образцу; Δl — приращение длины образца вследствие воздействия растягивающей силы; l — начальная длина образца.

Определить осевую жесткость можно с помощью графиков зависимости относительного удлинения геосинтетического материала под нагрузкой. Такие графики строятся для каждой марки геоматериала по результатам испытаний. Для геосинтетических материалов эта зависимость имеет ярко выраженный нелинейный характер. Однако на первоначальном отрезке практически для всех материалов эта зависимость близка к линейной. Учитывая, что зона максимальных рабочих усилий в рассматриваемом нами случае (срок службы 120 лет) составляет порядка 25...40 % от нормативной прочности, осевую жесткость в расчетах можно принять постоянной по величине (для каждой конкретной марки георешетки) [2].

Максимальное горизонтальное перемещение для насыпи высотой 9,3 м составило 46 мм (песок с $\varphi = 32^\circ$, георешетка из полиолефинов с осевой жесткостью $EA = 1000$ кН).

Как показало моделирование, основная зона реализации горизонтальных перемещений вне зависимости от высоты насыпи, грунта засыпки и применяемого армирующего материала приходится на область, близкую к стенке (расстояние порядка 1...4 м). Например, на рис. 3 показано распределение перемещений для стены высотой 9,3 м. Из рисунка видно, что на расстоянии 3...4 м от стены горизонтальные перемещения уменьшаются в 2 раза.

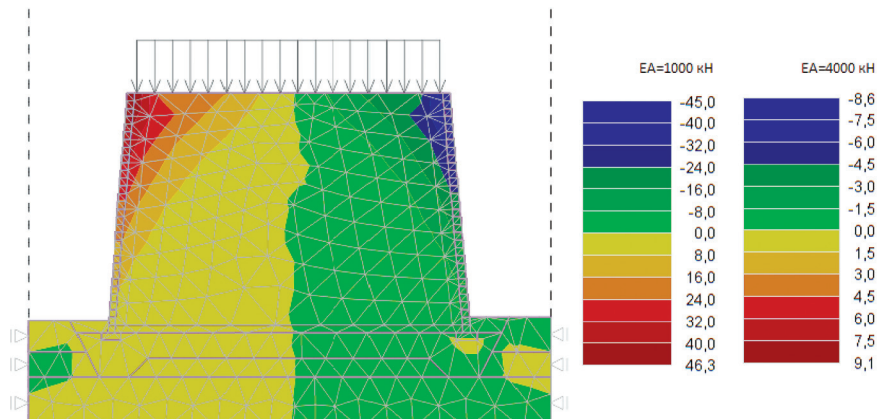


Рис. 3. Распределение горизонтальных перемещений насыпи по поперечному профилю

Максимальное горизонтальное перемещение для насыпи высотой 9,3 м с применением металлизированной георешетки (с осевой жесткостью $EA = 4000$ кН) составило 9 мм, это значительно меньше, чем в предыдущем расчете, что доказывает эффективность применения металлизированной георешетки.

Выводы. Расчеты с использованием методов конечных элементов показали, что горизонтальные смещения стенки армонасыпи зависят от характеристик (жесткости) армирующего геосинтетика. Использование в качестве армирующего элемента металлизированной георешетки позволило уменьшить деформации лицевой части за счет низкой ползучести и деформативности материала. Наибольшее значение имеет снижение деформации торцевых стен на подходах к искусственным сооружениям, так как возникающие при этих перемещениях нагрузки передаются непосредственно на опоры.

Библиографический список

1. Методические рекомендации по расчету и проектированию армогрунтовых подпорных стен на автомобильных дорогах : ОДМ 218.2.027—2012. М., 2012. 48 с.
2. Тяпочкин А.В. Совершенствование конструктивно-технологических решений армогрунтовых насыпей с подпорными стенами : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2011. 23 с.
3. Джоунс К.Д. Сооружения из армированного грунта / пер. с англ. В.С. Забавина ; под ред. В.Г. Мельника. М. : Стройиздат., 1989. 279 с.
4. Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures using Geosynthetic Reinforcements — EBGeo. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik. V // German Geotechnical Society (Editor), Alan Johnson (Translator).
5. Пользовательская библиотека. Программный комплекс GEO5. Режим доступа: <http://www.finesoftware.ru/geotechnical-software>.

6. Цернант А.А., Ким А.Ф., Бурибеков Т. Расчет грунтовых сооружений, армированных геотекстилем // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. 1987. № 3. С. 126—131.

7. Цернант А.А., Ким В.К. Расчет армирования массивов грунта с применением МКЭ и нелинейной механики грунтов // Современные проблемы нелинейной механики грунтов : тез. докл. Всесоюз. конф. Челябинск, 1985. С. 170—171.

8. Семендяев Л.И. Методика расчета насыпей, армированных различными материалами М., 2001. 44 с.

9. Семендяев Л.И., Хусаинов И.Ж. Особенности использования плоских геосеток и георешеток в качестве армоэлементов // Наука и техника в дорожной отрасли. 2005. № 3 (34). С. 25—27.

10. Середин А.И. Усиление и стабилизация эксплуатируемых насыпей армогрунтом : дисс. ... канд. техн. наук. М., 1989. 214 с.

11. Соколов А.Д. Исследование предельных состояний армогрунтовых конструкций как оснований устоев диванного типа // Дороги и мосты : сб. науч. тр. ФАУ «РосдорНИИ» М., 2006. № 2. С. 200—216.

12. Farrag K., Acar Y.B., Juran I. Pull-out resistance of geogrid reinforcements // Geotextiles and Geomembranes. 1993. No. 12 (2). Pp. 133—160.

13. BS 8006:1995. Code of practice for Strengthened / reinforced soils and other fills. 1995. 196 p.

14. Руководство по проектированию армированных подпорных грунтовых стен, мостовых опор, откосов и насыпей / пер. с англ. Г.Б. Гершмана. М. : Тенсар Интернешнл, 1995. 34 с.

15. Методические указания по применению геосинтетических материалов в дорожном строительстве / под ред. В.П. Носова ; пер. с нем. А. Шубин. М. : МАДИ (ГТУ), 2001. 100 с

16. Пат. 2276230 RU, МПК E02D 17/18, E02D 29/02, E01D 19/02. Дорожная насыпь с подпорной стенкой, способ ее сооружения и железобетонный блок для подпорной стенки / С.Г. Жорняк, Е.Б. Канаев, К.Ю. Чернов, Б.В. Сакун, И.Д. Акимов-Перетц ; Патентообл. ОАО ЦНИИС. № 2004135893/03 ; заявл. 08.12.2004 ; опубл. 10.05.2006. Бюл. № 13

17. Костоусов А.Н. Совершенствование методики расчета армогрунтовых стен для усиления земляного полотна : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2015. 24 с.

18. Бугров А.К. Напряженно-деформированное состояние оснований и земляных сооружений с областями предельного равновесия грунта : дисс. д-ра техн. наук. СПб., 1980. 385 с.

19. Будин А.Я. Тонкие подпорные стенки. Ленинград : Стройиздат, 1974. 191 с.

20. Проектирование подпорных стен и стен подвалов. М. : Стройиздат, 1990. 104 с. (Справочное пособие к СНиП).

Поступила в редакцию в марте 2016 г.

Об авторах : **Громов Павел Андреевич** — аспирант кафедры автомобильных дорог и городских сооружений, **Сибирский федеральный университет (СФУ)**, 660041, г. Красноярск, пр-т Свободный, д. 82 а, oiuy0987@mail.ru;

Емельянов Рюрик Тимофеевич — доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой автомобильных дорог и городских сооружений, **Сибирский федеральный университет (СФУ)**, 660041, г. Красноярск, пр-т Свободный, д. 82 а, ert-44@yandex.ru;

Серватинский Вадим Вячеславович — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автомобильных дорог и городских сооружений, **Сибирский федеральный университет (СФУ)**, 660041, г. Красноярск, пр-т Свободный, д. 82 а, vservatinsky@list.ru.

Для цитирования: Громов П.А., Емельянов Р.Т., Серватинский В.В. Эффективность применения плоских георешеток с металлическими жилами в конструкциях армогрунтовых автодорожных насыпей // Вестник МГСУ. 2016. № 6. С. 7—14.

P.A. Gromov, R.T. Emel'yanov, V.V. Servatinskiy

EFFICIENCY OF THE USE OF PLAIN GEOGRIDS WITH METAL CORES IN THE STRUCTURES OF REINFORCED GROUND ROAD EMBANKMENTS

The authors considered the issues of reinforcement of embankments by high-strength geosynthetic materials. It is suggested to use flat geogrid with metal cores as a reinforcement material for constructing reinforced ground supporting walls on automobile and railway roads. The results of calculations of the volumes of horizontal displacements of the front parts of supporting walls are offered. They were obtained as a result of numerical modeling using finite element method.

Key words: reinforced ground, geosynthetic material, metalized geogrid, external stability, internal stability, long-term strength, axial stiffness, numerical modeling, finite element method, stress-strain state

References

1. *Metodicheskie rekomendatsii po raschetu i proektirovaniyu armogruntovykh podpornykh sten na avtomobil'nykh dorogakh* : ODM 218.2.027—2012 [Methodological Recommendations on the Calculation and Design of Reinforced Soil Supporting Walls on Automobile Roads]. Moscow, 2012, 48 p. (In Russian)
2. Tyapochkin A.V. *Sovershenstvovanie konstruktivno-tekhnologicheskikh resheniy armogruntovykh nasypей s podpornymi stenami* : avtoreferat dissertatsii ... kandidata tekhnicheskikh nauk [Advancing the Construction and Technological Solutions of Reinforced Ground Embankments with Supporting Walls : Abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences]. Moscow, 2011, 23 p. (In Russian)
3. Jones C.J.F.P. *Earth Reinforcement and Soil Structures*. Thomas Telford Publishing, 3rd Revised ed. edition, 1996, 379 p.
4. Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures Using Geosynthetic Reinforcements — EBGeo. German Geotechnical Society (Editor), Alan Johnson (Translator). 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/9783433600931>
5. *Pol'zovatel'skaya biblioteka. Programmnyy kompleks GEO5* [User Library. Software Package GEO5]. Available at: <http://www.finesoftware.ru/geotechnical-software>. (In Russian)
6. Tsernant A.A., Kim A.F., Buribekov T. Raschet gruntovykh sooruzheniy, armirovannykh geotekstilom [Calculation of Soil Structures Reinforced by Geofabric]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo i arkhitektura* [News of Higher Educational Institutions. Construction and Architecture]. 1987, no. 3, pp. 126—131. (In Russian)
7. Tsernant A.A., Kim B.K. Raschet armirovaniya massivov grunta s primeneniem MKE i nelineynoy mekhaniki gruntov [Calculation of Soil Reinforcement Using Finite Element Method and Nonlinear Soil Mechanics]. *Sovremennye problemy nelineynoy mekhaniki gruntov* : tezisy dokladov Vsesoyuznoy konferentsii [Contemporary Issues of Nonlinear Soil Mechanics : Abstracts of the All-Union Conference]. Chelyabinsk, 1985, pp. 170—171. (In Russian)
8. Semendyaev L.I. *Metodika rascheta nasypей, armirovannykh razlichnymi materialami* [Methods of Calculating Embankments Reinforced with Different Materials]. Moscow, 2001, 44 p. (In Russian)
9. Semendyaev L.I., Khusainov I.Zh. Osobennosti ispol'zovaniya ploskikh geosetok i georeshetok v kachestve armoelementov [Features of the Use of Flat Geonets and Geogrids as Reinforcing Materials]. *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli* [Science and Technology in Road Industry]. 2005, no. 3 (34), pp. 25—27. (In Russian)
10. Seredin A.I. *Usilenie i stabilizatsiya ekspluatiruemykh nasypей armogruntom* : dissertatsiya... kandidata tekhnicheskikh nauk [Reinforcement and Stabilization of Operating Embankments by Reinforced Ground : dissertation of the Candidate of Technical Sciences]. Moscow, 1989, 214 p. (In Russian)