



ISSN 0044-4472

5'2023

ЖИЛИЩНОЕ

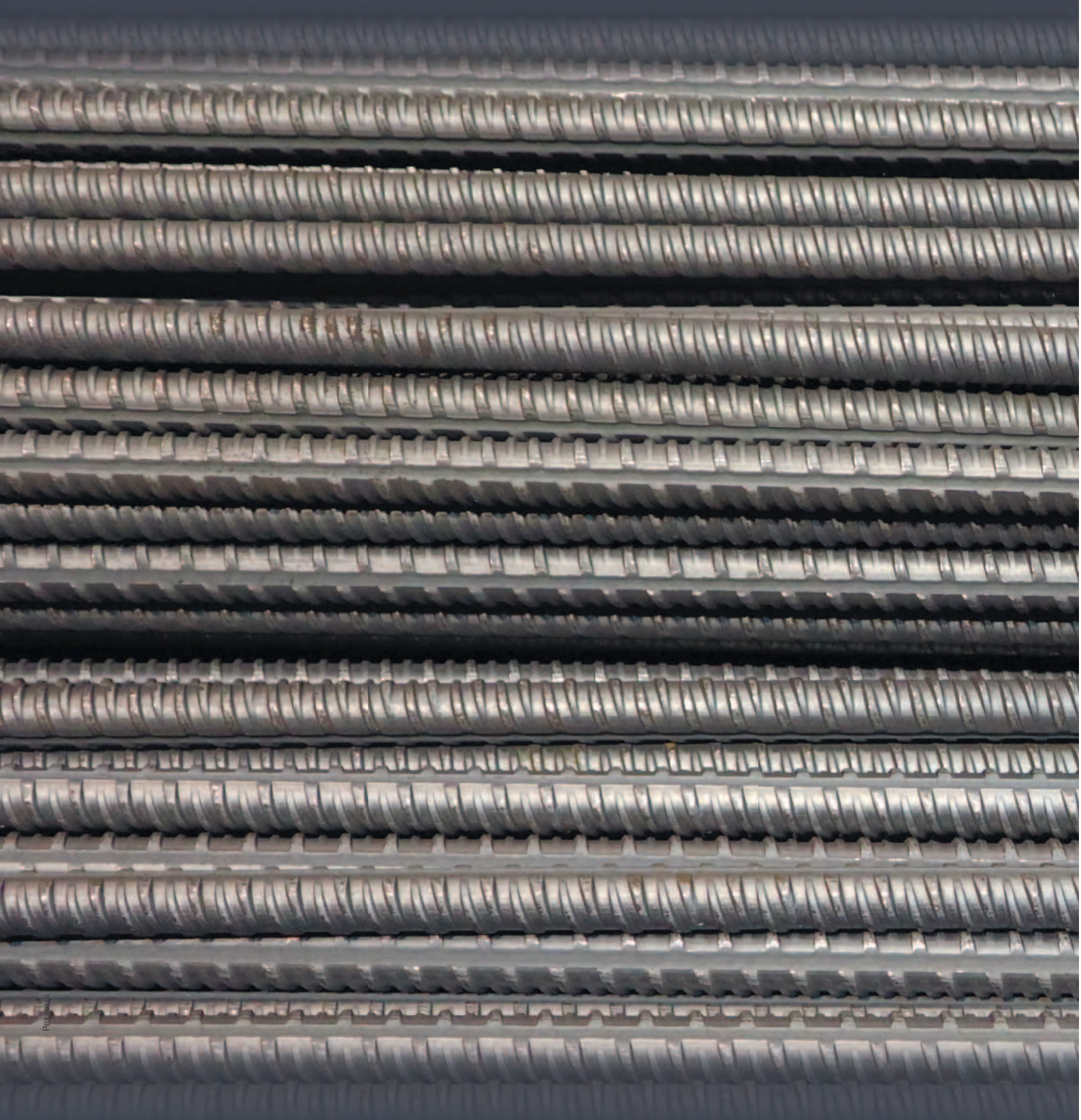
СТРОИТЕЛЬСТВО

научно-технический и производственный журнал

www.rifsm.ru

www.journal-hc.ru

издается с 1958 г.



МЫ ОСУЩЕСТВЛЯЕМ ТРАНСФЕР ИННОВАЦИЙ В КАПИТАЛЬНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

ТМ ПЗ
ТУЛЬСКИЙ
МЕТАЛЛОПРОКАТНЫЙ ЗАВОД

Преимущества системы армирования нового поколения с четырехрядным винтовым профилем

- ◆ Высокая эффективность проектирования
- ◆ Сокращает объем армирования при строительстве из железобетонных конструкций до 30%
- ◆ Уменьшает время стыкования арматуры в 2–10 раз

Инновационная арматура класса **Ав500П (Ау500П)** и **Ав600П (Ау600П)**

- ◆ Высокие показатели по сцеплению и выносливости
- ◆ Для строительства в сейсмоопасных районах
- ◆ Высокое сопротивление сцепления с бетоном после достижения $\sigma_t (\sigma_{0,2})$
- ◆ Соответствие требованиям отечественных и зарубежных норм
- ◆ Возможность технологического соединения винтовыми муфтами и анкеровка гайками для Ав500П и Ав600П

Арматура четырехрядного профиля

Ав400; Ав500; Ав600; Ав800; Ау400СЕУ; Ау500СЕУ; Ау600СЕУ

Проектирование
Изготовление
Монтаж
Доставка



Москва, ул. Садовая-Спаская, 21/1
+7 (495) 419-00-78 +7 (495) 419-04-50
info@tigk.ru

Тула, ул. Щегловская засека, 31 к.1
+7 (487) 270-74-30 8 (800) 350-04-50
info@tuzmk.ru

www.tulampz.ru

Учредитель журнала: АО «ЦНИИЭП жилища»
Адрес: Россия, 127434, Москва,
Дмитровское ш., д. 9, стр. 3

Издатель: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»
Адрес: 125319, г. Москва, ул. Черняховского,
д. 9, корп. 1, кв. 1

Входит в Перечень ВАК,
государственный проект РИНЦ
и RSCI на платформе Web of Science

Журнал зарегистрирован Министерством РФ
по делам печати, телерадиовещания
и средств массовой информации № ФС77-64906

Главный редактор

ЮМАШЕВА Е.И.,
инженер-химик-технолог,
почетный строитель России

Редакционный совет:

НИКОЛАЕВ С.В.,
председатель, д-р техн. наук,
АО «ЦНИИЭП жилища» (Москва)

АЗАРОВ В.Н.,
д-р техн. наук (Волгоград)

АКИМОВ П.А.,
д-р техн. наук, академик РААСН
(Москва)

АЛЕКСЕЕВ Ю.В.,
д-р архитектуры, профессор (Москва)

БОДРОВ М.В.,
д-р техн. наук (Нижний Новгород)

ВАВРЕНЮК С.В.,
д-р техн. наук, член-корреспондент
РААСН (Владивосток)

ВОЛКОВ А.А.,
д-р техн. наук, член-корреспондент
РААСН (Москва)

ГАГАРИН В.Г.,
д-р техн. наук, член-корреспондент
РААСН (Москва)

ЖУСУПБЕКОВ А.Ж.,
д-р техн. наук (Астана, Казахстан)

ЗВЕЗДОВ А.И.,
д-р техн. наук, президент Ассоциации
«Железобетон» (Москва)

ИЛЬЧИЧЕВ В.А.,
д-р техн. наук, академик РААСН
(Москва)

КОЛЧУНОВ В.И.,
д-р техн. наук, академик РААСН
(Курск)

ЛАПИДУС А.А.,
д-р техн. наук, профессор (Москва)

МАНГУШЕВ Р.А.,
д-р техн. наук, член-корреспондент
РААСН (Санкт-Петербург)

ОРЕЛЬСКАЯ О.В.,
д-р архитектуры, член-корреспондент
РААСН, профессор (Нижний Новгород)

ОСИПОВА Н.Н.,
д-р техн. наук (Саратов)

СУББОТИН О.С.,
д-р архитектуры (Краснодар)

ТАБУНЩИКОВ Ю.А.,
д-р техн. наук, член-корреспондент
РААСН, профессор (Москва)

ТЕР-МАТИРОСЯН А.З.,
д-р техн. наук (Москва)

ТИХОНОВ И.Н.,
д-р техн. наук (Москва)

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 статью
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.

ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Издается с 1958 г.

5'2023

Сейсмостойкое строительство

А. КОЧУЛУ, Д.А. КОЧУЛУ

Причины землетрясения в Турции и последствия колоссального
разрушительного воздействия 4

И.Н. ТИХОНОВ

О причинах катастрофических разрушений железобетонных конструкций
при сейсмических воздействиях 13

Новые виды арматурного проката для эффективного проектирования

и строительства (Информация) 22

Материалы и конструкции

Л.Ю. ЕРМОШИНА, А.Е. ШИПКОВА, А.З. ТЕР-МАТИРОСЯН, Г.О. АНЖЕЛО

Определение прочностных характеристик горных пород в воздушно-сухом
и водонасыщенном состояниях 23

Защита населенных пунктов от природных явлений

А.В. МАСЛЯЕВ

Первоочередные задачи строительной науки России 29

Подземное строительство

Д.Ю. ЧУНЮК, В.С. ГРИШИН

Эффективность применения некоторых видов защитных конструктивных мероприятий
при разработке котлована 35

Н.С. СОКОЛОВ, С.Н. СОКОЛОВ, А.Н. СОКОЛОВ

Отрицательный опыт геотехнических расчетов и устройства удерживающих
заглубленных конструкций 42

Расчет конструкций

А.Д. ДЕНИСОВА, А.С. ШЕХОВЦОВ, Е.Д. КУЖМАН

Влияние температуры на работу композиционного материала,
применяемого при усилении железобетонных конструкций, при растяжении 46

О.Д. САМАРИН

Уточненная методика расчета промерзания наружных ограждений
и увлажненных материалов 54

Founder of the journal: AO «TSNIEP zhilishcha»
Address: 9/3 Dmitrovskoye Highway, 127434,
Moscow, Russian Federation

Publisher: «STROYMATERIALY»
Advertising-Publishing Firm, OOO
Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,
Moscow, 125319, Russian Federation

The journal is registered by the RF Ministry
of Press, Broadcasting and Mass
Communications, № FS77-64906

Editor-in-chief

YUMASHEVA E.,
chemical process engineer,
Honorary Builder of Russia

Editorial Board:

NIKOLAEV S.,
Chairman,
Doctor of Sciences (Engineering),
AO «TSNIEP zhilishcha» (Moscow)

ALEKSEEV Yu.,
Doctor of Architecture, Professor (Moscow)

AZAROV V.,
Doctor of Sciences (Engineering),
(Volgograd)

AKIMOV P.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Academician of RAACS (Moscow)

BODROV M.V.,
Doctor of Sciences (Engineering)
(Nizhny Novgorod)

VAVRENJUK S.,
Doctor of sciences (Engineering),
Corresponding member of RAACS
(Vladivostok)

VOLKOV A.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Corresponding member of RAACS
(Moscow)

GAGARIN V.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Corresponding member of RAACS
(Moscow)

ZHUSUPBEKOV A.,
Doctor of Sciences (Engineering)
(Astana, Kazakhstan)

ZVEZDOV A.,
Doctor of Sciences (Engineering),
President, Association «Zhelezobeton»
(Moscow)

IL'ICHEV V.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Academician of RAACS, Research
Supervisor of the Academic Scientific
and Creative Center of RAACS (Moscow)

KOLCHUNOV V.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Academician of RAACS (Kursk)

LAPIDUS A.A.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Moscow)

MANGUSHEV R.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Corresponding member of RAACS
(Saint-Petersburg)

ORELSKAYA O.,
Doctor of Architecture, Corresponding
member of RAACS, Professor
(Nizhny Novgorod)

OSIPOVA N.N.,
Doctor of Sciences (Engineering) (Saratov)

SUBBOTIN O.,
Doctor of Architecture (Krasnodar)

TABUNTSCHIKOV Yu.A.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Corresponding member of RAACS,
Professor (Moscow)

TER-MARTIROSIAN A.,
Doctor of Sciences (Engineering) (Moscow)

TIKHONOV I.,
Doctor of Sciences (Engineering) (Moscow)

The authors

of published materials are responsible for the accuracy of the submitted information, the accuracy of the data from the cited literature and for using in articles data which are not open to the public.

The Editorial Staff

can publish the articles as a matter for discussion, not sharing the point of view of the author.

Reprinting

and reproduction of articles, promotional and illustrative materials are possible only with the written permission of the editor-in-chief.

The Editorial Staff is not responsible for the content of advertisements and announcements.

ZHILISHCHNOE STROITEL'STVO

Published since 1958

5'2023

Anti-seismic construction

A. KOCHULU, D.A. KOCHULU

Causes of the Earthquake in Turkey and the Consequences

of the Colossal Destructive Impact 4

I.N. TIKHONOV

On the Causes of Catastrophic Destruction of Reinforced Concrete Structures

under Seismic Impacts 13

New Types of Rebar for Efficient Design and Construction (*Information*) 22

Materials and structures

L.Yu. ERMOSHINA, A.E. SHIPKOVA, A.Z. TER-MARTIROSIAN, G.O. ANZHELO

Determination of Strength Characteristics of Rocks in Air-Dry and Water-Saturated State 23

Protection of human settlements from natural phenomena

A.V. MASLYAEV

Priority Tasks of Construction Science in Russia 29

Underground construction

D.Yu. CHUNYUK, V.S. GRISHIN

The Effectiveness of the Use of Certain Types of Protective Constructive Measures

in the Development of the Pit 35

N.S. SOKOLOV, S.N. SOKOLOV, A.N. SOKOLOV

Negative Experience of Geotechnical Calculations and Installation

of Retaining Buried Structures 42

Structural calculations

A.D. DENISOVA, A.S. SHEKHOVTSOV, E.D. KUZHMANN

Influence of Temperature on Tensile Behavior of Composite Material Used

in Strengthening Reinforced Concrete Structures 46

O.D. SAMARIN

Refined Method of Calculation of Freezing of External Fences and Moistened Materials 54

Editorial address: 9/3, Dmitrovskoye Hwy, 127434, Moscow, Russian Federation

Tel.: (499) 976-22-08; 976-20-36

Email: mail@rifsm.ru http://www.journal-hc.ru http://www.rifsm.ru



НИИЖБ
ИМ. А.А. ГВОЗДЕВА



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр

**Центр № 21 (руководитель Тихонов И.Н., д-р техн. наук, лауреат двух премий Правительства РФ)
и Лаборатория № 8 (руководитель Крылов С.Б., д-р техн. наук, член-корр. РААСН)
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»**

ВЫПОЛНЯЮТ

1. Проектирование зданий и сооружений из железобетона на обычную и сейсмическую нагрузку с использованием:
 - инновационного арматурного проката классов А_у500СП и А_в500П (винтовая), сварных и механических соединений;
 - новых конструктивных решений несущих элементов и их узловых соединений, обеспечивающих повышенную безопасность и экономическую эффективность обычного и сейсмостойкого строительства;
 - расчетной методики для оценки способности к пластическому деформированию сечений несущих конструктивных элементов с целью обоснования использования коэффициента K₁, учитывающего допускаемые повреждения зданий и сооружений (таблица 5.2 СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах»).
2. Проектирование зданий и сооружений с учетом сопротивления прогрессирующему обрушению несущих конструкций.
3. Научно-техническое сопровождение проектирования зданий и сооружений на все виды нагрузок, в том числе сейсмические, взрывные и ударные, а также сопровождение при согласовании в органах экспертизы на всех уровнях.
4. Обследование и оценку технического состояния строящихся и построенных зданий и сооружений с целью определения возможности продолжения строительства, а также при необходимости усиления несущих конструкций с разработкой проектной рабочей документации.
5. Экспертизу проектных конструктивных решений на стадии «Проект» и «Рабочая документация» с целью оценки их эффективности и выявления имеющихся резервов для снижения материалоемкости.
6. Переработку рабочей документации сборных железобетонных элементов с целью использования арматуры классов А_у500СП, А_в500СП, А_у800П, А_в800П, А_у1000П, А_в1000П.

Перечень некоторых выполненных работ по научно-техническому сопровождению проектирования и строительства

1. Проектирование и строительство торгово-развлекательного центра «Море Молл», г. Сочи. Сейсмичность 8 баллов.
2. Проектирование зданий «Охотничье хозяйство», г. Геленджик. Сейсмичность 8 баллов.
3. Проектирование жилого комплекса, г. Ялта. Пять 20-этажных зданий с надземной стоянкой. Сейсмичность 8 баллов.
4. Космодром «Восточный». Сейсмичность 8 баллов.
5. Комплекс сооружений Зейской ГЭС и Усть-Среднеканской ГЭС. Сейсмичность 8–9 баллов.

Внедрение арматуры классов А500СП, А_у500СП и А_в1000П (произведено более 4 млн т на ЕВРАЗ ЗСМК)

1. Здания и сооружения космодромов «Восточный» и «Плесецк».
2. Высотные здания, г. Астана, Республика Казахстан.
3. Здания массовой застройки, г. Улан-Батор, Монголия.
4. Олимпийские объекты и морской порт, г. Сочи.
5. Здания массовой застройки городов Сибири, Дальнего Востока, Поволжья, Приуралья и др.
6. Проектная документация для производства сборного железобетона (более 30 наименований), в том числе сваи забивные; перемычки брусковые; дорожные плиты; колонны серий 1.020, 1.420, РС 2261-92; фундаменты для колонн серии 1.020; стальных опор ВЛ 35-500 кв; центрифугированные опоры ЛЭП длиной до 26 м и др.

Экономический эффект оценивается снижением расхода арматуры на 5–20%.

Центр № 21

Тихонов Игорь Николаевич, руководитель
Тел.: +79857648520; e-mail: niijhb_tikhonov@mail.ru

Лаборатория № 8

Крылов Сергей Борисович, руководитель
Тел.: +79653222147; e-mail: niizhb_lab8@mail.ru

УДК 550.349

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-4-12>

А. КОЧУЛУ¹, инженер-строитель (argun.koculu@bk.ru);
Д.А. КОЧУЛУ², инженер-строитель (j.kochulu@yandex.ru)

¹ Ближневосточный технический университет (METU)
(06800, Турция, Чанкая Анкара, Бульвар Думлупынар, 1, Университетский квартал)

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Причины землетрясения в Турции и последствия колоссального разрушительного воздействия

В феврале 2023 г. в районе Восточно-Анатолийского разлома в Кахраманмараше (Турция) произошли два крупных землетрясения – в Пазарджике ($M_w=7,7$) и в Эльбистане ($M_w=7,6$) с интервалом 9 ч. В общей сложности от этих землетрясений пострадали 11 городов и 15 млн человек: погибло более 46 тыс. человек, получили ранения более 110 тыс. человек, разрушено более 100 тыс. зданий. За первые 17 дней после этих двух сильнейших землетрясений произошло 8032 подземных толчка, из них 424 силой более $M_w=4$. Пиковое ускорение грунта, которое намного превышает спецификации при землетрясениях: максимальное пиковое горизонтальное ускорение (PGA) составило 1,23 g, вертикальное ускорение грунта составило 1,09 g. Измерения, проведенные на 250 станциях землетрясений в Турции, позволяют ученым всего мира проводить более точный анализ землетрясений. Основные причины разрушения зданий в Турции в результате сейсмических воздействий следующие: колоссальное значение пикового ускорения грунта (PGA); соразмерность горизонтальных и вертикальных составляющих пикового ускорения грунта (аg горизонтальное = 1,23 g; аg вертикальное = 1,09 g); существенные перемещения грунтового основания в результате двух землетрясений магнитудой $M_w=7,7$ и $M_w=7,6$ с последующими 8032 афтершоками (толчок, происходящий после основного, и меньший по сравнению с ним); неблагоприятные характеристики грунтового основания; стремление к максимальной экономии на проектировании за счет использования труда неопытных инженеров, работающих в программных комплексах без глубокого понимания методики конечно-элементного анализа, конструктивных требований, а также особенностей проектирования в сейсмических районах; низкий контроль качества строительного производства как со стороны компаний, так и со стороны государственных органов; применение неправильных конструктивных решений, которые не обеспечивают требований надежности с учетом строительства в сейсмических районах, таких как применение рамных систем без сейсмоизоляции, безригельных плит перекрытия минимальной толщины; низкое качество материалов в совокупности с низким качеством ухода за бетоном; применение гладкой арматуры в старых проектах (не обеспечивается требуемая анкеровка); нарушение конструктивных требований (как на этапе проектирования, так и на этапе строительства) в части устройства поперечной арматуры в целях предотвращения выпучивания продольной арматуры, восприятия поперечных сил и крутящих моментов; непопулярность применения пассивной сейсмоизоляции в массовом жилищном строительстве по причине ее высокой стоимости и ограниченного срока службы; отсутствие надежных данных по сейсмическому районированию с указанием максимальных значений пикового ускорения грунта (PGA).

Ключевые слова: землетрясение, причины и последствия землетрясения, тектонический разлом, магнитуда, пиковое горизонтальное и вертикальное ускорение, сейсмика, разрушение, причины обрушения зданий, региональная тектоника, предельное состояние, особые воздействия, аварийная расчетная ситуация.

Авторы чтят память о тех, кто погиб, и выражают благодарность представителям семидесяти четырех стран, которые участвовали в разборе завалов после землетрясения.

Для цитирования: Кочулу А., Кочулу Д.А. Причины землетрясения в Турции и последствия колоссального разрушительного воздействия // *Жилищное строительство*. 2023. № 5. С. 4–12.
DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-4-12>

A. KOCHULU¹, Civil Engineer (argun.koculu@bk.ru);
D.A. KOCHULU², Civil Engineer (j.kochulu@yandex.ru)

¹ Middle East Technical University (METU) (1, Dumlupinar Boulevard, 06800, University Quarter, Cankaya Ankara, 06800, Turkey)

² National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Causes of the Earthquake in Turkey and the Consequences of the Colossal Destructive Impact

In February 2023, 2 large earthquakes occurred in the region of the East Anatolian Fault in Kahramanmaraş (Turkey) – in Pazardzhik ($M_w=7.7$) and Elbistan ($M_w=7.6$) with an interval of 9 hours. In total, these earthquakes affected 11 cities and 15 million people: more than 46 thousand people died, more than 110 thousand people were injured, more than 100 thousand buildings were destroyed. In the first 17 days after these two earthquakes, 8032 aftershocks occurred, of which 424 were more than M_w 4. Peak ground accelerations that far exceed specifications during earthquakes: maximum peak horizontal acceleration (PGA) was 1.23 g, vertical ground acceleration was 1.09 g. The measurements taken at 250 earthquake stations in Turkey allow scientists around the world to conduct more accurate earthquake analysis. The main reasons for the destruction of buildings in Turkey as a result of seismic impacts are as follows: the enormous value of peak ground acceleration (PGA); proportionality of the horizontal and vertical components of the peak ground acceleration (a_g horizontal = 1.23 g; a_g vertical = 1.09 g); significant displacements of the ground base as a result of two earthquakes of magnitude $M_w=7.7$ and $M_w=7.6$ followed by 8032 aftershocks; unfavorable characteristics of the soil base; the desire of capitalist companies to maximize savings on design by using the labor of inexperienced engineers working in software complexes without a deep understanding of the methods of finite element analysis, design requirements, as well as design features in seismic areas; low quality control of construction production both on the part of capitalist companies and on the part of government agencies; the use of incorrect design solutions that do not provide reliability requirements taking into account construction in seismic areas, such as the use of frame systems without seismic insulation, transomless floor slabs of minimum thickness; low quality of materials in combination with low quality of concrete care; the use of smooth reinforcement in old projects (the required anchoring is not provided); violation of design requirements (both at the design stage and at the construction stage) in terms of the installation of transverse reinforcement in order to prevent buckling of longitudinal reinforcement, the perception of transverse forces and torques; the unpopularity of the use of passive seismic isolation in mass housing construction due to its high cost and limited service life; lack of reliable data on seismic zoning indicating maximum values of peak ground acceleration (PGA).

Keywords: earthquake, causes and consequences of an earthquake, tectonic fault, magnitude, peak horizontal and vertical acceleration, seismic, destruction, causes of building collapse, regional tectonics, limit state, special effects, emergency design situation.

The authors honor the memory of those who died and express their gratitude to the representatives of 74 countries who participated in the removal of rubble after the earthquake.

For citation: Kochulu A., Kochulu D.A. Causes of the earthquake in Turkey and the consequences of the colossal destructive impact. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 5, pp. 4–12. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-4-12>

6 февраля 2023 г. в 4 ч 17 мин вдоль Восточно-Анатолийского разлома в Турции с интервалом в 9 ч произошли два самых разрушительных независимых крупных землетрясения XXI в. В соответствии с характеристиками Восточно-Анатолийского разлома (EAF) разломный механизм землетрясений является левосторонним сдвигом (рис. 1).

Первый эпицентр землетрясения находился в районе Пазарджик-Кахраманмараш в 40 км к северо-западу от Газиантепа и в 33 км к юго-востоку от Кахраманмараша с глубиной очага 8,6 км и магни-

тудой $M_w=7,7$. После первого землетрясения, примерно через 9 ч, в 13 ч 24 мин, произошло еще одно сильное землетрясение магнитудой $M_w=7,6$ в районе Эльбистан-Кахраманмараш, которое снова потрясло регион.

Эпицентр второго землетрясения расположен в 62 км к северо-востоку от Кахраманмараша, с глубиной очага 7 км. Всего в регионе на 23.02.2023 г. в пределах 350 км от эпицентра зафиксировано 8032 афтершока, из которых 424 с магнитудой, превышающей $M_w=4$; 37 афтершоков произошли с магнитудой между $M_w=5$ и $M_w=6$. По одному афтершоку соответственно $M_w=6$; $M_w=6,4$; $M_w=6,6$.

Величина, глубина и характеристики источников землетрясений по данным различных национальных и международных агентств приведены в табл. 1 и 2.

Местоположение, характер землетрясения, сейсмическая опасность территории приведены на рис. 2–5.

Региональная тектоника

Восточно-Анатолийский разлом (рис. 6) представляет собой систему левых сдвигов протяженностью около 450 км северо-восточного направления. Он является главной границей Аравийской и Анатолийской плит, по которой Аравийская движется на северо-восток по отношению к Анатолийской со скоростью примерно 10–11 мм/год с полным смещением 15–30 км.



Рис. 1. Расположение эпицентров землетрясения
Fig. 1. Location of earthquake epicenters

Таблица 1
Table 1

**Характеристики землетрясения
Кахраманмараш-Пазарджик (Mw=7,7)**
**Characteristics of the Kahramanmarash-Pazardzhik
earthquake (Mw=7.7)**

Учреждение	Механизм	Глубина, км	МВт
AFAD (www.afad.gov.tr)		8,6	7,7
Обсерватория Кандиллии (Турция)		10	7,7
Геологическая служба Соединенных Штатов (USGS)		17,9	7,8
Европейско-Средиземноморский сейсмологический центр (EMSC)		10	7,7

Таблица 2
Table 2

**Характеристики землетрясения
Кахраманмараш-Эльбистан (Mw=7,6)**
**Characteristics of the Kahramanmarash-Elbistan
earthquake (Mw=7.6)**

Учреждение	Механизм	Глубина, км	МВт
AFAD (www.afad.gov.tr)		7	7,6
Обсерватория Кандиллии (Турция)		10	7,6
Геологическая служба Соединенных Штатов (USGS)		10	7,5
Европейско-Средиземноморский сейсмологический центр (EMSC)	HAB	10	7,5



Рис. 2. Восточно-Анатолийский разлом (EAF)
Fig. 2. East Anatolian Fault (EAF)



Рис. 3. Записи и метаданные станций, распространенные через веб-сайт Президентства по управлению бедствиями и чрезвычайными ситуациями (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı – AFAD) вскоре после обоих землетрясений

Fig. 3. Station records and metadata disseminated through the Presidency's Disaster and Emergency Management (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı – AFAD) website shortly after both earthquakes

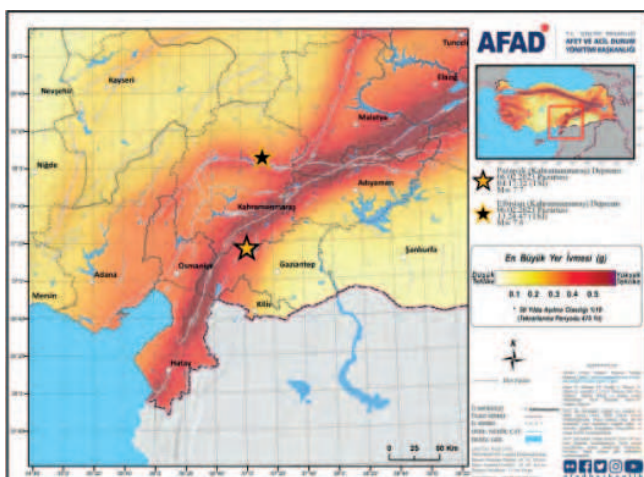


Рис. 4. Сейсмическая опасность зоны землетрясений (AFAD)
Fig. 4. Earthquake Zone Seismic Hazard (AFAD)



Карта зон землетрясения в Турции 2018



Карта опасности землетрясения в Турции

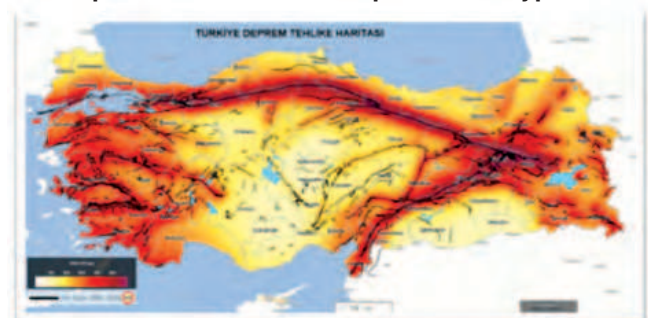


Рис. 5. Карты зон опасности землетрясений (AFAD)
Fig. 5. Earthquake Hazard Area Maps (AFAD)



Рис. 6. Тектоника и система Восточно-Анатолийского разлома
Source: CSEM-EMSC+GEV+Jason R. Patton
Fig. 6. Tectonics and system of the East Anatolian Fault
Source: CSEM-EMSC+GEV+Jason R. Patton

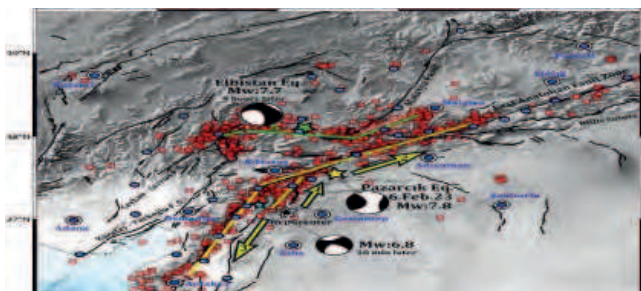


Рис. 7. Сейсмотектоническая карта землетрясений (METU-Центр инженерных исследований землетрясений)
Fig. 7. Seismotectonic Earthquake Map (METU-Earthquake Engineering Research Center)



Рис. 8. Оползни и поверхностные трещины на дорогах (METU-Центр инженерных исследований землетрясений)
Fig. 8. Landslides and Surface Cracks on Roads (METU-Earthquake Engineering Research Center)



Рис. 9. Спутниковые снимки Роскосмоса, на которых видно, что образовалась зона подтопления рядом с аэропортом Хатай. Через некоторое время зона подтопления исчезла
Fig. 9. Satellite images of Roskomos, which show that a flood zone has formed near the Hatay airport. After a while, the flood zone disappeared



Рис. 10. Смещение дорог и железнодорожных путей (METU-Центр инженерных исследований землетрясений)
Fig. 10. Displacement of roads and railways (METU-Earthquake Engineering Research Center)

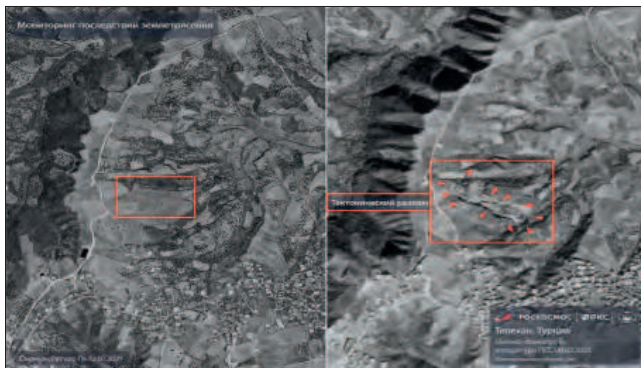


Рис. 11. Антакийский тектонический разлом на спутниковых снимках Роскосмоса
Fig. 11. Antakia tectonic fault on satellite images of Roskomos



Рис. 12. Антакийский тектонический разлом
Fig. 12. Antakia tectonic fault

Этим смещением пренебрегали, считая, что последние несколько десятилетий этот регион был сейсмически тихим. В некоторых исследованиях подчеркивается, что это спокойствие может быть проявлением будущих событий [1–7].

На рис. 7 показаны плоскости разрыва и афтершоки, а также тензоры направлений недавних крупных землетрясений. Разрывы пронумерованы по времени, а стрелки указывают предполагаемое направление разрыва начального Пазарджикского землетрясения ($M_w=7,8$), которое демонстрирует направленность и прерывистую эволюцию разрыва.

Пиковые горизонтальное и вертикальное ускорения грунта

При первом землетрясении в Пазарджик-Кахраманмараше ($M_w=7,7$) максимальное пиковое ускорение грунта (PGA) составило 1,23g – зафиксировано станцией № 3126 в г. Антакия; при втором землетрясении в Эльбистан-Кахраманмараше ($M_w=7,6$) пиковое ускорение грунта (PGA) составило 0,65g – зафиксировано на станции № 4612 в Кахраманмараш-Гёксуне. Пиковое вертикальное ускорение грунта составило 1070 см/с², что сопоставимо с горизонтальным.

При подготовке статьи использована информация Управления по борьбе со стихийными бедствиями и чрезвычайными ситуациями

Таблица 3
Table 3

Характер разрушений зданий в городах, подверженных землетрясению
The nature of the destruction of buildings in cities prone to earthquakes

Damage State	Hatay	K.maraş	Adiyaman	Malatya	Gaziantep	Kilis	Adana	Diyarbakir	Osmaniye	Ş.urfa	Elaziğ
None	29188	25420	21365	7463	89092	2849	1688	18039	22041	19585	9503
Light	17212	20556	38823	8960	29471	2208	5314	6725	8034	13507	15532
Moderate	2827	1058	2613	945	4361	137	304	713	266	550	138
Heavy/Collapse Urgent Demolish	15248	12980	6990	8365	12964	812	59	643	2531	466	664

Таблица 4
Table 4

Инвентаризация повреждений зданий по состоянию на 16.02.2023 г.
(METU-Центр инженерных исследований землетрясений)
Building Damage Inventory as of February 16, 2023
(METU-Earthquake Engineering Research Center)

Высокий интенсивный урон	104 894	13%	40%
Умеренно сильное повреждение	24 464	3%	
Низкий интенсивный урон	205 083	25%	
Неповрежденное здание	502 049	60%	
Общее количество зданий	836 490	100%	

Таблица 5
Table 5

Интенсивность повреждений в зданиях на 16.02.2023 г.
Intensity of damages in buildings as of February 16, 2023

Высокий интенсивный урон	Хатай, Кахраманмараш, Газиантеп
Средний интенсивный урон	Адыяман, Малакья
Низкий интенсивный урон	Килис, Адана, Диярбакыр, Османие, Шанлыурфа, Элязиг



Рис. 13. Обрушение зданий в Антакье и Кахраманмараше
(рис. 13–21: METU-Центра исследования землетрясений)
Fig. 13. Collapse of buildings in Antakya and Kahramanmaraş
(Fig. 13–21: METU-Earthquake Research Center)



Рис. 14. Обрушение здания в Малакье
Fig. 14. Building collapse in Malatya



Рис. 15. Опрокидывание из-за разжижения грунта и недостаточной детализации армирования швов
Fig. 15. Overturning due to soil liquefaction and insufficient detailing of the seam reinforcement



Рис. 16. Сильно повреждены новые здания в Адыямане и Ислахие
Fig. 16. Heavily damaged new buildings in Adiyaman and Islahi

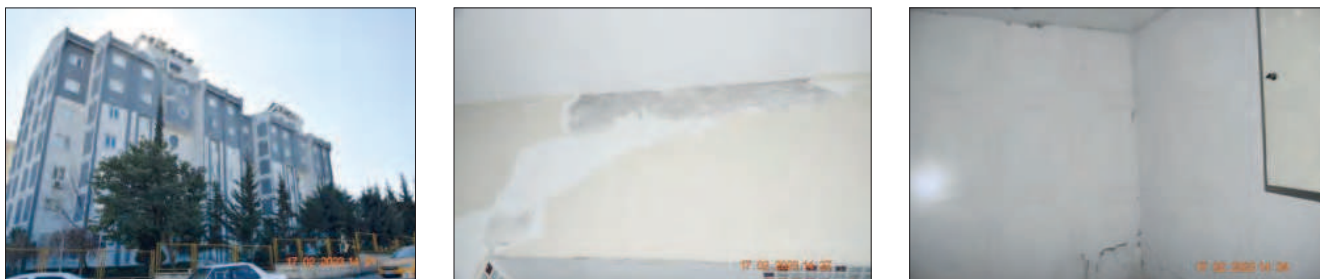


Рис. 17. Здания туннельной формы
Fig. 17. Tunnel shaped buildings

www.afad.gov.tr; <https://tadas.afad.gov.tr/event-detail/15499>; Исследовательского института землетрясений Кандилльской обсерватории Университета Богазичи, Департамент инженерных исследований землетрясений (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/data-request/>; <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/06-subat-20-subat-2023-depremlerine-ait-on-degerlendirme-raporu/>; https://eqe.boun.edu.tr/sites/eqe.boun.edu.tr/files/kahramanmaras-gaziantep_earthquake_06-02-23_large_hist_eqs_v1.pdf; <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/data-request/>); Ближневосточного технического университета (https://eerc.metu.edu.tr/en/system/files/documents/DMAM_Report_2023_Kahramanmaras-Pazarcik_and_Elbistan_Earthquakes_Report_final_ENG.pdf; https://eerc.metu.edu.tr/en/system/files/documents/CH4_Strong_Ground_Motion_Report_2023-02-20.pdf).

Последствия землетрясения 6 февраля 2023 г.

В отличие от предыдущих землетрясений, при которых ущерб обычно концентрировался в определенном городе, в данном случае повреждения зданий распространились на 11 городов. Инвентаризация

повреждений зданий по состоянию на 16 февраля 2023 г. представлена в табл. 3–5.

Оба землетрясения разрушили города Кахраманмараш, Адыяман, Хатай, Османие, Газиантеп, Килис, Шанлыурфа, Диярбакыр, Малатья, Адана и Элязыг с населением более 15 млн человек. Погибло более 46 тыс. человек; ранено более 110 тыс. человек; разрушено/повреждено зданий и сооружений более 104 тыс. (рис. 8–12).

Характеристики разрушений железобетонных зданий постройки до 2000 г.

Типичные недостатки каркасных зданий, построенных до 2000 г., связаны с использованием гладких арматурных стержней, недостаточного количества стальной арматуры и, возможно, с низкой прочностью бетона, что привело к серьезным повреждениям и обрушениям (рис. 13–15). Наличие гибкого этажа над уровнем земли или над цоколем было одной из ключевых причин обрушения многих зданий. Использование цокольных этажей в качестве коммерческих магазинов с небольшим заполнением стен или без

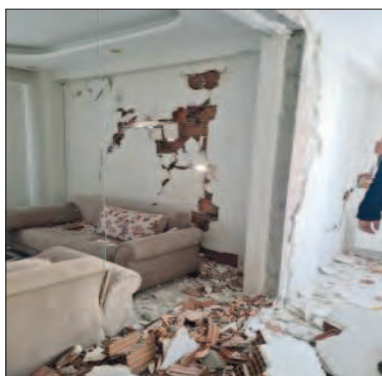


Рис. 18. Примеры повреждений заполнения стен

Fig. 18. Examples of damage to wall infills



Рис. 19. Повреждения каменных конструкций

Fig. 19. Damages to stone structures



Рис. 20. Повреждения усиленного здания в Хатае

Fig. 20. Damages to a reinforced building in Hatay

них привело к разрушению колонн и обрушению этажей, как это наблюдалось во время предыдущих землетрясений (Коджаэли, 1999 г.; Ван, 2011 г.). Это показано на рис. 14. В нескольких зданиях произошло разрушение стыков балки и колонны. Еще одним из типов разрушения было опрокидывание здания вместе с фундаментом (рис. 15).

Характеристики разрушений железобетонных зданий постройки после 2000 г.

Эти здания, предположительно спроектированные и построенные в соответствии с нормами последних

изданий, показали себя лучше, чем старые здания. Тем не менее более тысячи зданий, построенных после 2000 г., были сильно повреждены или обрушены. Это представляет важным наблюдением, требующим дальнейшего изучения качества строительства, конструктивных и объемно-планировочных решений этих зданий (рис. 16). Некоторые причины повреждения зданий современной постройки: использование гибких балочных плит в качестве диафрагм; недостаточный учет величины горизонтального сдвигающего усилия на вертикальные несущие элементы; недостатки программного обеспечения для проектирова-



Рис. 21. Обзор поврежденных соединений сборного промышленного здания в Кахраманмараше
Fig. 21. Overview of damages to the joints of a prefabricated industrial building in Kahramanmaraş

ния зданий; ошибки на строительной площадке; недооценка сейсмических требований; недостаточные геотехнические исследования участка перед строительством здания и недостатки проектных решений фундаментов зданий. Строительство с использованием туннельной опалубки можно оценить положительно при данном землетрясении (рис. 17–21).

Выводы

Турецкие сейсмологи записали большой объем информации, задействовав 250 станций, расположенных в районе землетрясения. Массивы данных позволят мировому научному сообществу детальнее изучить природу землетрясений.

Необходимо пересмотреть нормативную базу в части проектирования в сейсмически активных районах с учетом полученных данных (включая

информацию о возможных пиковых ускорениях грунта в горизонтальном и вертикальном направлениях), а также разработать и утвердить Кодекс безопасности проектирования зданий из железобетона на сейсмическую нагрузку (<https://stroygaz.ru/publication/materials/eksperty-predlozhili-sozdat-kodeks-bezopasnosti-proektirovaniya-zdaniy-iz-zhelezobetona-na-seysmiche/>).

Необходимо ввести в нормативные документы понятие «третье предельное состояние», допускающее локальные повреждения конструкций, при которых не представляется угрозы жизни и здоровью проживающих в зданиях людей [5–13].

Необходимо совершенствовать технологии сейсмических изоляторов, уменьшать их стоимость и делать доступными для массового использования в жилищном строительстве.

Список литературы

1. Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А. Проблемы учета нелинейностей в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения). М.: Изд-во МГСУ, 2012. 192 с.
2. Соснин А.В. Об уточнении коэффициента допускаемых повреждений K_1 и его согласованности с концепцией редукции сейсмических сил в постановке спектрального метода (в порядке обсуждения) // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 1 (60).

References

1. Mkrtychev O.V., Dzhinchvelashvili G.A. Problemy ucheta nelineinostei v teorii seismostoikosti (gipotezy i zabluzhdeniya) [Problems of nonlinearities in earthquake resistance theory (hypotheses and errors)]. Moscow: MSUCE Publ. 2012. 192 p.
2. Sosnin A.V. About Refinement of seismic-force-reduction factor K_1 and its coherence with response modification technique directed by the spectrum method (in order of discussion). *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*. 2017. No. 1 (60). (In Russian).

3. Соснин А.В. Об алгоритме уточнения коэффициента допускаемых повреждений K1 по кривой несущей способности для оценки сейсмостойкости железобетонных каркасных зданий массового строительства // *Жилищное строительство*. 2017. № 1–2. С. 60–70.
4. Джинчвелашвили Г.А., Мкртычев О.В., Соснин А.В. Анализ основных положений СП 14.13330.2011 «СНиП II-7–81*. Строительство в сейсмических районах» // *Промышленное и гражданское строительство*. 2011. № 9. С. 17–21.
5. Белов Н.Н., Кабанцев О.В., Копаница Д.Г., Югов Н.Т. Расчетно-экспериментальный метод анализа динамической прочности элементов железобетонных конструкций. Томск: STT, 2008. 292 с.
6. Мамаева Г.В. Динамические характеристики каркасных зданий // *Строительная механика и расчет сооружений*. 1988. № 5. С. 46–51.
7. Abdollahzadeh Gh., Kambakhsh A.M. Height Effect on response modification factor of open chevron eccentrically braced frames // *Iranica Journal of Energy & Environment*. 2012. No. 3 (1), pp. 89–94. DOI: 10.5829/idosi.ijee.2012.03.01.2559
8. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 8: Проектирование сейсмостойких конструкций: Руководство для проектировщиков к EN 1998-1 и EN 1998-5 Еврокод 8: Общие нормы проектирования сейсмостойких конструкций, сейсмические воздействия, правила проектирования зданий и подпорных сооружений / Пер. с англ. М. Фардис и др. М.: МГСУ, 2013. 484 с.
9. Rubin M., Zallen P.E. Behavior of structures during earthquakes // *Forensic Engineering in Construction*. 2002. No. 7, pp. 1–5.
10. Аминтаев Г.Ш. Сейсмическая безопасность – цель, сейсмостойкость сооружений – средство // *Инженерные изыскания*. 2014. № 2. С. 48–53.
11. Назаров Ю.П., Ойзерман В.И. Метод трех моделей в расчетах сооружений на сейсмические воздействия // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2007. № 6. С. 6–8.
12. Кабанцев О.В., Усеинов Э.С., Шарипов Ш. О методике определения коэффициента допускаемых повреждений сейсмостойких конструкций // *Вестник ТГАСУ*. 2016. № 2. С. 117–129.
13. Айзенберг Я.М. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 года. Некоторые уроки и выводы // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 1999. № 1. С. 6–9.
3. Sosnin A.V. About a Refinement Procedure of SeismicForceReduction Factor K1 using a Pushover Curve for EarthquakeResistance Estimation of RC LSC Frame Buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 1–2, pp. 60–70. (In Russian).
4. Dzhinchvelashvili G.A., Mkrtychev O.V., Sosnin A.V. General provisions analysis of the seismic building design code SP 14.13330.2011 «SNiP II-7–81*. Construction in Seismic Areas». *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2011. No. 9, pp. 17–21. (In Russian).
5. Belov N.N., Kabantsev O.V., Kopanitsa D.G., Yugov N.T. Raschetno-eksperimental'nyi metod analiza dinamicheskoi prochnosti elementov zhelezobetonnykh konstruksiy [Calculation-experimental method for analysis of RC structures dynamic strength]. Tomsk: STT Publ. 2008. 292 p.
6. Mamaeva G.V. Dynamic parameters of frame buildings. *Stroitel'naja mehanika i raschjot sooruzheniy*. 1988. No. 5, pp. 46–51. (In Russian).
7. Abdollahzadeh Gh., Kambakhsh A.M. Height Effect on response modification factor of open chevron eccentrically braced frames. *Iranica Journal of Energy & Environment*. 2012. No. 3 (1), pp. 89–94. DOI: 10.5829/idosi.ijee.2012.03.01.2559
8. Guidelines for designers to the Eurocode 8: Design of earthquake-resistant structures: a guide for designers to EN 1998-1 and EN 1998-5 Eurocode 8: General rules seismic design, seismic effects, the rules of designing buildings and retaining structures: Per. from English. Fardis M. et al. Moscow: MSUSE Publ. 2013. 484 p.
9. Rubin M., Zallen P.E. Behavior of structures during earthquakes. *Forensic Engineering in Construction*. 2002. No. 7, pp. 1–5.
10. Amintaev G.Sh. Seismic safety – purpose, earthquake resistant structures – means. *Inzhenernie izyskaniya*. 2014. No. 2, pp. 48–53. (In Russian).
11. Nazarov Yu.P., Ojzerman V.I. The 3-models method for earthquake resistance estimation of structures under seismic loads. *Stroitel'naja mehanika i raschjot sooruzheniy*. 2007. No. 6, pp. 6–8. (In Russian).
12. Kabantsev O.V., Useinov E.S., SHaripov SH. Determination of allowable damage factor of antiseismic structures. *Vestnik TGASU*. 2016. No. 2, pp. 117–129. (In Russian).
13. Aizenberg Ya.M. Spitak earthquake on December 7, 1988. Some lessons and conclusions. *Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii*. 1999. No. 1, pp. 6–9. (In Russian).

УДК 699.841

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-13-21>

И.Н. ТИХОНОВ, д-р техн. наук, руководитель Центра № 21 (niihb_tikhonov@mail.ru)

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона
им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» (109428, г Москва, 2-я Институтская ул., 6)

О причинах катастрофических разрушений железобетонных конструкций при сейсмических воздействиях

Катастрофические разрушения жилых зданий из железобетона массовой застройки последних десятилетий при землетрясении 6 февраля 2023 г. на территории Турецкой Республики выявили низкую способность их сопротивления сейсмическим воздействиям большой силы, не предусмотренным проектом. В данном случае для сохранения жизни людей и их эвакуации необходимо обеспечить задержку во времени процесса разрушения железобетонных конструкций путем использования надежных, не теряющих сопротивления в предельной стадии деформирования, а также сцепления в местах анкеровки и нахлестки стержней, бетона и арматуры. Этому должны способствовать используемые при проектировании методики нелинейного расчета и приемы конструирования наиболее ответственных несущих элементов и их сечений, а также армирование, обеспечивающие пластическое деформирование конструкций с целью перераспределения усилий, необходимых для диссипации энергии сейсмического воздействия. Для повышения безопасности сейсмостойкого строительства предлагается производить оценку способности к пластическому деформированию проектных решений армирования железобетонных элементов по требованиям п. 6.7.2 СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81», а также по приводимой в публикации методике, неоднократно использованной в практике проектирования НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство». По эффективности сцепления с бетоном, особенно в предельной стадии пластического деформирования (после достижения напряжениями в металле $\sigma_{T(02)}$), новые отечественные виды арматурного проката с многорядными профилями классов А500СП, А500СР и винтовая А500П, рекомендованные для применения СП 14.13330.2018 (изменение № 2), значительно превосходят зарубежные аналоги. Массовое их производство и использование повысят безопасность строительства и конкурентоспособность отечественной арматуры на мировом рынке. Целесообразно разработать для повсеместного применения «Кодекс безопасного проектирования и строительства зданий в сейсмических районах», в котором обозначить надежные, простые и недорогие требования, обязательные для контроля над строительством в зонах с высокой сейсмоактивностью.*

Ключевые слова: катастрофические разрушения, несовершенство расчетных методик, несовершенство конструктивных решений, предельные нагрузки, анкеровка, нахлестка, сейсмостойкость, балльная шкала интенсивности землетрясения, магнитуда, пластическое деформирование, перераспределение усилий, диссипация, сцепление с бетоном.

Для цитирования: Тихонов И.Н. О причинах катастрофических разрушений железобетонных конструкций при сейсмических воздействиях // Жилищное строительство. 2023. № 5. С. 13–21.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-13-21>

I.N. TIKHONOV, Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Center № 21 (niihb_tikhonov@mail.ru)
Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev

On the Causes of Catastrophic Destruction of Reinforced Concrete Structures under Seismic Impacts

The catastrophic destruction of residential buildings made of reinforced concrete of mass construction in recent decades during the earthquake on February 6, 2023 on the territory of the Republic of Turkey revealed the low ability of their resistance to seismic impacts of great strength not provided for by the project. In this case, in order to save people's lives and evacuate them, it is necessary to ensure a delay in time in the process of destruction of reinforced concrete structures, by using reliable, not losing resistance at the extreme stage of deformation, as well as adhesion at the anchoring and overlapping points of rods, concrete and reinforcement. This should be facilitated by the methods of non-linear calculation used in the design and design techniques for the most critical load-bearing elements and their cross-sections, as well as reinforcement that provides plastic deformation of structures in order to redistribute the forces necessary for the dissipation of seismic impact energy. To improve the safety of earthquake-resistant construction, it is proposed to assess the ability to plastic deformation of design solutions for reinforcing reinforced concrete elements according to the requirements of clause 6.7.2 of SP 14.13330.2018, as well as according to the methodology given in the publication, repeatedly used in the design practice of the NIIZHB name after A.A. Gvozdev JSC "SIC "Construction". In terms of the effectiveness of adhesion to concrete, especially in the extreme stage of plastic deformation (after

reaching the stresses in the metal $\sigma_{T(02)}$), new domestic types of reinforcing bars with multi-row profiles of classes A500SP, Au500SP and screw Av500P, recommended for the use of SP 14.13330.2018 (change № 2), significantly exceed foreign analogues. Their mass production and use will increase the safety of construction and the competitiveness of domestic fittings on the world market. It is advisable to develop a "Code of Safe Design and Construction of Buildings in Seismic Areas" for widespread use, in which to identify reliable, simple and inexpensive requirements that are mandatory for monitoring construction in areas with high seismic activity.

Keywords: catastrophic destructions, imperfection of calculation methods, imperfection of design solutions, extreme loads, anchoring, lapping, seismic resistance, earthquake intensity scale, magnitude, plastic deformation, redistribution of forces, dissipation, adhesion to concrete.

For citation: Tikhonov I.N. On the causes of catastrophic destruction of reinforced concrete structures under seismic impacts. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 5, pp. 13–21. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-13-21>

Землетрясение в Турции 6 февраля 2023 г. подтвердило несовершенство расчетных методик, применяемых материалов, конструктивных решений не только для предотвращения трагедии, но и для отсрочки во времени прогрессирующего обрушения конструкций, обеспечивающей возможность своевременной эвакуации и спасения людей.

В случае запредельных нагрузок неактуален вопрос о сохранении и возможности восстановления зданий. В данном случае необходимо обеспечить поддержку во времени процесса разрушения железобетонных конструкций путем использования надежных, не теряющих сопротивления в запредельной стадии деформирования арматуры и бетона, а также прочность их совместного сцепления на участках анкеровки и нахлестки. Этому должны способствовать используемые при проектировании методики нелинейного расчета и приемы конструирования наиболее ответственных несущих элементов, их сечений и армирование обеспечивающих пластическое деформирование конструкций с целью перераспределения усилий, необходимого для диссипации энергии внешнего силового воздействия. Исключение скоротечного по времени хрупкого и взрывоподобного разрушения расчетных сечений и узловых соединений железобетонных элементов является залогом предотвращения быстрого лавинообразного прогрессирующего обрушения конструкций и главным критерием безопасности зданий.

Вышеизложенные заключения касаются не только малоэтажных зданий массовой застройки, но и высотного строительства.

До настоящего времени считалось, что используемые дорогостоящие технические решения сейсмоизоляции, сложные конструктивные элементы несущего остова, выполнение объемно-планировочных требований норм, применяемые современные металлоконструкции, виды бетонов и арматуры надежно обеспечивают несущую способность зданий повышенной этажности при всех видах внешнего воздействия, в том числе и сейсмического.

В то же время, учитывая последствия землетрясения в Турции, нельзя с уверенностью предсказать поведение современных высотных зданий при сейсмической активности магнитудой $M_w=7-8$, вертикаль-

ном ускорении 1,3g, горизонтальном 1,7g, смещении грунта до 8 м, провалах и разжижении грунта, особенно запроектированных с использованием существующих методик нелинейных расчетов, когда образование шарниров пластичности, определяющих перераспределение усилий и диссипацию энергии, прогнозируется теоретически, а их предполагаемое наличие является основной причиной для снижения сейсмической нагрузки.

Многие катастрофические разрушения зданий из железобетона при турецком землетрясении 6 февраля 2023 г. не оставляли практически никакой надежды на спасение людей, оказавшихся под завалами.

Как отмечают зарубежные специалисты, основные причины этих разрушений следующие.

1. Значительное превышение величин сейсмических нагрузок, нормируемых для проектирования разрушенных зданий.

2. Низкая несущая способность колонн, имеющих малое поперечное сечение и армирование.

3. Недостаточное по количеству поперечное армирование железобетонных элементов, низкое ее качество по изготовлению и крепежу к продольной арматуре.

4. Отсутствие непрерывного армирования в перекрытиях из-за повсеместного использования соединений внахлест продольных рабочих стержней.

5. Отсутствие обвязочных балок по периметру зданий, капителей колонн, несущих перекрестных стен внутри зданий, воспринимающих сдвиговые усилия.

Ко всему этому следует добавить еще несколько пунктов:

– плохое сцепление поверхности используемой арматуры с бетоном, выраженное в повсеместном разрушении анкеровки и нахлестки рабочих стержней;

– ярко выраженный характер хрупкого и, очевидно, лавинообразного разрушения конструкций из-за низкой прочности и деформативности бетона и арматуры, ненадежности безригельной бескапитальной несущей конструктивной системы зданий, несовершенства расчетов, не предусматривающих оценку расчетных сечений несущих элементов зданий на способность их к пластическому деформированию для диссипации внешнего силового воздействия и др.

Учитывая высочайшие силовые характеристики произошедшего землетрясения и особенно вертикальную составляющую по ускорению, превысившую в несколько раз принятую в нормах разных стран, можно было бы сделать вывод о неизбежности катастрофических разрушений и больших человеческих жертв.

Однако можно также утверждать, что при неукоснительном использовании рекомендаций, отдельные из которых уже вошли в СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах», количество человеческих жертв можно было бы значительно уменьшить.

В данном направлении в российских нормах СП 14.13330.2018 (Изменение № 2) для проектирования и строительства в сейсмических районах уже предусмотрены и используются следующие положения.

1. В п. 6.7.2 для обеспечения повышенной пластичности расчетных сечений предусмотрено снижение граничной относительной высоты сжатой зоны бетона (ξ_R), определенной по СП 63.13330.2018, путем введения коэффициента, равного при расчетной сейсмичности 7 баллов – 0,85; 8 баллов – 0,7; 9 баллов – 0,5. Изменением № 2 этот пункт распространяется на результаты всех расчетов, в том числе и по деформационной модели.

2. Впервые в Изменении № 2 п. 6.7.3 отдается предпочтение при сравнении вариантов армирования арматуре с периодическим профилем поверхности, имеющей улучшенное сцепление с бетоном из-за показателя $f_R \geq 0,075$ по ГОСТ 34028–2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия» (п. 3.7.8) и многорядного расположения поперечных ребер классов А500СП и А500П. Данная рекомендация основана на экспериментально установленной способности арматуры с многорядным расположением поперечных ребер сохранять прочность сцепления с бетоном в запредельной стадии деформирования (после достижения напряжениями в металле арматуры физического или условного предела текучести $\sigma_{T(02)}$). Подобное поведение арматуры в бетоне является гарантией образования шарниров пластичности, в том числе и в зонах нахлеста и анкеровки арматуры, способности этих сечений выдерживать нагрузку при перераспределении усилий на другие сечения, а следовательно, способствовать задержке и даже предотвращению прогрессирующего обрушения конструкций, необходимых для эвакуации людей.

3. По итогам анализа последствий землетрясения в Армении (1989 г.) в п. 6.7.4 СП 14.13330.2018 запрещено применение стыкуемых дуговой сваркой стержней арматуры класса А400 марки 35ГС (с повышенным содержанием углерода $\geq 0,24\%$). Образовавшиеся в сварных соединениях анкерных элементов закладных деталей микротрещины из-за высокого

содержания углерода в марке стали 35ГС были одной из причин катастрофических разрушений панельных домов, массово используемых в Армении.

4. Впервые в Изменении № 2 п. 6.7.6 не допускается использовать в качестве рабочей арматуры проволоку Вр500 и арматурный прокат, имеющий полное относительное удлинение при максимальном напряжении δ_{max} : при 7 баллах менее 2,5%; при 8 баллах менее 5%; при 9 баллах менее 7%, с отношением $\sigma_B/\sigma_{T(02)}$:
– при 7 баллах менее 1,08;
– при 8 и 9 баллах менее 1,15.

Данное требование согласуется с требованиями зарубежных норм.

В п. 6.7.7 ограничивается применение холоднодеформированной арматуры класса В500 в качестве конструктивной и монтажной (поперечное армирование) на площадках с сейсмичностью 8 и 9 баллов при выполнении условий:

– удлинение при максимальном напряжении δ_{max} не менее 5%;
– относительное равномерное удлинение δ_p не менее 4,5%;
– отношение $\sigma_B/\sigma_{T(02)}$ не менее 1,08.

Выполнение п. 6.7.6 и 6.7.7 исключает использование холоднодеформированной арматуры в качестве расчетной рабочей продольной и поперечной и разрешает ее использование как конструктивной и монтажной только в районах застройки с сейсмичностью 7 баллов. В данном случае учтены особенности производства данного вида арматуры, при котором даже достижение $\delta_{max}=2,5\%$ сопряжено со значительными производственными трудностями.

5. В п. 6.7.12 в изгибаемых и внецентренно сжатых элементах конструкций допускается осуществлять стыкование рабочей арматуры при диаметре до 18 мм включительно в зонах сейсмичностью 7 и 8 баллов внахлестку без сварки, а в зонах сейсмичностью 9 баллов – внахлестку без сварки, но с «лапками» или другими анкерными устройствами на концах стержней.

Учитывая трагические события в Турции, целесообразно рассмотреть вопрос о запрете нахлестки без сварки также и для зон сейсмичностью 8 баллов, а соединения внахлестку с «лапками» разрешить только в сжатых элементах.

6. В соответствии с п. 6.7.15 диаметр хомутов должен быть не менее 6 мм. Это исключает использование для поперечного армирования холоднодеформированной проволоки Вр500, производимой до 5 мм.

7. В п. 6.8.4 не допускается стыкование продольной арматуры в сборных элементах колонн внахлестку без сварки.

Даже в случае омоноличивания нахлесточных соединений арматуры сборных колонн их использование

в сейсмических районах очень опасно, так как труднопредсказуемо поведение этих соединений в случае катастрофической ситуации при возможной смене знака нагружения от сжатия до растяжения и обратно.

8. В п. 6.8.12 введено требование, предусматривающее повышение безопасности использования в сейсмостойком строительстве безригельных бескапительных каркасов за счет применения непрерывного армирования скрытыми плоскими или объемными арматурными балочными элементами (скрытые балки).

Не менее 30% всей расчетной продольной арматуры плиты следует устанавливать в форме групп каркасов, плоских вертикальных или пространственных прямоугольного или треугольного сечения. Такие каркасы в обоих осевых направлениях следует сосредоточивать в составе полос усиленного армирования над колоннами, где не менее двух плоских каркасов или двух верхних стержней пространственного каркаса должны быть пропущены сквозь тело колонны, а также в составе арматуры, проходящей через срединные участки пролетов. Непрерывность этих каркасов в пределах общих габаритов перекрытия должна быть обеспечена стыковыми сварными или механическими соединениями продольных стержней каркасов в соответствии с п. 6.7.12. Эти стыковые соединения должны располагаться в зонах минимальных изгибающих моментов по соответствующим осевым направлениям и иметь прочность не ниже нормативного сопротивления стыкуемых стержней.

Это требование целесообразно внести обязательным для применения в сейсмостойком строительстве с перекрытиями всех конструктивных решений, в том числе и в плитах балочных и капитальных перекрытий.

Ниже приводятся пояснения по применению при проектировании сейсмостойких зданий из железобетона требований п. 6.7.2 и 6.7.3 СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах».

При расчете прочности железобетонных элементов по предельным усилиям на все виды нагружения предусматривается использование граничной относительной высоты сжатой зоны ξ_R в качестве ориентира для оценки максимальной величины нагрузки, которую может выдержать конструкция.

В этом случае прочность бетона сжатой зоны достигает своих предельных значений при одновременном достижении предела текучести физического σ_T или условного σ_{02} в растянутой арматуре.

Увеличение количества растянутой арматуры не повысит несущую способность элемента.

Установлено, что разрушение железобетонного элемента даже при статическом нагружении при $\xi \geq \xi_R$ происходит хрупко, взрывоподобно и практически без пластического деформирования [1].

Уменьшение количества растянутой арматуры без изменения размеров сечения снизит величину расчетной относительной сжатой зоны элемента до $\xi < \xi_R$, одновременно уменьшит его несущую способность, но повысит пластичность в запредельной стадии деформирования после достижения напряжениями в арматуре $\sigma_{T(02)}$.

Очевидно, что при любом виде нагружения наиболее экономичным является проектирование железобетонных элементов при геометрических характеристиках их сечений, прочности бетона и площади арматуры, обеспечивающих выполнение условия $\xi = \xi_R$ [2].

При статическом нагружении данный так называемый экономический подход к проектированию железобетонных конструкций, когда пластическое деформирование расчетных сечений в запредельной стадии не является остро актуальным для обеспечения безопасности строительства, вполне оправдан.

В случае сейсмического воздействия определяющей для проектирования становится безопасность строительства, зависящая от способности расчетных сечений железобетонных элементов к пластическому деформированию в запредельной стадии нагружения.

Такой подход к проектированию обеспечивает диссипацию энергии динамической составляющей сейсмического нагружения за счет образования пластических шарниров и перераспределения усилий, задерживающих во времени катастрофическое разрушение конструкций зданий и сооружений.

Чем опаснее ожидаемое сейсмическое воздействие, тем эффективнее должна быть от него защита, в том числе путем пластического деформирования конструкций.

Требования п. 6.7.4 СП 14.13330.2018 по снижению граничной высоты сжатой зоны бетона при проектировании сейсмостойких зданий в зависимости от расчетной сейсмичности заставляют конструкторов осуществлять это правило путем выполнения условия:

$$\xi_{min,d} < \xi_d \leq \xi_{Rd}, \quad (1)$$

где ξ_d – относительная высота сжатой зоны бетона, определяемая из условия равновесия внутренних усилий по СП 63.13330.2018 при расчетном динамическом сопротивлении бетона R_{bd} и арматуры при растяжении (R_{sd}) и сжатии (R_{scd}). Эти характеристики следует определять путем умножения величин нормативных сопротивлений ($R_{sn} = R_{scn}$; R_{bn}) по СП 63.13330.2018 на значения коэффициентов условий работы (динамического упрочнения). Величина ξ_{Rd} – граничная относительно сжатой зоны бетона, определяемая при выполнении условий п. 6.7.2 СП 14.13330.2018 (см. табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Основные характеристики арматуры
Main characteristics of reinforcement

Материал	Усилия	Коэффициент динамического упрочнения	Без арматуры в сжатой зоне	С арматурой в растянутой и сжатой зоне			
				A400	A500 (A500С, A500СП, Ау500СП, Ав500П)	A600	A800 A1000
1	2	3	4	5	6	7	8
Арматура	Растяжение	γ_{sv}	Как в столбцах 5–8	1,16	1,1	1,05	1
	Сжатие	γ_{scv}	–	1,1	1,1	1	1
Бетон	Сжатие	γ_{bcv}	1,2	1,1	1,2	1,2	1,2

Таблица 2
Table 2

Расчетные характеристики для арматуры класса А500
Design characteristics for class A500 reinforcement

Расчетные характеристики	Класс арматуры	
	А500 (А500С, А500СП, Ау500СП, Ав500П)	
R_{sn}/R_{sd} , МПа	500/550	
$\xi_{min,d}$	B30	0,054
	B40	0,045
	B50	0,038
ξ_{Rd}	0,25	
\bar{K}_{pld}	10,5	
ε_{s2d}	B30, B40	0,025
	B50, B60	Для 7 баллов 0,025; для 8–9 баллов 0,035

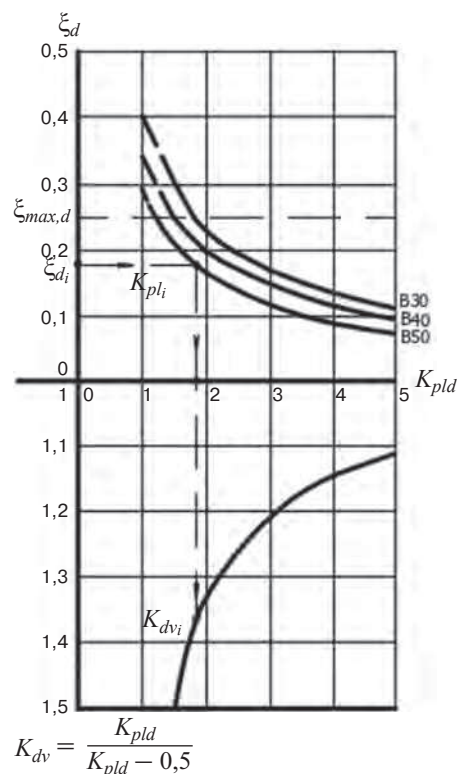


Рис. 1. Зависимость для арматуры класса прочности А500, K_{dv} от K_{pld} и ξ_d
Fig. 1. Dependence for reinforcement of strength class A500, K_{dv} on K_{pld} and ξ_d

$\xi_{min,d}$ – минимально допустимая высота сжатой зоны бетона рассматриваемого сечения, предотвращающая разрыв арматуры, определяемая по формуле:

$$\xi_{min,d} = \frac{0,78\varepsilon_{bmd}\omega_d E_s}{\bar{K}_{pld}R_{sd} + E_s(0,002\bar{K}_{pld} + \varepsilon_{bmd}\omega_d)}, \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} \varepsilon_{bmd} &= 0,002 / (1 - \frac{\omega_d}{1,1}); \\ \omega_d &= 0,85 - 0,006R_{bd}; \\ \bar{K}_{pld} &= \frac{\varepsilon_{s2d}E_s}{R_{sd} + 0,002E_s}. \end{aligned}$$

В табл. 2 приведены расчетные характеристики $\xi_{min,d}$ и ξ_{Rd} , рекомендуемые при проектировании.

При выполнении условия (1), ξ_d расчетных сечений может иметь значения в диапазоне от $\xi_{min,d}=0,054$ до $\xi_{Rd}\approx 0,25$. Таким образом, деформации в растянутой арматуре, влияющие на способность к пластическому деформированию сечений, могут отличаться более чем в пять раз.

В работах [3, 4] приводится зависимость коэффициента динамичности (K_{dv}) от коэффициента пластичности расчетных сечений (K_{pld}):

$$K_{dv} = \frac{K_{pld}}{K_{pld} - 0,5}, \quad (3)$$

где K_{pld} можно определить по формуле:

$$K_{pld} = \frac{\varepsilon_{bmd}\omega_d E_s(0,78 - \xi_d)}{\xi_d(R_{sd} + 0,002E_s)}. \quad (4)$$

На рис. 1 приводятся графики зависимости K_{dv} от K_{pld} и ξ_d , которые могут быть использованы при проектировании.

Можно видеть, что K_{pld} изменяется в диапазоне допустимых значений ξ_d от 1 до 5 и более. При ξ_d , близких к 0,1, коэффициент пластичности близок к 5, а коэффициент динамичности приближается к $K_{dv} \approx 1$. В этом случае геометрия расчетного сечения и его армирование не требуют изменений, шарнир пластичности образуется, диссипация энергии внешнего воздействия обуславливается.

В случае $\xi_d > 0,1$ и $K_{pld} < 5$ для корректировки K_{dv} в сторону уменьшения целесообразно изменение геометрии расчетных сечений рассматриваемого несущего элемента путем увеличения высоты плиты перекрытия, образования капителей вертикальных элементов (колонн, пилонов), втулов у балок, исполь-

зования балок Т- и П-образных сечений, контурных утолщений приопорных участков плоских плит перекрытия, обвязочных балок и др. В этом случае возможно снижение площади растянутой арматуры, так как и при меньшем армировании за счет увеличения плеча внутренней пары сил в бетоне сжатой зоны и в растянутой арматуре несущая способность сечения сохраняется.

При таком подходе к проектированию увеличение сечения приопорных зон элементов перекрытий значительно повысит их несущую способность по наклонному сечению, а использование так называемых распластанных капителей с вылетом сторон до 1/4 пролета увеличит жесткость межколонных плитных частей перекрытия и позволит уменьшить их межкапительную толщину и снизить армирование [5, 6].

При отсутствии возможности изменения геометрии рассматриваемого элемента влияние динамической составляющей сейсмического воздействия может быть компенсировано путем увеличения прочности бетона и площади растянутого и сжатого армирования при сохранении требований (1) и (5):

$$x \geq 2a', \quad (5)$$

где x – расчетная высота сжатой зоны бетона; a' – толщина защитного слоя бетона сжатой арматуры, учитываемой в расчетах с полным сопротивлением.

Требования п. 6.7.2 СП 14.13330.2018 устанавливают достаточно высокие значения ξ_{Rd} , которые при сейсмичности 9 баллов и ε_{s2d} по табл. 2 соответствуют для бетона В30–В50 значениям коэффициента динамичности K_{dv} от 1,35 до 1,5 при его максимальном значении по (3) $K_{pld}=2$ (рис. 1).

Если ориентироваться на требования п. 6.7.2, то следует выполнить корректировку коэффициента K_1 по табл. 5.2 СП 14.13330.2018, предполагая, что его принятые нормативные значения соответствуют $K_{dv}=1$ с учетом полученных расчетных коэффициентов динамичности, зависящих от коэффициентов пластичности.

Если K_1 равен 0,25, то в данном случае $K_1 = 0,25 \cdot K_{dv}$.

Для бетона В30 (рис. 1) $K_1 = 0,25 \cdot 1,35 = 0,34$; для бетона В40 $K_1 = 0,25 \cdot 1,5 = 0,38$.

Расчеты прочности железобетонных элементов по деформационной модели, выполняемые из-за их сложности с использованием ЭВМ, производятся путем подбора сечения арматуры или проверки их несущей способности (Пособие по расчету бетонных и железобетонных конструкций на ЭВМ (к СП 63.13330.2012). М., 2013. 244 с.).

В методике этих расчетов предусмотрен итерационный поиск минимального армирования расчетных сечений или проверка его имеющегося количества.

Основными оценочными критериями прочности несущих железобетонных элементов являются условия:

$$\varepsilon_{b,max} \leq \varepsilon_{b,ult}; \quad (6)$$

$$\varepsilon_{s,max} \leq \varepsilon_{s,ult}. \quad (7)$$

Так как главным ориентиром в расчете являются деформационные характеристики бетона, то получаемые расчетом деформационные характеристики арматуры, в зависимости от геометрии сечения элемента, могут находиться в диапазоне:

$$\varepsilon_{s,min} < \varepsilon_{s,max} \leq \varepsilon_{s,ult}, \quad (8)$$

где $\varepsilon_{s,min}$ – относительные деформации в арматуре, равные относительным деформациям при разрыве $\varepsilon_{s,min} = \delta_{max}$.

При $\varepsilon_{s,max} = \frac{\sigma_{T(02)}}{E_s}$ и $\varepsilon_{b,max} = \varepsilon_{b,ult}$ имеет место армирование элемента, соответствующее состоянию при расчетной относительной высоте сжатой зоны бетона, равной ξ_R , со всеми вытекающими последствиями хрупкого разрушения сечений и катастрофического обрушения конструкций зданий при $K_{pld}=1$ и $K_{dv}=2$.

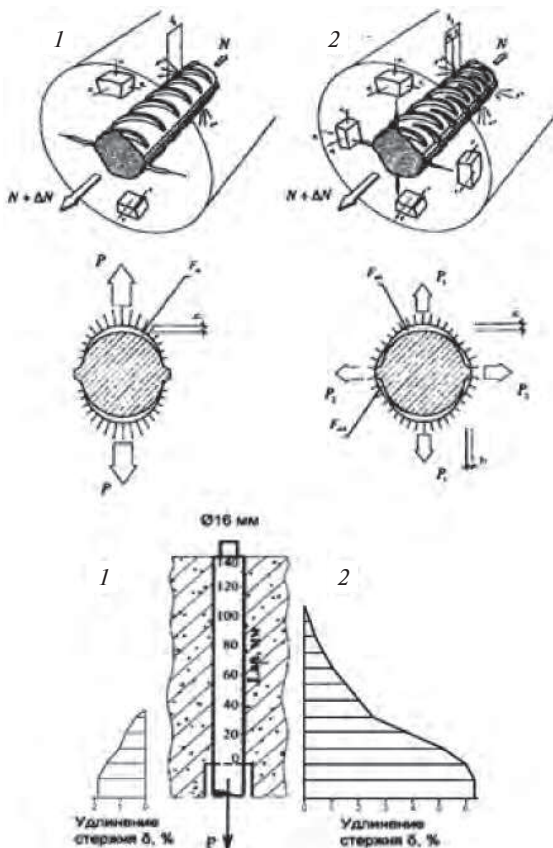
При $\varepsilon_{s,max} > \frac{\sigma_{T(02)}}{E_s}$ пластическое деформирование по мере приближения к $\varepsilon_{s,ult}$ и за ее пределами увеличивается, а K_{dv} уменьшается, приближаясь, после $K_{pld} \geq 5$ и $\xi_d < 0,1$, к $K_{dv}=1$.

Таким образом, при использовании расчетов по деформационной модели при сейсмическом нагружении для исключения хрупкого разрушения конструкций следует произвести также оценку способности к пластическому деформированию полученных результатов проектирования и при необходимости выполнить корректировку расчетных сечений несущих железобетонных элементов по методике, приведенной выше.

На рис. 2 и 3 приведены результаты исследований сцепления арматуры с разными видами периодического профиля с бетоном разной прочности на разных этапах нагружения.

На рис. 2 показаны опыты с арматурой класса А500С, имеющей массово применяемый в настоящее время периодический профиль с расположенными с двух сторон серповидными поперечными ребрами («европрофиль»), и арматурой класса А500СП с четырехсторонним (шестирядным) расположением поперечных ребер – («профиль НИИЖБ»).

Известно, что в направлении расположения поперечных ребер ориентируется и направление расклинивающих усилий от этих ребер, показанное на рис. 2. Очевидно, что «европрофиль» имеет двухстороннее (одноосное) направление, а «профиль НИИЖБ» – четырехстороннее (двухосное) направление расклинивающих усилий. Во втором случае величина расклинивающего усилия в одноосном направлении уменьшается практически в два раза, что способ-



Распределение пластических удлинений арматурных стержней класса прочности 500 МПа $\varnothing 16$ мм в пределах длины зоны заделки $L_{an} \approx l_{an} = 9d_s$ при исчерпании прочности сцепления с бетоном

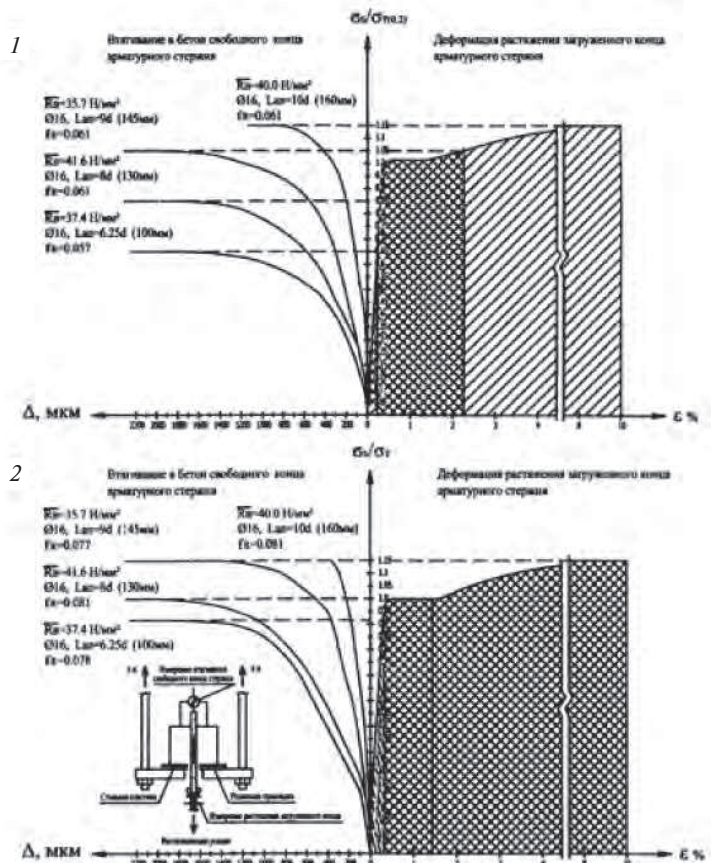


Рис. 2. Деформации вытягивания ненагруженного конца стержня и энергоемкость разрушения сцепления арматуры $\varnothing 16$ мм с бетоном: 1 – А500С; 2 – А500СП

Fig. 2. Deformations of the elongation of the unloaded end of the rod and the energy intensity of the destruction of the coupling of the reinforcement $\varnothing 16$ mm with concrete: 1 – А500С; 2 – А500СП

стует сохранению прочности его сцепления с бетоном при пластическом деформировании металла после достижения физического или условного предела текучести $\sigma_{T(02)}$.

Зафиксировать эффективность сцепления арматуры с разными профилями с бетоном позволила методика испытаний, разработанная в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, в соответствии с которой измеряется одновременно как смещение незагруженного конца заанкерванной в бетоне арматуры, так и деформации ее загруженного участка, закрепленного в захватах испытательной машины.

Приведенные на рис. 2 графики деформирования арматуры и смещения незагруженного конца ее анкерующего участка убедительно показывают преимущества по сцеплению с бетоном арматуры класса А500СП с многорядным профилем на всех этапах нагружения.

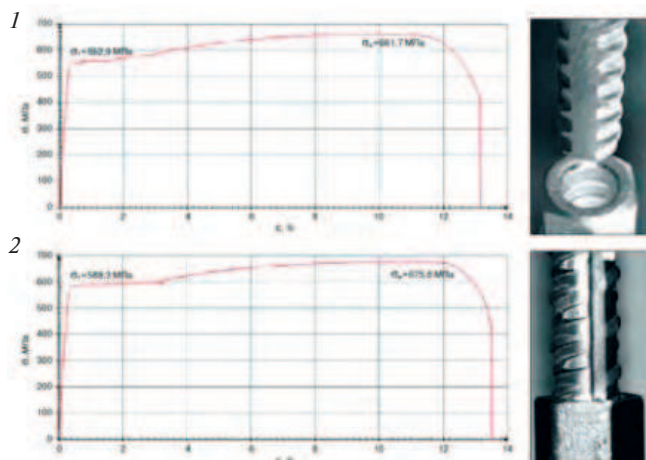
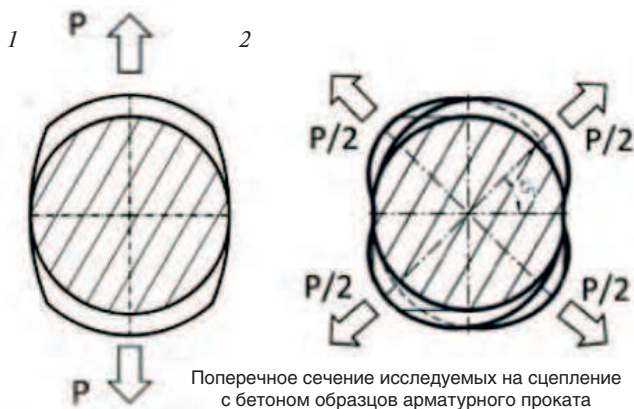
Наиболее характерным является сравнение энергоемкости сцепления арматуры с бетоном на этапах пластического деформирования металла, оцениваемого площадью ромбической штриховки на графиках

деформации растяжения загруженных концов арматурных стержней сопоставляемых видов. В данном случае имеет место практически пятикратное увеличение энергоемкости сцепления с бетоном. При длине анкеровки $9d_s$ ($d_s = 16$ мм) и прочности бетона $35,7$ Н/мм² арматура с многорядным профилем класса А500СП не потеряла сцепления с бетоном при деформировании до $\delta_{max} = 10\%$, т. е. пройдя всю горизонтальную площадку текучести ($\approx 1,5\%$) и зону упрочнения, вплоть до временного сопротивления σ_b , достигнув соотношения $\sigma_{max} / \sigma_t = 1,15$. Арматура с двухрядным профилем класса А500С при тех же исходных условиях достигала $\epsilon_{max} = 1,3\%$, потеряв сцепление с бетоном и не пройдя полностью площадку текучести.

На рис. 2 приведены замеренные после испытаний распределения пластических удлинений металла арматурных стержней с двухрядным и многорядным профилями, в пределах длины зоны их заделки в образцах-кубах при исчерпании прочности сцепления с бетоном ($l_{an} = 9d_s$). В данном случае отмеченные выше преимущества арматуры с многорядным про-

филем класса А500СП перед арматурой с двухрядным класса А500С («европрофиль») наглядно подтверждаются.

На рис. 3 приведены испытания на сцепление с бетоном арматуры с двухрядным винтовым профилем



Механические испытания винтовой арматуры: 1 – двухрядной (аналог GEWI-Stahl); 2 – четырехрядной (Ав500П)

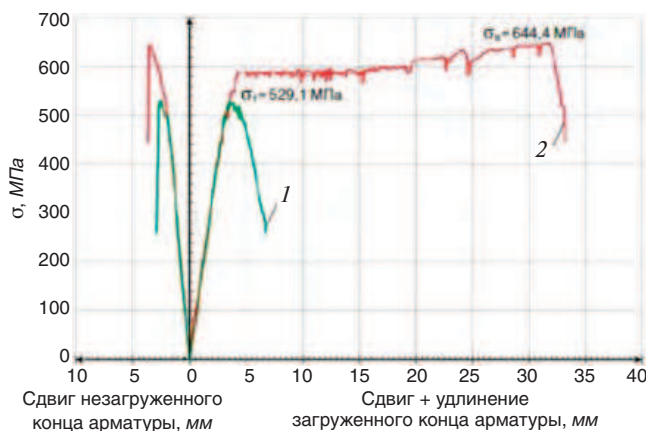


Рис. 3. Испытания сцепления с бетоном винтовой арматуры ($d=16$ мм, заделка в бетоне $5d$, прочность бетона 72,2 МПа): 1 – класса Ав500 (аналог GEWI-Stahl), $f_R=0,091$ с двухрядным профилем; 2 – класса Ав500П, $f_R=0,072$ с четырехрядным профилем
Fig. 3. Tests of adhesion to concrete of screw fittings ($d=16$ mm, sealing in concrete $5d$, concrete strength 72.2 MPa): 1 – Av500 (GEWI-Stahl analog), $f_R=0,091$, with a double-row profile; 2 – Av500P, $f_R=0,072$, with a four-row profile

(аналог GEWI-Stahl) и с четырехрядным винтовым профилем нового вида отечественной разработки, выполненные во ВНИИжелезобетон.

Приведенные на рис. 3 графики деформирования арматуры обоих видов до разрыва показывают их идентичность по прочностным и деформационным характеристикам.

Для исключения погрешности при испытаниях, возможных при использовании ручных замеров деформаций металла и смещения загруженного конца арматуры, в данном случае оценка результатов опытов проводилась также по показателям приборов испытательной машины.

Эффективность по сцеплению с бетоном многорядных видов периодического профиля арматуры в очередной раз подтверждается результатами этих испытаний, в которых исследовались образцы арматуры с периодическими профилями, имеющими сопоставимые высокие значения критерия Рема (0,91 и 0,72), маленькую длину анкеровки в бетоне $5d_s$, высокую прочность бетона 72,2 МПа и одинаковые характеристики механических свойств металла арматуры.

Из приведенных материалов, опытов видно, что энергоемкость сцепления винтовой арматуры с многорядным профилем отечественной разработки, имеющим критерий Рема $f_R=0,072$, выше в десять раз энергоемкости винтовой арматуры типа GEWI $f_R=0,091$, нашедшей широкое применение в зарубежном высотном, транспортном и сейсмостойком строительстве.

Результаты выполненных экспериментов показали высокую эффективность сцепления с бетоном новых видов арматуры, разработанных в России, особенно в запредельной стадии нагружения.

По данному показателю отечественные виды арматурного проката с многорядными профилями классов А500СП, А500С, а также винтовая арматура класса Ав500П, рекомендованные для применения СП 14.13330.2018 (Изменение № 2), значительно превосходят зарубежные аналоги. Использование данных видов арматуры позволит повысить безопасность строительства, особенно в сейсмических районах, и обеспечит конкурентоспособность отечественного арматурного проката на мировом рынке.

Для предотвращения массовой гибели людей при землетрясениях следует разработать для повсеместного применения «Кодекс безопасного проектирования и строительства зданий в сейсмических районах», в котором обозначить надежные, простые и недорогие требования, обязательные для контроля над строительством в зонах с высокой сейсмоактивностью. Главная задача использования «Кодекса» при проектировании зданий – это сохранение жизни людей.

Некоторые положения для «Кодекса безопасного проектирования и строительства зданий в сейсмических районах»

1. Строительство вблизи тектонических разломов должно быть запроектировано при выполнении требований по сейсмичности, на 1–2 балла превышающей принимаемую для окружающей местности.

2. Требования к расчету зданий и сооружений из железобетона должны предусматривать проверку обоснованности принятых понижающих коэффициентов (K_1) или значений каких-либо физических величин, используемых для учета пластического деформирования железобетонных конструкций при определении сейсмической нагрузки, например по методике НИИЖБ им. А.А. Гвоздева или другим ее альтернативам.

3. Рабочая арматура для железобетонных конструкций должна сохранять прочность сцепления с бетоном после достижения в ней напряжений и деформаций, соответствующих началу текучести ($\sigma_{T(02)}$). Например, как разработанная в России арматура с многорядным расположением поперечных ребер классов А500СП, Ау500СП, Ав500П.

4. Фундаменты зданий, строящихся в границах разломов, должны иметь анкерку в грунте, например в виде буронабивных свай с уширенной пятой,

трубных или стержневых анкерных элементов и др.

5. В строящихся зданиях из железобетона при балльности 8, 9 баллов использование безригельных, бескапитальных перекрытий не допускается.

6. В колоннах и перекрытиях любых конструктивных решений обязательно наличие непрерывных связей в количестве не менее 30% рабочей продольной арматуры.

7. В перекрытиях всех конструктивных решений обязательно наличие обвязочного наружного балочного контура по периметру с непрерывным армированием по длине.

8. Прочность вертикальных элементов первого этажа зданий (колонн, пилонов, стен) должна быть обеспечена их сопротивлением на срез при горизонтальной расчетной сейсмической нагрузке с учетом ее уменьшения только в случае оценки способности к пластическому деформированию расчетных сечений горизонтальных элементов перекрытий и покрытия, например по методике НИИЖБ им. А.А. Гвоздева или другим, ей альтернативным.

Совершенствование «Кодекса безопасного проектирования и строительства зданий в сейсмических районах» необходимо путем использования последних достижений отечественной и зарубежной науки и нормирования.

Список литературы

1. Тихонов И.Н., Крылов С.Б., Звездов А.И., Смирнова Л.Н., Тихонов Г.И., Гончаров Е.Е. Оценка сейсмостойкости зданий из железобетона на стадии проектирования // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2022. № 5. С. 43–55.
2. Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н.Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности, трещиностойкости и деформативности. М.: АСВ, 2011. 352 с.
3. Расторгуев Б.С., Мутка К.Н. Деформирование конструкций перекрытий каркасных зданий после внезапного разрушения колонны // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2006. № 1. С. 12–15.
4. Тихонов И.Н., Мешков В.З., Расторгуев Б.С. Проектирование армирования железобетона. М., 2015. 275 с.
5. Тихонов И.Н., Козелков М.М. Расчет и конструирование железобетонных конструкций перекрытий зданий с учетом защиты от прогрессирующего обрушения // *Бетон и железобетон*. 2009. № 3. С. 2–8.
6. Тихонов И.Н., Козелков М.М., Расторгуев Б.С. Основы проектирования железобетонных конструкций с учетом защиты от прогрессирующего обрушения // *Бетон и железобетон*. 2014. № 6. С. 22–29.

References

1. Tikhonov I.N., Krylov S.B., Zvezdov A.I., Smirnova L.N., Tikhonov G.I., Goncharov E.E. Assessment of earthquake resistance of reinforced concrete buildings at the design stage. *Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii*. 2022. No. 5, pp. 43–55. (In Russian).
2. Kodysh E.N., Nikitin I.K., Trekin N.N. Proektirovanie armirovaniya zhelezobetona [Calculation of reinforced concrete structures made of heavy concrete for strength, crack resistance and deformability]. Moscow: ASV, 2011. 352 p.
3. Rastorguev B.S., Mutoka K.N. Deformation of floor structures of frame buildings after sudden destruction of the column. *Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii*. 2006. No. 1, pp. 12–15. (In Russian).
4. Tikhonov I.N., Meshkov V.Z., Rastorguev B.S. Proektirovanie armirovaniya zhelezobetona [Design of reinforced concrete reinforcement]. Moscow. 2015. 275 p.
5. Tikhonov I.N., Kozelkov M.M. Calculation and construction of reinforced concrete structures of building floors taking into account protection from progressive collapse. *Beton i zhelezobeton*. 2009. No. 3, pp. 2–8. (In Russian).
6. Tikhonov I.N., Kozelkov M.M., Rastorguev B.S. Fundamentals of designing reinforced concrete structures taking into account protection from progressive collapse. *Beton i zhelezobeton*. 2014. No. 6, pp. 22–29. (In Russian).

Новые виды арматурного проката для эффективного проектирования и строительства

ЕВРАЗ – вертикально-интегрированная металлургическая и горнодобывающая компания. Лидер на рынке стального проката и готовых решений для инфраструктурных проектов.

Важнейшим стратегическим направлением развития продуктовой линейки ЕВРАЗ является освоение и продвижение новых видов арматурного проката для железобетонных конструкций зданий и сооружений.

ЕВРАЗ ЗСМК освоена и реализуется арматура класса А500СП диаметров 10–40 мм, которая соответствует ГОСТ 34028–2016. Отличительной особенностью А500СП является винтовой профиль с четырехсторонним расположением поперечных серповидных ребер без продольного ребра с гарантированным минусовым допуском, что дает экономию в среднем 2,5–3% на стороне конечного потребителя относительно номинального веса привычной А500С.

Арматурный прокат А500СП поможет уменьшить затраты на строительство объектов путем снижения металлоемкости при строительстве зданий и сооружений при расчетной температуре до -55°C.

Арматура А500СП обладает улучшенными характеристиками относительно класса А500С, а именно:

- ◆ Нормативное значение сопротивления растяжению $R_{s,n}=520$ МПа.

- ◆ Расчетное значение сопротивления арматуры растяжению для предельных состояний первой группы $R_{s,c}=450$ МПа.

- ◆ Расчетное значение сопротивления арматуры сжатию для предельных состояний первой группы $R_{s,c}=450$ (400) МПа, где в скобках указано значение, соответствующее расчетам на кратковременное действие нагрузок.

- ◆ Коэффициент, учитывающий вид и влияние периодического профиля арматуры при определении ширины раскрытия нормальных трещин, $\varphi_2=0,4$.

- ◆ Коэффициент, учитывающий влияние вида поверхности арматуры при определении расчетного сопротивления арматуры с бетоном, $\eta_1=2,8$.

- ◆ Коэффициент, учитывающий влияние размера диаметра арматуры, $\eta_2=1$, для стержней диаметров 36 и 40 мм в массивных железобетонных конструкциях для расчета длины заделки стержней.

Указанные выше характеристики отражены в разработанном НИИЖБ им. А.А. Гвоздева СТО 36554501-065–2020*.

Эффективность в применении арматуры А500СП относительно арматуры А500С за счет вышеуказанных характеристик оценивается от 10 до 18%, что ведет к снижению стоимости строительства и оптимизации затратной части.

В настоящее время А500СП используется как в промышленном, так и гражданском сегментах строительства.



Арматура А500СП

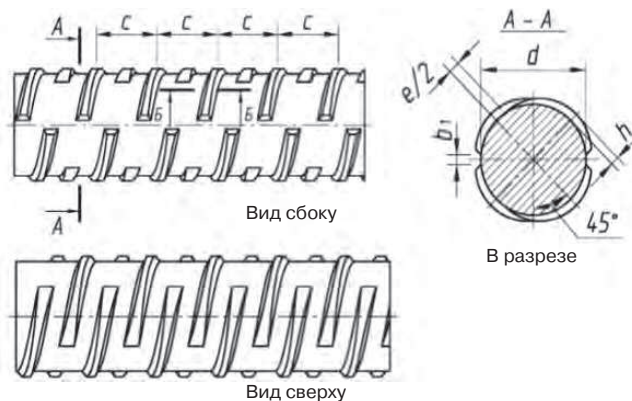


Рисунок профиля арматурного проката А500СП

Проекты с применением А500СП улучшенного периодического профиля многократно проходили Главгосэкспертизу. В 100% случаев получено положительное заключение.

Также ЕВРАЗ ЗСМК освоил и реализует арматуру класса Ас500С диаметров 10–40 мм по ТУ 14-1-5543–2017. Химический состав арматуры класса Ас500С разработан лабораторией комбината совместно с Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева (НИИЖБ).

Арматуру можно использовать в условиях экстремального холода, в неотапливаемых зданиях и в зданиях I уровня ответственности при температуре до -70°C, ее отличают высокие показатели ударной вязкости (KCV, KCU) и пластичности.

Данная арматура широко используется в крупных промышленных проектах. Например, в 2020 г. произведена отгрузка арматуры для строительства терминала сжиженного природного газа (СПГ), для строительства нескольких объектов на территории горно-обогатительных комбинатов на севере и северо-востоке России.

УДК 622.023

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-23-28>

Л.Ю. ЕРМОШИНА, магистр, аспирант, младший научный сотрудник НОЦ «Геотехника»
им. З.Г. Тер-Мартirosяна (lyubov.ermoshina1801@mail.ru),
А.Е. ШИПКОВА, студентка (likadarr@yandex.ru),
А.З. ТЕР-МАРТИРОСЯН, профессор, д-р техн. наук (gic-mgsu@mail.ru),
Г.О. АНЖЕЛО, канд. техн. наук (nocgeo@mail.ru)

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Определение прочностных характеристик горных пород в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях

Прочностные характеристики горной породы в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях необходимо учитывать при выполнении геотехнических расчетов по первому предельному состоянию при проектировании различных гидротехнических сооружений, а также для любых других сооружений, взаимодействующих с водой и имеющих повышенный класс ответственности. В связи с этим проведены экспериментальные исследования на образцах гнейса, известняка и гальки с целью определения их прочностных характеристик в двух различных состояниях: в воздушно-сухом и водонасыщенном. По результатам выполненных экспериментальных исследований построены паспорта прочности горных пород на основе определения пределов прочности при одноосном сжатии и растяжении в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях, а также определены прочностные характеристики и коэффициент размягчаемости породы. Установлено, что водонасыщение образцов горной породы приводит к снижению их прочностных характеристик, а коэффициент размягчаемости гнейса снижается с увеличением глубины залегания. Принимая во внимание влияние различных факторов и условий на полученные результаты испытаний, необходимо дальнейшее проведение лабораторных исследований с целью развития методов оценки изменения прочностных характеристик при различных уровнях водонасыщения породы и глубины ее залегания.

Ключевые слова: лабораторные испытания, одноосное сжатие, одноосное растяжение, прочностные характеристики, сферические инденторы, плоские соосные пуансоны, коэффициент размягчаемости.

Для цитирования: Ермошина Л.Ю., Шипкова А.Е., Тер-Мартirosян А.З., Анжело Г.О. Определение прочностных характеристик горных пород в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях // *Жилищное строительство*. 2023. № 5. С. 23–28. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-23-28>

L.Yu. ERMOSHINA, Master, Postgraduate Student, Junior Researcher at the SEC "Geotechnics" named after Z.G. Ter-Martirosyan (lyubov.ermoshina1801@mail.ru), A.E. SHIPKOVA, Student (likadarr@yandex.ru), A.Z. TER-MARTIROSYAN, Professor, Doctor of Sciences (Engineering) (gic-mgsu@mail.ru), G.O. ANZHELO, Candidate of Sciences (Engineering)(nocgeo@mail.ru)
National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Determination of Strength Characteristics of Rocks in Air-Dry and Water-Saturated State

The strength characteristics of the rock in the air-dry and water-saturated state must be taken into account when performing geotechnical calculations for the first limit state when designing various hydraulic structures, as well as for any other structures that interact with water and have an increased class of responsibility. In this regard, experimental studies were carried out on samples of gneiss, limestone and pebbles in order to determine their strength characteristics in two different states: in air-dry and water-saturated. Based on the results of the experimental studies carried out, rock strength passports were constructed based on the determination of the strength limits under uniaxial compression and tension in air-dry and water-saturated states, and the strength characteristics and the softening coefficient of the rock were determined. It is found that water saturation of rock samples leads to a decrease in their strength characteristics, and the softening coefficient of gneiss decreases with increasing depth of occurrence. Taking into account the influence of various factors and conditions on the obtained test results, further laboratory studies are necessary in order to develop methods for assessing changes in strength characteristics at different water saturation of the rock and the depth of its occurrence.

Keywords: laboratory tests, uniaxial compression, uniaxial tension, strength properties, spherical indenters, flat coaxial punches, softening factor.

For citation: Ermoshina L.Yu., Shipkova A.E., Ter-Martirosyan A.Z., Anzhelo G.O. Determination of strength characteristics of rocks in air-dry and water-saturated state. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 5, pp. 23–28. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-23-28>

Исследование напряженно-деформированного состояния скального массива, а также определение его прочностных и деформационных характеристик необходимы при расчете и проектировании различных зданий и сооружений, либо возведенных на основаниях, сложенных скальными грунтами, либо расположенных непосредственно в их толще.

При выполнении геотехнических расчетов по первому предельному состоянию для гидротехнических сооружений первого и второго классов ответственности, портовых гидротехнических сооружений, а также для любых других сооружений, взаимодействующих с водой и имеющих повышенный класс ответственности, необходимо знать прочностные характеристики породы не только в воздушно-сухом состоянии, но и в водонасыщенном, поскольку в процессе водонасыщения породы происходит значительное снижение ее прочностных характеристик.

В последние десятилетия вопросами снижения прочностных характеристик горных пород в зависимости от степени их водонасыщения занимались различные исследователи, в работах которых [1–5] представлены результаты экспериментальных исследований скального грунта (песчаника, мрамора и гранита) по различным методикам (индентирование, бразильский тест на раскалывание, одноосное и трехосное испытания на сжатие) и при различной степени водонасыщения породы. По результатам выполненных экспериментальных исследований получено, что механические характеристики породы в воздушно-сухом состоянии значительно выше, чем в водонасыщенном состоянии, как при однократном, так и при циклическом нагружении.

Для всестороннего изучения влияния содержания воды на механические свойства горных пород в [6] проведены лабораторные испытания на образцах песчаника с различным содержанием воды. Отмечено снижение прочности при сжатии и растяжении при различных степенях водонасыщения песчаника. В процессе высушивания все образцы в основном восстанавливали свои механические свойства. Однако для образцов с неполным водонасыщением в процессах насыщения и высушивания прочность при растяжении образцов с одинаковым содержанием влаги была различной, что может быть связано с разным распределением влаги в образцах.

Для учета совместного влияния степени водонасыщения и скорости нагружения на разрушение горных пород в [7] проведены динамические испытания образцов (сухого и водонасыщенного песчаника) полукруглой формы на изгиб в широком диапазоне скоростей нагружения. Результаты испытаний показали, что динамическая трещиностойкость, вязкость и скорость распространения трещин в водонасыщен-

ных образцах были ниже, чем в воздушно-сухих, при одинаковой скорости нагружения. Также авторами была разработана микромеханическая модель для объяснения экспериментальных результатов.

Для изучения механических характеристик и акустической эмиссии (АЭ) трещиноватой породы при взаимодействии ее с водой в рамках работы [8] подготовлены образцы песчаника в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях, а также выполнены экспериментальные исследования на одноосное сжатие для получения сигналов АЭ и изображений распространения трещин. Результаты показали, что влага снижает прочность и вязкость разрушения трещиноватого песчаника, но повышает пластичность. После насыщения образцы начинают трескаться раньше, трещины растут медленно, режим разрушения меняется от сдвигового разрушения по сборным трещинам к комбинированному сдвиговому и растягивающему разрушению, появляется больше вторичных трещин.

В [9] проведена серия испытаний на точечный изгиб образцов гранитных дисков с одинаковым диаметром (D), но различной высотой (H) для исследования влияния их соотношения (H/D) на свойства разрушения и характеристики повреждения. Результаты испытаний показали, что отношение высоты к диаметру определяет режим разрушения гранитных образцов, а именно: H/D менее 0,4 – образцы разрушаются в основном при изгибе; H/D более 0,4 – характер разрушения трансформируется в режим раскалывания.

Экспериментальные исследования, выполненные в [10], позволили установить полный набор эмпирических зависимостей влияния содержания воды на механические свойства песчаника Госфорд. Авторами работы отмечено, что все механические параметры (коэффициент трения, вязкость разрушения и т. д.) уменьшаются с увеличением содержания воды в породе.

С целью установления зависимостей между параметрами, полученными при проведении испытаний на образцах миоценового известняка в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях, в [11] исследованы параметры пористости, прочность на одноосное сжатие, касательный модуль упругости и прочность на разрыв бразильским методом. Установлена линейная регрессия между параметрами для сухих и водонасыщенных образцов.

В [12] определены параметры прочности на одноосное сжатие образцов британских песчаников в водонасыщенном и воздушно-сухом состояниях. Разница между параметрами прочности в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии образца морского глауконитового песчаника, богатого глиной, составила 78%, в то время как для кремнистого песчаника прочность снизилась всего на 8%. По результатам выполненного исследования установлено, что степень чув-

ствительности к содержанию влаги контролируется в основном пропорциями присутствующих кварцевых и глинистых минералов.

С целью исследования [13] прочностных характеристик горных пород (песчаника и сланца) отобраны образцы на десяти различных шахтах в угольных месторождениях Индии. Используя значения параметров прочности при одноосном сжатии и бразильском испытании на растяжение, а также физические характеристики в воздушно-сухом состоянии, авторы спрогнозировали изменения параметров прочности в водонасыщенных образцах. Спрогнозированные параметры прочности горных пород имели высокую сходимость с параметрами прочности, полученными экспериментальными методами.

В исследовании [14] на основе лабораторных испытаний изучены механические характеристики туфа при различном содержании влаги. Согласно результатам испытаний прочность при одноосном сжатии и модуль упругости снижались с увеличением степени водонасыщения образцов.

По результатам анализа научно-технической литературы, а также опираясь на ранее выполненные исследования [15], выявлено, что в настоящее время отсутствуют корреляционные зависимости, учитывающие различия в получаемых прочностных характеристиках при испытании образцов горной породы в водонасыщенном и воздушно-сухом состояниях при одноосном сжатии (плоскими пуансонами) и одноосном растяжении (сферическими инденторами). Выявлена недостаточная изученность методов определения прочностных характеристик горной породы с помощью сферических инденторов и плоских пуансонов.

На основании вышеизложенного в данной работе представлены результаты экспериментальных исследований образцов горной породы в воздушно-сухом

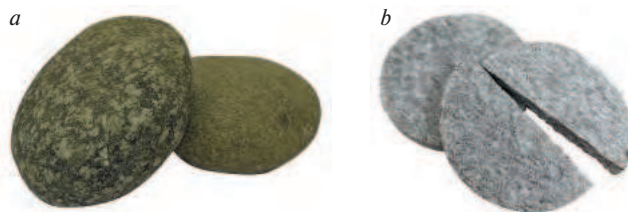


Рис. 1. Общий вид испытуемых образцов: а – образцы произвольной формы; б – образцы-диски

Fig. 1. General view of the test specimens: a – freeform specimens; b – disk specimens

и водонасыщенном состояниях с выводом корреляционных зависимостей.

Материалы и методы

С целью исследования прочностных характеристик горной породы (гнейс, известняк и галька) в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях выполнены экспериментальные исследования в приборе одноосного сжатия согласно методикам, представленным в ГОСТ 21153.3–85 «Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении» (прочность при одноосном растяжении) и ГОСТ 21153.2–84 «Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии» (прочность при одноосном сжатии).

На рис. 1 представлены образцы испытуемого грунта.

Согласно используемой в исследовании методике ГОСТ 21153.3–85 прочность при одноосном растяжении определялась методом разрушения образцов произвольной формы встречными сферическими инденторами. В процессе проведения испытаний измерялась максимальная разрушающая сила, приводящая к разрыву образца на две части по поверхности, проходящей через ось нагружения. При этом

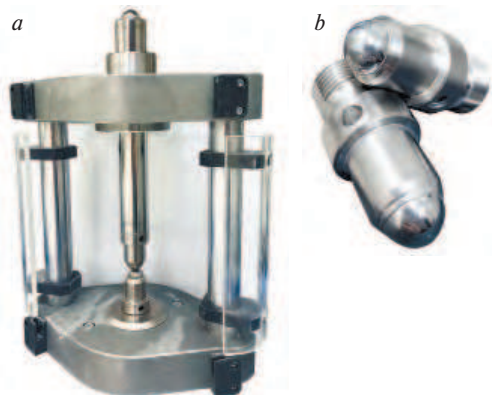


Рис. 2. Общий вид: а – камеры для проведения испытаний на одноосное растяжение; б – сферических инденторов

Fig. 2. General view of: a – uniaxial tension test chamber; b – spherical indenters

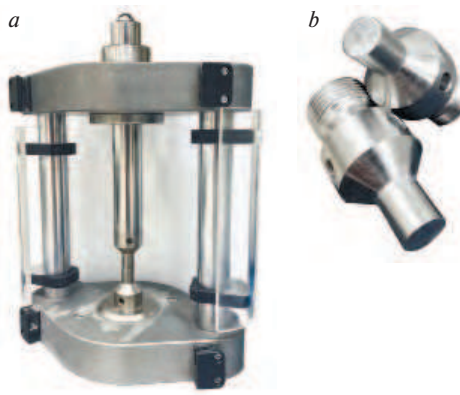


Рис. 3. Общий вид: а – камеры для проведения испытаний на одноосное сжатие; б – плоских пуансонов

Fig. 3. General view of: a – uniaxial compression test chamber; b – flat punches



Рис. 4. Общий вид вакуумной камеры водонасыщения

Fig. 4. General view of the vacuum water saturation chamber

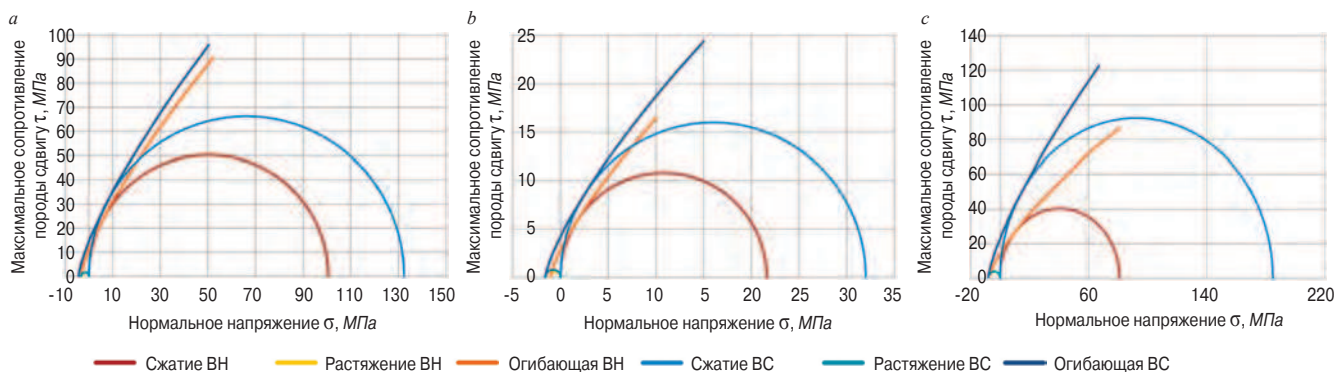


Рис. 5. Общий вид графика огибающих предельных кругов напряжений Мора в координатах нормальных σ и касательных τ напряжений: *a* – паспорт прочности гнейса в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях; *b* – паспорт прочности известняка в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях; *c* – паспорт прочности гальки в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях

Fig. 5. General view of the Mohr stress envelope diagram in coordinates of normal σ and tangential τ stresses: *a* – strength certificate of gneiss in air-dry and water-saturated states; *b* – strength certificate of limestone in air-dry and water-saturated states; *c* – strength certificate of gravel-stone in air-dry and water-saturated states

прочность при одноосном растяжении определялась в соответствии со следующей формулой:

$$\sigma_p = 7,5 \cdot \frac{P}{S} \cdot K, \quad (1)$$

где P – разрушающая образец сила, кН; S – площадь поверхности разрушения образца, см²; K – безразмерный масштабный коэффициент.

На рис. 2 изображена камера для проведения испытаний на одноосное растяжение, а также общий вид сферических инденторов.

Прочность при одноосном сжатии определялась методом разрушения образцов-плиток соосными пуансонами согласно ГОСТ 21153.2–84, при этом значение предела прочности определялось в соответствии со следующей формулой:

$$\sigma_{сж} = \frac{P}{S_y} \cdot 10, \quad (2)$$

где P – разрушающая образец сила, кН; S_y – условная площадь поперечного сечения образца, см².

На рис. 3 изображена камера для проведения испытаний на одноосное сжатие, а также общий вид плоских пуансонов.

С целью определения прочностных характеристик образцов в водонасыщенном состоянии перед проведением испытаний на одноосное сжатие и одноосное растяжение проведено водонасыщение образцов горных пород.

Водонасыщение проведено вакуумированием в несколько этапов согласно ГОСТ Р 59934–2021 «Метод определения предела прочности при одноосном сжатии скальных грунтов соосными пуансонами», не менее трех раз поочередно замачивая образцы при разрежении 70–90 кПа относительно атмосферного давления (этап воздухоудаления) и под атмосферным давлением (этап водонасыщения). На рис. 4 представлен общий вид вакуумной камеры водонасыщения.

По результатам выполненных исследований образцов грунта в водонасыщенном и воздушно-сухом состояниях определены коэффициенты размягчаемости K_{sof} горной породы в соответствии со следующей формулой:

$$K_{sof} = \frac{\sigma_{с,вн}}{\sigma_{с,вс}}, \quad (3)$$

где $\sigma_{с,вн}$ – среднее значение прочности при одноосном сжатии в водонасыщенном состоянии, МПа; $\sigma_{с,вс}$ – среднее значение прочности при одноосном сжатии в воздушно-сухом состоянии, МПа.

По результатам выполненных лабораторных испытаний построены графики огибающих предельных кругов напряжений Мора в координатах нормальных σ и касательных τ напряжений (паспорт прочности горной породы) (рис. 5), а также получены прочностные характеристики горной породы в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях, на основании которых рассчитаны коэффициенты размягчаемости горной породы (см. таблицу).

В связи с отсутствием необходимого количества образцов известняка прочность при одноосном сжатии определялась по корреляционным зависимостям, представленным в ГОСТ 24941–81, что повлияло на полученные значения угла внутреннего трения.

Выводы

По результатам выполненного исследования можно сделать следующие основные выводы:

1. Водонасыщение образцов горной породы приводит к снижению их прочностных характеристик:

– для гнейса – сцепление снизилось в среднем на 21,92%. Водонасыщение образцов практически не повлияло на изменение угла внутреннего трения;

– для известняка – сцепление снизилось в среднем на 16,43%. Водонасыщение образцов не повлияло на изменение угла внутреннего трения, что связано с

Прочностные характеристики
Strength characteristics

Глубина отбора, м	Прочность при одноосном растяжении σ_p , МПа		Прочность при одноосном сжатию $\sigma_{сж}$, МПа		Сцепление c_0 , МПа		Угол внутреннего трения φ , град		Коэффициент размягчаемости K_{sof}
	BC*	BH**	BC*	BH**	BC*	BH**	BC*	BH**	
Гнейс									
12	3,43	3,06	144,72	119,92	14,65	11,13	64,58	64,58	0,8271
14	3,27	2,9	132,47	100,63	14,48	11,01	65,46	65,46	0,8141
22	3,35	3,06	113,29	95,51	12,74	10,56	63,61	64,58	0,7627
Известняк									
3–3,32	1,54	1,27	30,8	25,4	7,1	4,7	58,9	58,9	0,8247
3–3,33	3,23	2,85	64,6	57	8	7,7	58,9	58,9	0,8824
5–5,6	1,6	1,08	32	21,6	5,5	4	58,9	58,9	0,675
6–6,27	3,15	1,49	63	29,8	7,1	4,7	58,9	58,9	0,473
7,5–8	3,34	3,01	66,8	60,2	10,1	9,4	58,9	58,9	0,9012
16–16,38	3,22	1,09	64,4	21,8	9,4	3,6	58,9	58,9	0,3385
25,25–25,66	3,12	1,5	62,7	30	6,9	11,1	58,9	58,9	0,4785
Галька									
2	8,04	7,5	184,69	80,88	22,88	14,12	65,56	54,07	0,4379
*BC – воздушно-сухое состояние. **BH – водонасыщенное состояние.									

использованием корреляционных зависимостей при расчете предела прочности при одноосном сжатию; – для гальки – сцепление снизилось в среднем на 38,07%, а угол внутреннего трения снизился в среднем на 17,53%.

2. Прочностные характеристики горных пород (гнейса и известняка) не зависят от глубины отбора образцов как в воздушно-сухом, так и в водонасыщенном состояниях.

3. Выявлено, что коэффициент размягчаемости гнейса снижается с увеличением глубины залегания. Однако в связи с недостаточным разбросом глубин требуется проведение дополнительных исследований на различных глубинах залегания.

4. Анализируя полученные результаты исследования, а также учитывая возможную неоднородность и трещиноватость образцов горной породы, различие в их геометрических размерах, форме и других параметрах, влияющих на результаты исследования, требуется дополнительное проведение лабораторных испытаний с целью дальнейшего уточнения корреляционных зависимостей при определении прочностных характеристик горной породы в водонасыщенном и воздушно-сухом состояниях.

Список литературы / References

1. Wong L., Maruvanchery V., Liu G. Water effects on rock strength and stiffness degradation. *Acta Geotechnica*. 2016. No. 11 (4). DOI: 10.1007/s11440-015-0407-7

2. Liu S., Cai G., Jiang P., Zhou A., Wang L., Sun K. A Stochastic Approach to Soil-Rock Slope Stability Analysis Considering Soil Softening of Contact Zone. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2021. Vol. 58. No. 5, pp. 383–390. DOI:10.1007/s11204-021-09755-7

3. Muhammad U. A., Hui Z., Fanjie Y., Adnan Y., Xinjing L., Houguo F., Yijun G. Water-induced softening behavior of clay-rich sandstone in Lanzhou Water Supply Project, China. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2020. Vol. 12. No. 3, pp. 557–570. DOI: 10.1016/j.jrmge.2019.07.017

4. Cai X., Zhou Z., Liu, K., Du X., Zang H. Water-Weakening Effects on the Mechanical Behavior of Different Rock Types. *Phenomena and Mechanisms*. 2019. Vol. 9. No. 20, pp. 4450. DOI: 10.3390/app9204450

5. Vásárhelyi B., Ván P. Influence of water content on the strength of rock. *Engineering Geology*. 2006. Vol. 84. Iss. 1–2, pp. 70–74. DOI: 10.1016/j.enggeo.2005.11.011

6. Zhou Z., Cai X., Cao W., Li X., Xiong C. Influence of Water Content on Mechanical Properties of Rock in Both Saturation and Drying Processes. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2016. No. 49, pp. 3009–3025. DOI: 10.1007/s00603-016-0987-z

7. Zhou Z., Cai X., Ma D., Du X., Chen L., Wang H., Zang H. Water saturation effects on dynamic fracture behavior of sandstone. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2019. Vol. 114, pp. 46–61. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2018.12.014

8. Li H., Shen R., Li D., Jia H., Li T., Chen T., Hou Z. Acoustic Emission Multi-Parameter Analysis of Dry and Saturated Sandstone with Cracks under Uniaxial Compression. *Energies*. 2019. No. 12, pp. 1959. DOI: 0.3390/en12101959
9. Ma D., Wang J., Cai X., Ma X., Zhang J., Zhou Z., Tao M. Effects of height/diameter ratio on failure and damage properties of granite under coupled bending and splitting deformation. *Engineering Fracture Mechanics*. 2019. Vol. 220. DOI: 10.1016/j.engfracmech.2019.106640
10. Masoumi H., Horne J., Timms W. Establishing Empirical Relationships for the Effects of Water Content on the Mechanical Behavior of Gosford Sandstone. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2017. Iss. 50, pp. 2235–2242. DOI: 10.1007/s00603-017-1243-x
11. Vásárhelyi B. Statistical analysis of the influence of water content on the strength of the miocene limestone. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2005. Iss. 38, pp. 69–76. DOI:10.1007/s00603-004-0034-3
12. Hawkins A.B., McConnell B.J. Sensitivity of sandstone strength and deformability to changes in moisture content. *Quarterly Journal of Engineering Geology*. 1992. Vol. 25, pp. 115–130. DOI: 10.1144/gsl.qjeg.1992.025.02.05
13. Rahman T., Sarkar K. Estimating strength parameters of Lower Gondwana coal measure rocks under dry and saturated conditions. *Journal of Earth System Science*. 2022. Iss. 131. DOI: 10.1007/s12040-022-01920-2
14. Dong W., Han L., Meng L., Zhu H., Yan S., Xu C., Dong Y. Experimental Study on the Mechanical and Acoustic Emission Characteristics of Tuff with Different Moisture Contents. *Minerals*. 2022. No. 12. DOI: 10.3390/min12081050
15. Тер-Мартirosян А.З., Анжело Г.О., Гладких В.А., Ермошина Л.Ю., Шипкова А.Е. Определение механических параметров скального грунта различными методами // *Промышленное и гражданское строительство*. 2022. № 9. С. 66–73. DOI 10.33622/0869-7019.2022.09.66-73
15. Ter-Martirosjan A.Z., Anzhelo G.O., Gladkih V.A., Ermoshina L.Ju., Shipkova A.E. Determination of mechanical parameters of rock soil by various methods. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2022. No. 9, pp. 66–73. (In Russian). DOI 10.33622/0869-7019.2022.09.66-73



ПРОТОКОЛ заседания Совета РААСН

«Железобетонные конструкции. Методы расчета и проектирования» от 16.03.2023 г.
Тема заседания: «Анализ причин и последствий землетрясения в Турции 6 февраля 2023 г.
Разработка мер по совершенствованию методов расчета
и проектирования сейсмостойких железобетонных конструкций»

Докладчики: Кочулу Аргун – координатор проектов турецких строительных фирм,
И.Н. Тихонов – д-р техн. наук, руководитель Центра № 21 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева,
Н.А. Иваненко – канд. техн. наук, доцент Сочинского государственного университета.

Вопросы задавали: Н.Н. Карпенко, Н.А. Иванченко, О.В. Кабанцев, С.С. Каприелов.

Выступили: Н.Н. Трёкин, И.Н. Тихонов, В.П. Блажко, Л.Н. Смирнова, О.В. Кабанцев, Н.А. Иванченко, М.Б. Краковский.

Решения

1. Признать актуальность рассмотренной темы. Землетрясение в Турции 6 февраля 2023 г. привело к гибели десятков тысяч людей, многочисленным разрушениям зданий и сооружений, в том числе из железобетона.
2. Отметить, что одной из основных причин разрушений железобетонных зданий и сооружений являются ошибки расчета и проектирования. Необходима разработка мер по исключению таких ошибок с целью минимизации возможности катастрофических последствий землетрясений в будущем.
3. Одобрить предложения И.Н.Тихонова по расчету и проектированию, позволяющие увеличить сейсмостойкость железобетонных конструкций.
4. Считать целесообразным для обобщения опыта, накопленного в России, Турции и других странах, подготовить и издать «Пособие по проектированию сейсмостойких железобетонных конструкций» (далее Пособие). Включить в Пособие необходимые теоретические положения; проверенные алгоритмы расчетов, позволяющие получать надежные и экономичные решения; числовые примеры, иллюстрирующие применение алгоритмов; рекомендуемые объемно-планировочные решения; вопросы сейсмоизоляции.
5. Считать целесообразным для подготовки Пособия создать рабочую группу.
6. Считать целесообразным подготовку на основе рекомендаций Пособия программного обеспечения для использования в практической работе проектных организаций при проектировании сейсмостойких железобетонных конструкций.
7. Считать целесообразным подготовку письма в Минстрой РФ с предложениями о внесении изменений в СП 14.13330.2018 «Свод правил. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7–81*».

УДК 699.841

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-29-34>

А.В. МАСЛЯЕВ, канд. техн. наук (victor3705@mail.ru)

Научно-исследовательская сейсмическая лаборатория (400117, г. Волгоград, ул. Землячки, 27, корп. А, 51)

Первоочередные задачи строительной науки России

Десятки миллионов россиян проживают в населенных пунктах, которые периодически подвергаются воздействию опасных природных явлений. Федеральный закон № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» начинается с указания главной цели строительной науки России – защиты жизни и здоровья людей при опасных природных воздействиях. Одна из важнейших задач строительной науки России – определение максимальных уровней этих воздействий за время эксплуатации населенных пунктов. Однако считается, что защиту жизни людей можно обеспечивать в зданиях, для которых расчетная сейсмическая опасность принимается минимальной. Автор предлагает к обсуждению новое название Федерального закона № 384-ФЗ: «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений населенных пунктов» и новое название для СП 14.1330.2018: «Сейсмозащита жизни и здоровья людей в населенных пунктах при землетрясении».

Ключевые слова: строительная наука, населенный пункт, здание, инженерные задачи, опасные природные воздействия, защита жизни и здоровья людей, федеральный закон, нормативный документ.

Для цитирования: Масляев А.В. Первоочередные задачи строительной науки России // *Жилищное строительство*. 2023. № 5. С. 29–34. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-29-34>

A.V. MASLYAEV, Candidate of Sciences (Engineering) (victor3705@mail.ru)
Research Seismic Laboratory (27, bldg. A. 51, Zemlyachki Street, 400117, Volgograd, Russian Federation)

Priority Tasks of Construction Science in Russia

Tens of millions of Russians live in settlements that are periodically exposed to natural hazards. Federal Law No. 384-FZ “Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures” begins with an indication of the main goal of the construction science in Russia - the protection of life and health of people under hazardous natural impacts. One of the most important tasks of the construction science in Russia is to determine the maximum levels of these impacts during the operation of settlements. However, it is believed that the protection of human life can be provided in buildings for which the design seismic hazard is assumed to be minimal. The author proposes for discussion a new name for Federal Law No. 384-FZ: “Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures in Settlements” and a new name for SP 14.1330.2018: “Seismic Protection of Life and Health of People in Settlements During an Earthquake”.

Keywords: construction science, settlement, building, engineering tasks, hazardous natural impacts, protection of human life and health, federal law, regulatory document.1

For citation: Maslyayev A.V. Priority tasks of construction science in Russia. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 5, pp. 29–34. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-29-34>

Основная цель данной статьи в том, чтобы по анализу содержания основных положений федеральных законов и нормативных документов РФ строительного содержания сделать вывод о выполнении или невыполнении строительной наукой России первых двух главных строительных задач в строительстве. Но так как строительную науку любой страны в первую очередь характеризует техническое содержание ее нормативного правила по расчету рисков для людей в зданиях при опасных природных явлениях, с рассмотрения содержания этого действующего нормативного правила в России и начнем свой анализ.

Начать следует с напоминания основного положения о том, что сами значения социальных (экономических) рисков зависят в основном от учета или неучета в их математических расчетах максимального количества зданий и сооружений (людей), которые при этом одновременно оказались под воздействием опасного при-

родного явления с максимальной интенсивностью [1–3]. О такой зависимости значений рисков при опасных природных воздействиях указано в [4]: «Также следует заметить, что риск для группы зданий в значительной степени выше, чем сумма рисков по отдельным элементам». О такой же зависимости значений рисков при опасных природных воздействиях указывал и другой известный ученый-сейсмолог: «При оценке сейсмической опасности вне количественного рассмотрения остается такой исключительно важный аспект, как рост опасности с увеличением количества объектов. Учет этого обстоятельства необходим при оценке риска и суммарных затрат на обеспечение безопасности системы объектов» [5]. Более того, ученые России обладают уже конкретными данными о такой зависимости значений рисков, например при Спитакском 1988 г. землетрясении (Армения), когда под его воздействием оказались сразу такие крупные города, как Спитак, Кировакан, Степанаван, Ленинакан и

примерно 350 сельских поселений, в которых тысячи людей погибли и пропали без вести. Или при землетрясениях в Турции, Сирии в феврале 2023 г. с максимальной магнитудой (M-7,8) и с огромным набором повторных толчков (землетрясений) буквально через первые минуты после основного землетрясения, совместное воздействие которых разрушило тысячи зданий с гибелью десятков тысяч людей. Проявление вышеуказанных последних землетрясений свидетельствует еще и о вероятности «большой масштабы» воздействия многих сильных землетрясений на территориях сразу нескольких населенных пунктов, но которую в расчетах рисков как раз и не учитывает строительная наука России [3].

Специалистам известно, что повторные толчки (землетрясения), как правило, происходят после первого сильного землетрясения. Воздействия последних повторных землетрясений в Турции, Сирии в феврале 2023 г. в который раз наглядно показали специалистам серьезную недоработку строительной науки России и в том, что в расчетах сейсмостойких зданий (СП 14.13330.2018) не учитывается вероятность воздействия на них сильных повторных землетрясений, которые могут легко разрушить уже поврежденные конструкции зданий от воздействия первого землетрясения [6–14].

Именно поэтому сейсмические риски для людей и строительных объектов следует рассчитывать только с учетом одновременного пребывания огромного числа людей в зданиях и сооружениях на территории сразу нескольких населенных пунктов [3]. Однако такая неоспоримая зависимость значений рисков от фактора большой масштабы воздействия опасных природных явлений на территории нескольких населенных пунктов РФ и от воздействия повторных землетрясений игнорируется в Приложении Ф ГОСТ 31937–2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния»: «...риск нанесения зданию (сооружению) ущерба определенного уровня при опасном воздействии данной интенсивности за срок службы объекта». Таким образом, имеющиеся минимальные значения нормативных допустимых рисков, например для массовых жилых и общественных сейсмостойких зданий населенных пунктов РФ, следует признать для строго ограниченных жизненных условий, когда воздействия опасных природных явлений происходят в виде землетрясения с минимальной интенсивностью и только на малое количество зданий (людей).

Капитальные здания на территории населенного пункта должны возводиться с расчетом на максимальные воздействия опасных природных явлений за время длительной эксплуатации, что обеспечит надежную защиту жизни и здоровья людей при стихийных воздействиях. Расчеты сейсмостойких зданий максимальной интенсивности землетрясения требуют в расчетной части СП 14.13330.2018 учета воздействия повторных

сильных землетрясений [1]. При этом строителям, как оказалось, защитить здоровье людей в зданиях при воздействиях опасных природных явлений гораздо сложнее по сравнению с защитой только их жизни [3]. В СП 14.13330.2018 вообще отсутствует учет защиты здоровья людей при землетрясении. Как показано в [12], расчетные положения в СП 14.13330.2018 для сейсмостойких зданий и сооружений способны только значительно увеличить число людей с потерянными здоровьем при землетрясении. При этом показатель «экономичности» капитальных строительных объектов на территории населенных пунктов следует определять, учитывая их утилизацию. Строительные объекты с большими сроками эксплуатации становятся экономичнее аналогичных строительных объектов с меньшими сроками эксплуатации, о чем свидетельствует предложенная в [6] линейная зависимость значения коэффициента «экономической эффективности зданий».

Из вышеизложенного анализа следует, что с целью упрощенного выполнения задачи по защите жизни и здоровья людей в жилых и общественных зданиях при землетрясении, наводнении на территории России во всех федеральных законах: № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации» и нормативных документах СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений», СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах», ГОСТ 27751–2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» нет факта признания населенных пунктов объектами капитального строительства.

Рассмотрим еще правила, которые используются при определении уровней опасности природных явлений для расчетов строительных объектов на территориях населенных пунктов. Но при этом прежде всего следует учитывать и сложившееся разделение зданий на два типа в зависимости от условий их расположения на местности. *I тип зданий* предназначен для возведения на территории населенного пункта со сроком эксплуатации 1 тыс. лет и более. Основная отличительная особенность зданий этого типа в том, что после их утилизации на их местах почти тут же возводятся другие здания. Поэтому получается, что основная опасность для зданий I типа исходит только из их длительного и непрерывного пребывания на одной и той же территории населенного пункта, на которой, по данным комплекта сейсмических шкал ОСР-2015, за одну тысячу и более лет со 100% вероятностью произойдет опасное природное явление. *II тип зданий* – в виде отдельно стоящего объекта (за пределами населенного пункта), после утилизации которого другое здание на его месте может и не возводиться [15–17].

Для анализа основных правил, которые использует строительная наука России для определения уров-

ней опасности природных воздействий при расчетах строительных объектов, обратимся непосредственно к содержанию основных положений федеральных законов № 190-ФЗ, 384-ФЗ и нормативных документов СП 14.13330.2018, СП 42.13330.2016, ГОСТ 27751–2014, СН 2.2.4/2.1.8.566–96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий». Во-первых, как говорилось выше в статье, во всех этих вышеперечисленных федеральных законах и нормативных документах РФ строительного содержания отсутствует классификация зданий и сооружений на два типа по условиям расположения их на местности, что позволяет им в своих положениях на территориях населенных пунктов России необоснованно возводить только здания и сооружения II типа. Об этом прежде всего говорит и отсутствие в этих положениях какого-либо указания о том, что проектируемые здания и сооружения предназначены или не предназначены для размещения на территориях населенных пунктов. Вторым показателем того, что все эти строительные объекты относятся к зданиям II типа, является тот факт, что уровень, например, превышения или не превышения сейсмической опасности для них согласно п. 5.3 СП 14.13330.2018 определяется только в течение 50 лет, а не в течение 1000 лет, как того требуют здания и сооружения I типа. Третьим показателем использования только зданий и сооружений II типа для застройки населенных пунктов России является примененная в них классификация (разделения) всех зданий и сооружений по уровню их ответственности. К самому существенному недостатку этой классификации зданий и сооружений следует отнести прежде всего тот факт, что в ней отсутствует главный критерий – количество людей, которых необходимо защитить при опасных природных явлениях. Нормативная классификация зданий и сооружений по уровню ответственности использует второстепенные показатели строительных объектов: этажность (высота и т. д.). Таким образом, при застройке населенных пунктов России зданиями со сроком эксплуатации 50–100 лет будут за 1 тыс. лет 20 раз утилизироваться и на их местах возводиться новые здания. Такое решение несколько удешевляет только их возведение, но не защищает людей от воздействия опасного природного явления за время 1 тыс. лет и более, что экономически выгодно строительным компаниям, которые их возводят.

По принятой в п. 7 ст. 4 Федерального закона № 384-ФЗ РФ классификации зданий и сооружений по уровню ответственности ученые-сейсмологи для территорий населенных пунктов России разработали комплект сейсмических карт ОСП-2015 (А, В, С). Эти три сейсмические карты различаются между собой разной усредненной интенсивностью и разной усредненной повторяемостью землетрясений примерно следующим образом: в карте А предусмотрена наименьшая усредненная интенсивность землетрясения с его усреднен-

ной повторяемостью на местности один раз в 500 лет; в карте В усредненная интенсивность землетрясения примерно на один балл больше интенсивности, чем в карте А с его усредненной повторяемостью один раз в одну тысячу лет; в карте С самая максимальная усредненная интенсивность землетрясения на местности с его усредненной повторяемостью один раз в 5000 лет.

Разная вероятность свидетельствует и о возможности землетрясения с максимальной интенсивностью, для которого в карте С прописана минимальная вероятность. Поэтому в [13] показано, что место, время, интенсивность очередного опасного природного явления человечеству определить просто невозможно. Строителям следует также учитывать, что реальные значения повторяемости землетрясений никогда не будут совпадать с расчетными нормативными значениями в сейсмических картах А, В, С.

Устанавливать усредненные нормативные значения для любой случайной величины, например интенсивность и повторяемость землетрясений на местности, на 1 тыс. лет теоретически недопустимо. К тому же имеются теоретические выводы ученых, которые считают сейсмический процесс нестационарным процессом, т. е. со временем его основные технические характеристики значительно меняются [5].

Статистика прошедших сильнейших землетрясений на территориях многих стран за единый период времени (пропуски землетрясений вероятны) свидетельствует о том, что в период активизации землетрясений на Земле не может быть такого значения повторяемости сильных землетрясений, как, например, один раз в 500 лет, как в ОСП-2015 [6]. Поэтому нормативные значения основных характеристик землетрясений в ОСП-2015 значительно расходятся с этими же значениями землетрясений, которые произошли в конце XX – начале XXI в. на территории СССР (России) и ряда других стран. Предлагается для расчетов капитальных строительных объектов населенных пунктов использовать характеристики землетрясений на территории России только из последнего периода их высокой сейсмической активности.

Из-за принятых специалистами упрощений при определении уровня сейсмической опасности для расчета зданий на воздействия землетрясения можно утверждать, что почти в 100% случаев реальные уровни сейсмических воздействий по своим значениям никогда не будут совпадать с их расчетными значениями. Поэтому при сильном землетрясении в населенных пунктах со 100% вероятностью всегда будут образовываться примерно четыре разные степени последствий, которые могут объективно характеризовать строительную науку страны: *первая степень* последствий в населенных пунктах (наиболее благополучная): большая часть зданий и сооружений получает повреждения не более первой степени по сейсмической шкале ГОСТ Р 57546–2017 «Землетрясе-

ния. Шкала сейсмической интенсивности», люди живы, но меньшинство все же получает психическую травму, дальнейшая эксплуатация зданий и сооружений возможна; *вторая степень* последствий (удовлетворительная): многие здания и сооружения получают повреждения не более третьей степени, все люди живые, но большая их часть получает тяжелую психическую травму, эксплуатация зданий и сооружений невозможна; *третья степень* последствий (катастрофическая): многие здания и сооружения получают локальные обрушения, немногие обрушены, небольшая часть людей погибает, многие люди получают физическую и психическую травму, эксплуатация зданий и сооружений невозможна; *четвертая степень последствий* (крайне катастрофическая): почти все здания и сооружения разрушаются, основная часть людей погибает. Именно поэтому в разных странах мира в зависимости от уровня развития их строительной науки при землетрясении обязательно образуется только своя степень последствий в населенных пунктах.

В России, например, при землетрясении в поселке Нефтегорск (Сахалин) в 1995 г. образовалась наихудшая четвертая степень последствий. Поэтому, особенно для обязательной защиты жизни и здоровья десятков тысяч людей в строительных объектах населенных пунктов при землетрясении, строительной науке России следует коренным образом изменить свое основное правило по определению расчетного уровня сейсмического воздействия для всех капитальных строительных объектов населенных пунктов. Ведь населенный пункт следует воспринимать только как самый крупнейший объект капитального строительства страны, который возводился, как правило, многими поколениями людей, в которых размещается, как правило, огромное число его населения, поэтому при любой интенсивности землетрясения его просто недопустимо потерять, так как тогда эту работу строителей следует обоснованно признавать искусственной катастрофой (ведь природа никогда не виновата). Авторы предлагают потерю населенного пункта при землетрясении в Уголовном кодексе РФ признать преступлением для конкретных людей. Ведь расчет капитальных строительных объектов населенных пунктов России только на максимальную интенсивность землетрясения хорошо согласуется и со следующими основными (природными) возможностями у самих строительных объектов: значительно повышается надежность зданий и сооружений по защите жизни и здоровья людей; при увеличении сметной стоимости здания на 1% за счет только повышения прочности конструкций здания увеличивает срок его эксплуатации примерно на 10 лет; за счет значительного увеличения срока эксплуатации таких строительных объектов значительно снижается их конечная сметная стоимость.

Другими словами, для российских строителей даже экономически выгоднее строить капитальные строи-

тельные объекты с максимально прочностными характеристиками их конструкций даже и в обычных условиях их возведения. Поэтому строительная наука России основным результатом своей работы должна признать прежде всего образование в населенных пунктах при землетрясении только первой степени последствий. Но для этого строительная наука России должна расчетом обеспечить защиту всего населенного пункта от воздействия опасного природного явления, а не только защиту для отдельных строительных объектов. Видимо, поэтому в настоящее время в России в аварийных и ветхих жилых домах в населенных пунктах еще проживают миллионы людей. Но для реализации этой цели, по мнению автора, следует присвоить новые названия для Федерального закона № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений населенных пунктов» и для СП 13330.2018 «Сейсмозащита жизни и здоровья людей в зданиях и сооружениях населенных пунктов при землетрясении».

Содержание строительной науки России в наибольшей степени проявляется и в реальных действиях региональных властей страны. Так, например, решением СП 14.13330.2018 территория Волгоградской области с 2000 г. признана сейсмоопасной. Более того, об идущем на этой территории активном сейсмическом процессе объективно свидетельствуют и данные из «Карты современных вертикальных движений земной коры на территории СССР (М.: ЦНИИ геологии, аэросъемки и картографии. 1990), согласно которым сегодняшняя скорость опускания поверхности Земли на территории Волгоградской области находится в пределах от 1 до 8 мм/в год. Более того, в [10] теоретически обосновано усиление со временем этого сейсмического процесса на территории Волгоградской области. К тому же, например, администрация Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН была вынуждена написать письмо за № 13106-11-2115/263 от 14.11.2013 г. на имя губернатора Волгоградской области о необходимости «разработать и выполнить региональную программу... по определению местоположения и характеристик активности тектонических разломов на территориях основных населенных пунктов Волгоградской области», без учета которых, как известно ученым, на таких территориях просто невозможно оценить реальную сейсмическую опасность. Но прошло уже почти 10 лет, а эти необходимые для строителей области результаты никто еще и не начинал определять.

Все это свидетельствует только о том, что строители Волгоградской области при возведении строительных объектов не закладывают намного большую сейсмическую опасность в проекты по сравнению с нормативной в СП 14.13330.2018. При этом полное равнодушие к проходящему сейсмическому процессу на территории Волгоградской области исполнительная власть показала, например, в отсутствии анализа прошедшей

26 января 2023 г. слабой подвижки в грунтах на юге Волгограда, которую только в Интернете и смогли отметить ряд ее жителей.

Как известно ученым, в каждом сейсмоопасном регионе образуются причины и характеристики проявления местных землетрясений, поэтому непосредственно ученые в регионах постоянно обязаны их изучать (как примерно это делают в Японии). Для объективного анализа проходящего сейсмического процесса на территории региона исполнительная власть обязана привлекать ученых, которые должны определить уровень сейсмической опасности вероятных региональных землетрясений. Известно, что в Волгограде несколько лет назад ликвидирована единственная сейсмостанция. И это несмотря на то, что сейсмостанция была размещена при Волгоградском строительном институте по настоянию ученых-сейсмологов Института физики Земли им. Ю.О. Шмидта и по решению Волгоградского областного Совета народных депутатов за № 19/257 от 14.08.1992 г.

Автор предлагает:

– новое название Федерального закона № 384-ФЗ: «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений населенных пунктов»;

– новое название СП 14.1330.2018: «Сейсмозащита жизни и здоровья людей в населенных пунктах при землетрясении»;

– из-за отсутствия в СП 14.1330.2018 выполнения требования ст. 26 Федерального закона № 384-ФЗ по защите здоровья людей от вибрации зданий при землетрясении этот документ следует признать нелегитимным;

– для расчета капитальных зданий и сооружений на реальные уровни воздействия опасных природных явлений следует населенные пункты признавать объектами капитального строительства с длительностью жизненного цикла 1 тыс. лет и более;

– в Федеральном законе № 384-ФЗ следует предусмотреть новую первую степень последствий в населенных пунктах после воздействия землетрясения большая

часть зданий и сооружений должна получить повреждения не более первой степени по сейсмической шкале ГОСТ Р 57546–2017; только меньшая часть людей должна получить психическую травму; дальнейшая эксплуатация зданий и сооружений возможна;

– сейсмический процесс в Земле следует признать нестационарным процессом с его проявлением по правилу смены периода затишья на период всплеска его высокой активности;

– так как сейсмический процесс в Земле является нестационарным, основные характеристики землетрясений для расчетов строительных объектов населенных пунктов следует использовать из данных последнего всплеска высокой активности на территории России;

– строительная наука РФ не защищает жизнь и здоровье людей в населенных пунктах, так как при эксплуатации зданий даже по сейсмической шкале ОСР-2015 на их территориях могут произойти землетрясения только с максимальной интенсивностью, на которые они не рассчитываются;

– в ближайшей перспективе человечество будет вынуждено по экономическим причинам в населенных пунктах возводить здания и сооружения с максимальными сроками их эксплуатации;

– в новой редакции Федерального закона № 384-ФЗ, по мнению автора, следует предусмотреть положение, которое будет обязывать управляющие компании особо опасных строительных объектов России (например, плотина Волжской ГЭС) через каждые 10 лет привлекать ученых для оценки безопасности, результаты которой через средства массовой информации докладывать общественности России.

References

1. Maslyayev A.V. Russian construction system does not recognize the impact of repeated earthquakes on construction sites. *American Scientific Journal*. 2020. No. 38, pp. 41–49. (In Russian). DOI: 10.31618/asj.2707-9864.2020.1/38/12
2. Ginzburg A.V., Maslyayev A.V. Protection of localities in hazardous natural phenomena is the main purpose of the Russian construction system. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2021. No. 12, pp. 35–44. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-12-35-44>
3. Maslyayev A.V. The need to recognize the settlements of Russia as objects of capital construction. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2022. No. 8, pp. 28–37. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-8-28-37>
4. Koff G.L., Ryumina E.V. Seismicheskii risk (vidy, otsenka, upravlenie) [Seismic risk (types, assessment, management)]. Moscow: Polteks. 2003. 108 p.

- № 8. С. 28–37. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-8-28-37>
4. Кофф Г.Л., Рюмина Е.В. Сейсмический риск (люди, управление). М.: Полтекс. 2003. 108 с.
 5. Штейнберг В.В. Колебания грунта при землетрясениях. *Источники и воздействие разрушительных сейсмических колебаний. Вопросы инженерной сейсмологии*. М.: АН СССР. Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта. 1990. Вып. 31. С. 47–67.
 6. Масляев А.В. Проблема сейсмической опасности для населенных пунктов России // *Жилищное строительство*. 2023. № 1–2. С. 21–27. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-1-2-21-27>
 7. Масляев А.В. Неадекватность федеральных законов и нормативных документов РФ в отсутствие перечня «объектов защиты» при опасных природных и техногенных воздействиях // *Жилищное строительство*. 2018. № 4. С. 44–48.
 8. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: МГУ, 1995. 480 с.
 9. Юдахин Ф.Н., Щукин Ю.К., Макаров В.И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 300 с.
 10. Масляев А.В. Населенные пункты на Прикаспийской геосинклинали возведены без учета идущих в ней тектонических процессов // *Жилищное строительство*. 2021. № 8. С. 44–51. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-8-44-51>
 11. Maslyayev A.V. The Russian construction systems goal of reducing the cost of mass residential and public buildings // *Seismic instruments*. 2020. Vol. 56. No. 2, pp. 237–243. DOI: 10.3103/SO747923920020073
 12. Масляев А.В. Увеличение потерь здоровья населения в зданиях при землетрясении в федеральных законах и нормативных документах РФ // *Жилищное строительство*. 2017. № 4. С. 43–47.
 13. Масляев А.В. Сейсмозащита населенных пунктов России с учетом фактора «непредсказуемости очередного опасного природного явления» // *Жилищное строительство*. 2017. № 11. С. 43–47.
 14. Масляев А.В. Сейсмостойкость зданий с учетом повторных сильных толчков при землетрясении // *Промышленное и гражданское строительство*. 2008. № 3. С. 45–47.
 15. Sokolov N., Ezhov S., Ezhova S. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem // *Journal of applied engineering science*. 2017. Vol. 15. No. 4, pp. 518–523.
 16. Composition of the Building Standard Law of Japan. Tokio: 1987. 29 p.
 17. Масляев А.В. Необходимость образования региональных научных центров для защиты строительных объектов от воздействия опасных природных явлений // *Жилищное строительство*. 2017. № 4–5. С. 56–63.
 5. Steinberg V.V. Ground vibrations during earthquakes. *Sources and impact of destructive seismic vibrations. Engineering questions Neural seismology*. Moscow: AN SSSR. Inst. of Physics of the Earth. O.Y. Schmidt. 1990. Iss. 31, pp. 47–67.
 6. Maslyayev A.V. The Problem of seismic hazard for russian settlements. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2023. No. 1–2, pp. 21–27. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-1-2-21-27>
 7. Maslyayev A.V. Inadequacy of the RF Federal Laws and normative documents in the absence of a list of “objects of protection” under dangerous natural and anthropogenic effect. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2018. No. 4, pp. 44–48. (In Russian).
 8. Khain V.E., Lomize M.G. Geotectonica osnovami geodinamici [Geotectonica with geodynamics bases]. Moscow: MSU. 1995. 480 p.
 9. Yudakhin F.N., Shchukin Yu.K., Makarov V.I. Glubinoe stroenie I sovremennye geodinamicheskie protsessy v litosfere Vosnochno-Evropееikoi platform [Deep structure and modern geodynamic processes in a lithosphere of the East European platform]. Yekaterinburg: UrO RAN. 2003. 300 p.
 10. Maslyayev A.V. Settlements on the Peri-Caspian geosyncline were built without taking into account the active tectonic processes taking place in it. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2021. No. 8, pp. 44–51. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-8-44-51>
 11. Maslyayev A.V. The Russian construction systems goal of reducing the cost of mass residential and public buildings. *Seismic instruments*. 2020. Vol. 56. No. 2, pp. 237–243. DOI: 10.3103/SO747923920020073
 12. Maslyayev A.V. Increase in the loss of health of the population in buildings during earthquakes in federal laws and normative documents of the Russian Federation. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2017. No. 4, pp. 43–47. (In Russian).
 13. Maslyayev A.V. Seismic protection of settlements of Russian with due regard For “Unpredictability of the next dangerous naturalphe nomenon”. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2017. No. 11, pp. 43–47. (In Russian).
 14. Maslyayev A.V. Seismic stability of buildings taking into account repeated strong pushes at earthquake. *Promyshlennoe I grazhdanskoe stroitelstvo*. 2008. No. 3, pp. 45–47. (In Russian).
 15. Sokolov N., Ezhov S., Ezhova S. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem. *Journal of applied engineering science*. 2017. Vol. 15. No. 4, pp. 518–523.
 16. Composition of the Building Standard Law of Japan. Tokio: 1987. 29 p.
 17. Maslyayev A.V. Need to establish regional centers to protect construction objects from the effects of natural hazards. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2017. No. 4–5, pp. 56–63. (In Russian).

УДК 624.159.2

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-35-41>

Д.Ю. ЧУНЮК, канд. техн. наук (chunyuk@mail.ru),
В.С. ГРИШИН, инженер (vladislav.grishin.1995@mail.ru)

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Эффективность применения некоторых видов защитных конструктивных мероприятий при разработке котлована

При строительстве гражданских, транспортных и реконструируемых объектов с глубокими котлованами в условиях плотной застройки нередко возникает необходимость применения дополнительных защитных мероприятий, не выходящих за границы проектируемого котлована. В статье рассматривается применение преднапряженных распорок и поперечных стен (для котлованов с распорками), а также применение двух видов контрфорсов (для котлованов с подкосами). Для оценки эффективности проведено моделирование шести расчетных трехмерных схем, а эффект от рассматриваемых мероприятий оценивался по горизонтальным перемещениям стенки ограждения. Особенностью расчета являлось моделирование ограждения объемными элементами с учетом разрывов между захватками бетонирования для корректного учета жесткости и действительной толщины конструкций. По результатам расчета отмечается эффективность рассматриваемых мероприятий, в особенности применение временных поперечных стен.

Ключевые слова: «стена в грунте», глубокий котлован, открытый способ, геотехнический прогноз, оценка влияния, зона интенсивных деформаций, защитные мероприятия, пассивная защита, поперечные стенки.

Для цитирования: Чунюк Д.Ю., Гришин В.С. Эффективность применения некоторых видов защитных конструктивных мероприятий при разработке котлована // *Жилищное строительство*. 2023. № 4. С. 35–41. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-35-41>

D.Yu. CHUNYUK, Candidate of Sciences (Engineering) (chunyuk@mail.ru), V.S. GRISHIN, engineer (vladislav.grishin.1995@mail.ru)
National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation)

The Effectiveness of the Use of Certain Types of Protective Constructive Measures in the Development of the Pit

During the construction of civil, transport and reconstructed objects with deep pits in conditions of dense construction, it is often necessary to use additional protective measures that do not go beyond the boundaries of the projected pit. The article discusses the use of prestressed struts and transverse walls (for pits with struts), as well as the use of two types of buttresses (for pits with struts). To assess the effectiveness, 6 calculated three-dimensional schemes were modeled, and the effect of the measures under consideration was estimated by horizontal movements of the fence wall. A special feature of the calculation was the modeling of the fence with volumetric elements, taking into account the gaps between the concreting grips, in order to correctly account for the rigidity and actual thickness of the structures. According to the results of the calculation, the effectiveness of the measures under consideration is noted, especially the use of temporary transverse walls.

Keywords: slurry wall, deep excavation, open method, geotechnical forecast, impact assessment, zone of intense deformations, protective measures, passive protection, transverse walls.

For citation: Chunyuk D.Yu., Grishin V.S. The effectiveness of the use of certain types of protective constructive measures in the development of the pit. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 5, pp. 35–41. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-35-41>

Все чаще в практике проектирования и строительства реализуются объекты с развитой подземной частью. Множество современных жилых и коммерческих комплексов имеют заглубленную стилобатную часть, используемую в качестве паркинга, торговых площадей и технических помещений. Реконструкция многих исторических объектов происходит с активным освоением подземного пространства. Реализуются объекты транспортной и инженерной инфраструктуры, также сопровождаемые большими объемами земляных работ.

Зачастую данные объекты окружены зданиями, сооружениями и коммуникациями. Некоторые буквально

вписаны в окружающую застройку. Хорошим примером являются проекты, реализуемые в исторических центрах городов, где каждый квадратный метр земли имеет большую ценность, этажность проектируемого здания ограничена и имеются требования к наличию парковочных мест. Все эти факторы вынуждают заглублять и развивать подземную часть здания. В результате запроектированные котлованы получают большой глубины, нередко даже уникальными ($H > 15$ м), вблизи которых (иногда на бровке ограждения) располагается историческая застройка, порой со статусом объекта культурного наследия. Инфраструктурные

проекты также довольно часто реализуются в непосредственной близости от существующих зданий и сооружений и имеют большую глубину заложения [1].

На этапе проектирования данных объектов, а именно выполнения геотехнического прогноза, неминуемо возникают сложности и необходимость применения различных защитных мероприятий, позволяющих избежать возможных геотехнических рисков [2]. Стоит учитывать, что в процессе устройства ограждения котлована (при близком расположении зданий оно преимущественно выполняется железобетонным), пересадки здания на буроинъекционные (БИС) или грунтоцементные сваи, выполнения отсечных стенок могут проявляться дополнительные технологические осадки [3]. Вибропогружение шпунта [4, 5], устройство «стены в грунте» [6] и даже ограждения из буровых свай при нарушении технологии дают дополнительные деформации, порой превышающие нормируемые еще до откопки котлована. Дополнительной трудностью являются жесткие требования к историческим зданиям (10 мм дополнительной осадки при работоспособном состоянии и 5 мм при ограниченно-работоспособном), необходимость усиления которых при расположении в зоне влияния очень вероятна [7]. Наличие в основании слабых, структурно-неустойчивых грунтов еще более осложняет ситуацию [8].

Согласно СП 361.1325800.2017 «Здания и сооружения. Защитные мероприятия в зоне влияния строительства подземных объектов» защитные мероприятия разделяют на пассивные [9, 10], выполняемые однократно и не влияющие на напряженно-деформированное состояние (НДС) грунта в процессе строительства, и активные [11, 12], выполняемые многократно с относительно контролируемым изменением НДС грунта.

Различные виды данных мероприятий находят применение как в гражданских [13], так и в инфраструктурных проектах [14], а их исследованию посвящены работы [15–17]. Однако существуют некоторые эффективные мероприятия, активно используемые зарубежными инженерами, но не получившие широкого применения и недостаточно изученные в отечественной практике, о которых и пойдет речь в данной работе.

Материалы и методы

Данная статья посвящена вопросу применения некоторых конструктивных, пассивных, защитных мероприятий и оценке их эффективности. Рассматриваются трехмерные задачи (шесть моделей) для котлованов с распорками и разработкой грунта горизонтальными уровнями, а также задачи для котлованов с подкосами и разработкой грунта с формированием удерживающих берм (рис. 1). В качестве конструктивных защитных мероприятий для котлова-

нов с распорками рассматриваются преднапряженные распорки (преднапряжение происходит единожды на момент установки распорки) и дополнительные поперечные стены (демонтируемые в процессе откопки). Для котлованов с подкосами применены два типа контрфорсов (плоский и тавровый).

Эффективность мероприятий оценивается по горизонтальным перемещениям «стены в грунте», имеющим прямую зависимость с осадками поверхности грунта [18, 19], на которой потенциально находится здания. В расчете учитывается только разработка котлована, в большинстве случаев (при рациональном проектировании и штатном ведении работ) вносящая основной вклад в дополнительные деформации.

Расчетные схемы приняты со следующими общими, основными параметрами: ограждение – траншейная «стена в грунте» толщиной 600 мм из бетона класса В30; глубина котлована – 10 м; заземление стенки – 5 м; шаг крепления – 6 м; нагрузка на бровку – 20 кПа.

Для котлована с распорками раскрепление принято двухъярусным, распорками длиной 25 м, сечением 1020×8. Преднапряжение принималось 1500 кН, равным примерно 40% от несущей способности распорки по устойчивости; при дальнейшей нагрузке распорки это условие также контролировалось. Шаг поперечных стен 6 м, толщина стен 600 мм.

Для схемы котлована с подкосами принято одноярусное крепление с упором подкоса в обвязочную балку, для возможности сохранения контрфорсов до окончания раскопок. Шаг контрфорсов принят 6 м.

Геометрические размеры контрфорсов, поперечных стен и бетонируемых захваток представлены на рис. 2.

Для наиболее корректного и близкого к реальности поведения стенка ограждения моделировалась объемными элементами с учетом швов между захватками СВГ и устройством обвязочной балки (рис. 3). Данный подход позволяет учесть ортотропную работу конструкции (в горизонтальной плоскости работают только обвязочная балка и распределительный пояс), фактическую жесткость стены с учетом швов бетонирования, фактические толщины элементов (важно для корректной работы контрфорсов и стен).

Поведение грунта описывается моделью Hardening soil. Механические характеристики представлены в табл. 1.

Геологические условия и соответствующие физико-механические характеристики (для II группы предельных состояний) приняты по реальному объекту и характеризуются следующим залеганием:

– ИГЭ-1а. Насыпной грунт глинистого состава, с включением строительного мусора, слежавшийся, влажный (t-QIV) ($E=10$ МПа; $\varphi=16^\circ$; $c=10$ кПа);

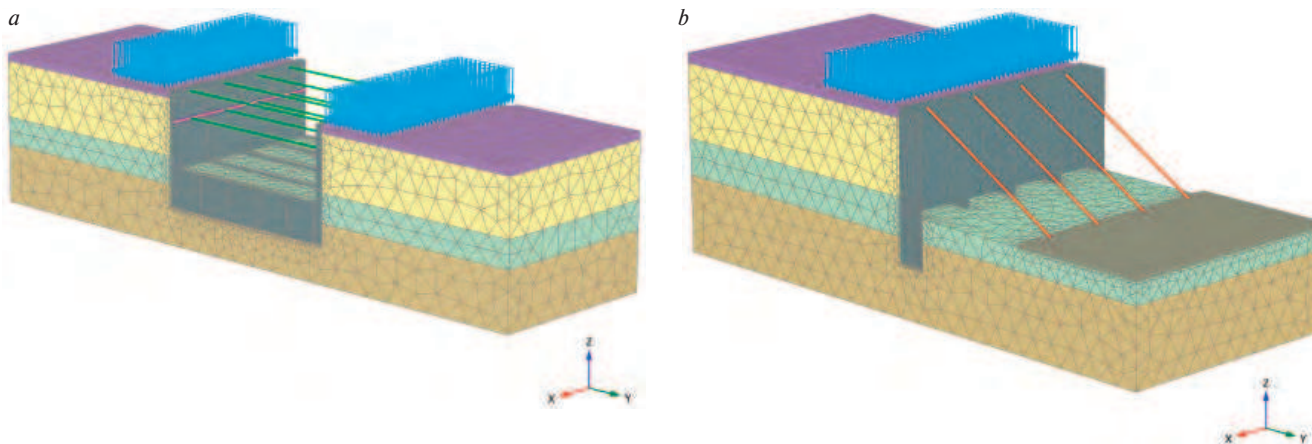


Рис. 1. Расчетные схемы: а – котлован с распорками; б – котлован с подкосами
Fig. 1. Calculation schemes: a – pit with struts; b – pit with inclined struts

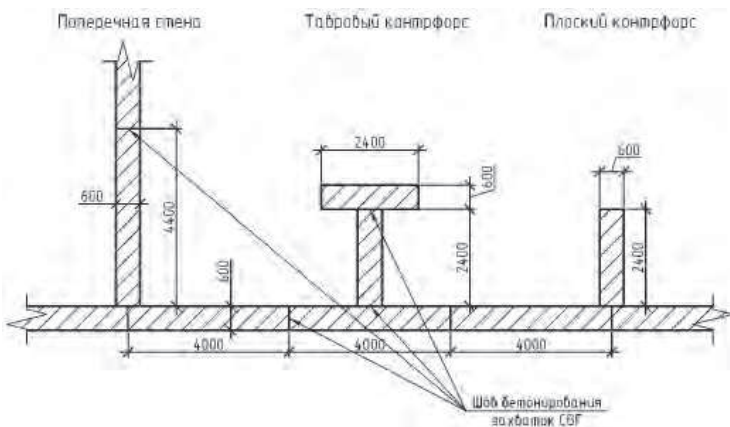


Рис. 2. Принятые геометрические размеры бетонизируемых захваток
Fig. 2. Accepted geometric dimensions of concreted grippers

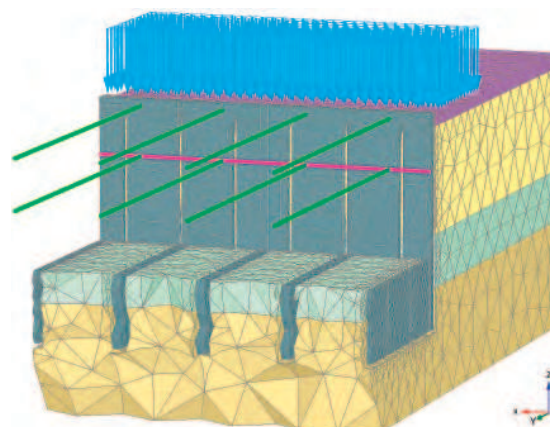


Рис. 3. Устройство обвязочной балки и разрывов между захватками «стены в грунте»
Fig. 3. The device of the binding beam and the gaps between the slurry wall grips

Таблица 1
Table 1

Механические характеристики грунтов
Mechanical characteristics of soils

Номер и наименование инженерно-геологического элемента (ИГЭ)	P_{ref} , кПа	Коэффициент бокового давления грунта K_{0c}	Коэффициент переуплотнения OCR	Одометрический модуль деформации E_{ocd} , МПа	Секундный модуль деформации E_{50}^{ref} , МПа	Модуль деформации при разгрузке/повторном нагружении E_{ur}^{ref} , МПа	Коэффициент Пуассона ν_{ur}	Угол дилатансии ψ , град	Степенной показатель зависимости жесткости от уровня напряжений, m
ИГЭ-1а. Насыпной грунт глинистого состава, с включением строительного мусора, слежавшийся, влажный (t-QIV)	100	0,72	1	10	10	40000	0,2	–	0,01
ИГЭ-4б. Пески мелкие, средней плотности, влажные и водонасыщенные (а-QIII ¹)	100	0,42	–	10,4	13,6	118,3	0,2	1,7	0,58
ИГЭ-6б. Суглинки тугопластичные (g-QII ^D)	110	0,83	1	5,5	9,6	84,5	0,2	–	0,86
ИГЭ-10б. Пески мелкие, плотные, влажные и водонасыщенные (fg-QII ^{O-D})	110	0,4	–	10,3	17,9	120,7	0,2	5,1	0,57

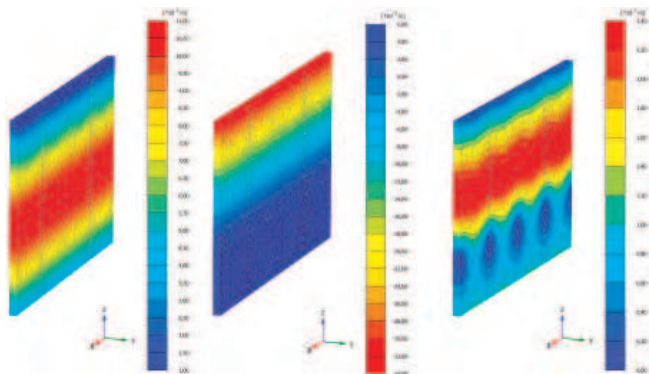


Рис. 4. Горизонтальные перемещения ограждения котлована с распорками

Fig. 4. Horizontal movements of the fence of a pit with struts

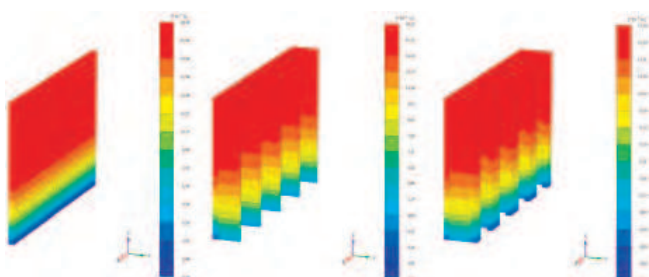


Рис. 5. Горизонтальные перемещения ограждения котлована с подкосами

Fig. 5. Horizontal movements of the fence of a pit with inclined struts

– ИГЭ-46. Пески мелкие, средней плотности, влажные и водонасыщенные (а-QIII1) ($E=25$ МПа; $\varphi=30^\circ$; $c=1$ кПа);

– ИГЭ-66. Суглинки тугопластичные ($E=22$ МПа; $\varphi=19^\circ$; $c=39$ кПа);

– ИГЭ-106. Пески мелкие, плотные, влажные и водонасыщенные (fg-QIIО-D) ($E=38$ МПа, $\varphi=35^\circ$; $c=5$ кПа).

Результаты

Таким образом, по результатам расчетов определены максимальные дополнительные осадки грунта за стенкой, размеры возникающей зоны интенсивных деформаций (осадки величиной до 5 мм) и горизонтальные перемещения стенки. Результаты расчетов котлованов с распорками и подкосами представлены в табл. 2 и 3.

По результатам расчетов трех схем котлована с распорками можно сделать следующие выводы.

Применение преднапряженных распорок снизило максимальные горизонтальные перемещения стенки примерно в 2,3 раза, однако максимальная осадка за стенкой возросла, а ширина зоны интенсивных деформаций увеличилась. По-видимому, данное противоречие вызвано высоким относительно дна котлована расположением распорок, преднапряжение которых вызвало дополнительный момент, и стенка повернулась относительно некоторой нейтральной точки, что можно увидеть по изополям перемещений.

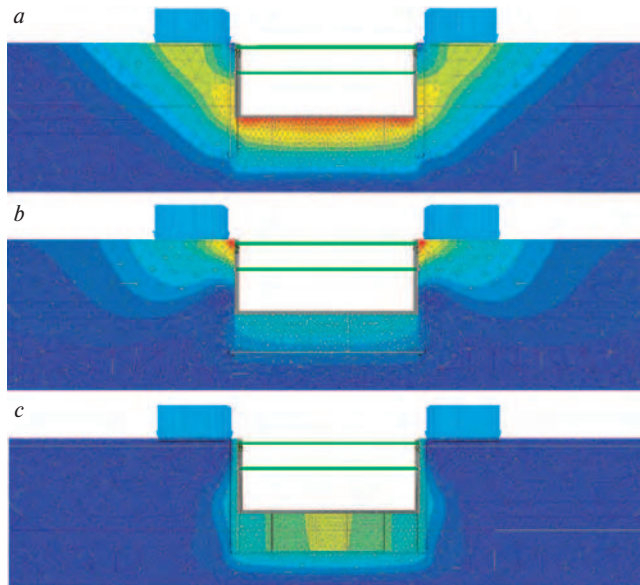


Рис. 6. Изополя общих перемещений: а – без мероприятий;

б – с преднапряженными распорками; в – с поперечными стенами

Fig. 6. Isofields of general displacements: a – without measures;

b – with prestressed struts; c – with transverse walls

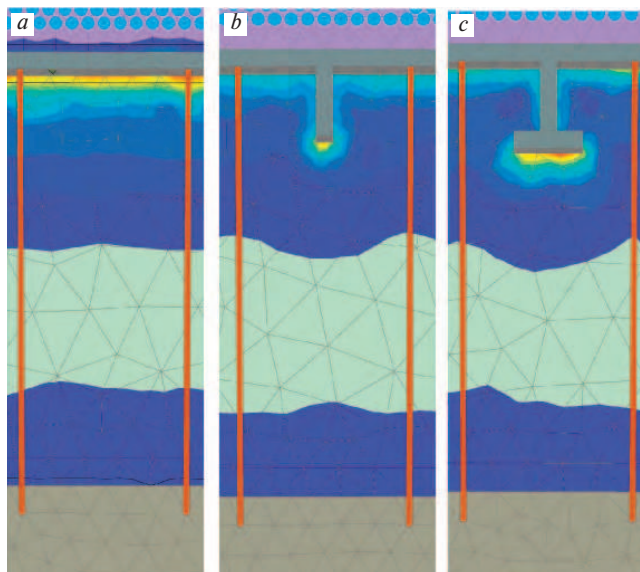


Рис. 7. Изополя сдвиговых деформаций для широкого котлована: а – без мероприятий; б – с плоским контрфорсом; в – с тавровым контрфорсом

Fig. 7. Isofields of shear deformations for a wide excavation: a – without measures; b – with a flat buttress; c – with a T-shaped buttress

Устройство котлована с временными поперечными стенками позволило снизить горизонтальные перемещения стены почти в 4,5 раза – до 2,4 мм, в результате чего дополнительные осадки поверхности практически отсутствуют.

По результатам расчетов трех схем котлована с подкосами и контрфорсами можно сделать следующие выводы.

Устройство стенки с плоскими контрфорсами снизило горизонтальные перемещения стенки в 1,5 раза, дополнительные осадки поверхности в 1,6 раза, зону интенсивных деформаций на 3,2 м.

Таблица 2
Table 2
Результаты расчетов котлована с распорками
Calculation results for a pit with struts

Расчетная схема	Максимальная осадка за стенкой, мм	Ширина зоны интенсивных деформаций (осадки до 5 мм), м	Горизонтальное перемещение стенки
Без мероприятий	-7,6	11,38	10,7
С преднапряженными распорками	-10,9	21,17	4,7
С поперечными стенами	-1,1	Отсутствует	2,4

Таблица 3
Table 3
Результаты расчетов котлована с подкосами
Calculation results for a pit with inclined struts

Расчетная схема	Максимальная осадка за стенкой, мм	Ширина зоны интенсивных деформаций (осадки до 5 мм), м	Горизонтальное перемещение стенки
Без мероприятий	-27,7	16,72	28,3
С плоскими контрфорсами	-16,6	13,56	18,3
С тавровыми контрфорсами	-15,4	12,71	17,3

Устройство стенки с тавровым контрфорсом, незначительно улучшило показатели относительно плоского.

Обсуждение

Результаты выполненных расчетов позволяют отметить эффективность рассматриваемых конструктивных мероприятий. Данные меры могут быть особо актуальны в следующих случаях:

- запрета собственниками окружающей застройки ведения работ на их территории и внутри их зданий;
- снижения осадок объектов культурного наследия, требующих дополнительных временных затрат на согласование с соответствующим департаментом в случае работ на территории объекта или непосредственно с его конструкциями;
- невозможности устройства защитных мероприятий вне контуров котлована по различным причинам (наличие инженерных коммуникаций, дорог под охраной ФСО и т. п.).

Список литературы

1. Далидовская А.А., Пастушкова В.Г. Защитные мероприятия при строительстве наземных сооружений над существующими подземными // *Наука и техника*. 2020. Т. 19. № 5. С. 377–383. DOI 10.21122/2227-1031-2020-19-5-377-383

Поэтому в ряде случаев применение рассмотренных мер может представляться единственно возможным для удовлетворения требованиям норм.

Следует отметить особую эффективность устройства поперечных стен. Результат применения мероприятия достигается созданием жестких «бетонных распорок» в области пассивного давления грунта еще до разработки грунта котлована, в связи с чем горизонтальные перемещения в котлован кратно уменьшаются и, следовательно, снижаются осадки поверхности земли. Локализация области деформаций отчетливо видна на рис. 6 с изополями общих перемещений.

Устройство же преднапряженных распорок требует оптимизации их положения по высоте котлована, однако также является эффективным способом снижения осадок (что было рассмотрено в рамках других схем, не относящихся к данной статье).

Устройство контрфорсов для широких котлованов с подкосами (являющимися крайне деформативными системами) при наличии вышеперечисленных ограничений и невозможности перехода к другому методу разработки котлована (top-down, разработка под горизонтальными распорками с промежуточными стойками, крепление грунтовыми анкерами и т. д.) также является одним из немногих мероприятий, способных снизить дополнительные деформации. Однако малый эффект от введения таврового контрфорса требует дополнительного анализа.

Также стоит отметить невозможность корректного учета данного мероприятия в плоской задаче и моделировании ограждения плитными элементами нулевой толщины в трехмерных моделях, неспособных адекватно отобразить взаимодействие с грунтом по торцам элементов (рис. 7).

Исследованием и оптимизацией применения контрфорсов [20] и поперечных стен [21, 22] занимаются коллеги из Тайваня и Индонезии Chang-Yu Ou, Aswin Lim и Pio-Go Hsieh. Авторами отмечается действенность данных мер и рассматривается их комбинирование.

Таким образом, рассмотренные в статье мероприятия эффективны и практически полезны, однако недостаточно изучены в отечественной науке. Учитывая явные плюсы, рассмотренные в статье, считаем необходимым продолжить исследования в данной области.

References

1. Dalidovskaya A.A., Pastushkov V.G. Protective measures in the construction of ground structures over existing underground ones. *Nauka i tekhnika*. 2020. Vol. 19. No. 5, pp. 377–383. (In Russian). DOI 10.21122/2227-1031-2020-19-5-377-383

2. Чунюк Д.Ю., Сельвиан С.М. Оценка геотехнических рисков при строительстве подземных сооружений открытым и закрытым способом // *Экономика строительства*. 2022. № 9. С. 114–121.
3. Соколов Н.С., Соколов А.Н., Соколов С.Н., Глушков В.Е., Глушков А.Е. Расчет буронагнеточных свай повышенной несущей способности // *Жилищное строительство*. 2017. № 11. С. 20–26.
4. Мангушев Р.А., Конюшков В.В., Кондратьева Л.Н., Кириллов В.М. Методика расчета технологической осадки основания фундаментов зданий соседней застройки при устройстве котлованов // *Жилищное строительство*. 2019. № 9. С. 3–11. DOI 10.31659/0044-4472-2019-9-3-10
5. Мангушев Р.А., Конюшков В.В., Сапин Д.А. Инженерно-геотехнические изыскания при строительстве и реконструкции в условиях плотной городской застройки // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 5. С. 47–54.
6. Шулятьев О.А., Минаков Д.К. Экспериментальные и численные исследования изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива при устройстве стены в грунте траншейного типа // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2018. № 2 (17). С. 118–135.
7. Чунюк Д. Ю., Сельвиан С.М. Определение вероятности возникновения сверхнормативных деформаций зданий в зоне влияния глубоких котлованов // *Экономика строительства*. 2022. № 1 (73). С. 54–61.
8. Конюшков В.В., Жусупбеков А.Ж., Лушников В.В., Попова А.В. Строительство многоуровневого подземного сооружения в современной городской застройке // *Вестник гражданских инженеров*. 2019. № 6 (77). С. 166–174. DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-6-166-174
9. Ильичев В.А., Никифорова Н.С., Коннов А.В. Защита окружающей застройки подведением фундаментной плиты с учетом технологической механики грунтов // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2019. № 3 (381). С. 224–228.
10. Никифорова Н.С., Коннов А.В., Нгуен В.Х., Простотина Л.А. Влияние устройства отсечных экранов, выполненных по струйной технологии, на осадку окружающей застройки // *Жилищное строительство*. 2019. № 7. С. 3–8. DOI 10.31659/0044-4472-2019-7-3-8
11. Ильичев В.А., Никифорова Н.С., Готман Ю.А., Трофимов Е.Ю. Анкеры с дополнительной цементацией как активный метод защиты зданий и коммуникаций в зоне влияния глубоких котлованов // *Жилищное строительство*. 2014. № 6. С. 35–38.
12. Шулятьев О.А., Мозгачева О.А., Мышинский В.Е. Опыт проектирования и строительства защитных
2. Chunyuk D.Yu., Selviyan S.M. Assessment of geotechnical risks in the construction of underground structures in an open and closed manner. *Ekonomika stroitel'stva*. 2022. No. 9, pp. 114–121. (In Russian).
3. Sokolov N.S., Sokolov A.N., Sokolov S.N., Glushkov V.E., Glushkov A.E. Calculation of flight augering piles of high bearing capacity. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 11, pp. 20–26. (In Russian).
4. Mangushev R.A., Konyushkov V.V., Kondratieva L.N., Kirillov V.M. Methodology for calculating the technological precipitation of the foundations of the foundations of buildings of neighboring buildings when constructing pits. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 9, pp. 3–11. (In Russian). DOI 10.31659/0044-4472-2019-9-3-10
5. Mangushev R. A., Konyushkov V.V., Sapin D.A. Geotechnical engineering surveys during construction and reconstruction in conditions of dense urban development. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. No. 5, pp. 47–54. (In Russian).
6. Shulyatyev O.A., Minakov D.K. Experimental and numerical studies of changes in the stress-strain state of a soil massif during the construction of a wall in a trench-type soil. *Vestnik NITs Stroitel'stvo*. 2018. No. 2 (17), pp. 118–135. (In Russian).
7. Chunyuk, D. Yu., Selviyan S. M. Determination of the probability of occurrence of excess deformations of buildings in the zone of influence of deep pits. *Ekonomika stroitel'stva*. 2022. No. 1 (73), pp. 54–61. (In Russian).
8. Konyushkov V.V., Zhusupbekov A. Zh., Lushnikov V.V., Popova A.V. Construction of a multi-level underground structure in modern urban development. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2019. No. 6 (77), pp. 166–174. (In Russian). DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-6-166-174
9. Ilyichev V.A., Nikiforova N.S., Konnov A.V. Protection of the surrounding development by summing up the foundation plate taking into account the technological mechanics of soils. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti*. 2019. No. 3 (381), pp. 224–228. (In Russian).
10. Nikiforova N.S., Konnov A.V., Nguyen V.H., Prostotina L.A. The influence of the device of shut-off screens made using jet technology on the sediment of the surrounding buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 7, pp. 3–8. (In Russian). DOI 10.31659/0044-4472-2019-7-3-8
11. Ilyichev V.A., Nikiforova N.S., Gotman Yu.A., Trofimov E.Yu. Anchors with additional cementation as an active method of protecting buildings and communications in the zone of influence of deep pits. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 6, pp. 35–38. (In Russian).

- мероприятий в виде геотехнического барьера по методу компенсационного нагнетания // *Фундаменты*. 2021. № 2 (4). С. 18–23.
13. Мозгачева О.А. Опыт проектирования и строительства защитных мероприятий в виде геотехнического барьера по методу компенсационного нагнетания // *Применение гидроразрывной технологии в практике строительства: Материалы конференции. Москва, 21 мая 2021 г. М.*: Научно-исследовательский центр «Строительство», 2022. С. 113–138. DOI 10.37538/2713-1149-2022-113-138
 14. Кивлюк В.П., Исаев И.О., Алексеев В.А., Шишкина В.В. Применение технологии компенсационного нагнетания для обеспечения сохранности окружающих зданий при сооружении станционных комплексов // *Геотехника*. 2021. Т. 13. № 1. С. 56–67. DOI 10.25296/2221-5514-2021-13-1-56-66
 15. Ильичев В.А., Никифорова Н.С., Готман Ю.А. Анализ применения активных и пассивных методов защиты существующей застройки при подземном строительстве // *Жилищное строительство*. 2013. № 6. С. 25–27.
 16. Ильичев В.А., Никифорова Н.С., Готман Ю.А., Трофимов Е.Ю. Эффективность применения активных и пассивных методов защиты окружающей застройки в зоне влияния подземного строительства // *Жилищное строительство*. 2015. № 6. С. 11–15.
 17. Мангушев Р.А., Осокин А.И., Калач Ф.Н. Обеспечение сохранности зданий исторической застройки при освоении подземного пространства в городской среде // *Проектирование, строительство и эксплуатация подземных сооружений транспортного назначения: Сб. статей*. М.: Перо, 2021. С. 184–194.
 18. Clough Wayne, O'Rourke Thomas. Construction induced movements of in situ wall // *Geotechnical Special Publication*. 1990. Pp. 439–470.
 19. Hsieh Pio-Go, Ou Chang-Yu. Shape of ground surface settlement profiles caused by excavation // *Canadian Geotechnical Journal*. 2011. 35. Pp. 1004–1017. 10.1139/t98-056.
 20. Lim Aswin, Ou Chang-Yu, Hsieh Pio-Go. Investigation of the integrated retaining system to limit deformations induced by deep excavation // *Acta Geotechnica*. 2018. 13. 10.1007/s11440-017-0613-6
 21. Lim Aswin, Ou Chang-Yu, Hsieh Pio-Go. A novel strut-free retaining wall system for deep excavation in soft clay: numerical study // *Acta Geotechnica*. 2020. 15. 10.1007/s11440-019-00851-5
 22. Lim Aswin, Ou Chang-Yu, Hsieh Pio-Go. An innovative earth retaining supported system for deep excavation // *Computers and Geotechnics*. 2019. 114. 103135. 10.1016/j.compgeo.2019.103135
 12. Shulyatyev O.A. Mozgacheva O.A., Myshinsky V.E. The experience of designing and constructing protective measures in the form of a geotechnical barrier by the method of compensatory injection. *Fundamenty*. 2021. No. 2 (4), pp. 18–23. (In Russian).
 13. Mozgacheva O.A. Experience in designing and constructing protective measures in the form of a geotechnical barrier using the method of compensatory injection. *Primenenie gidrorazryvnoi tekhnologii v praktike stroitel'stva: Conference materials. Moscow, May 21, 2021*. Moscow: Scientific Research Center "Construction". 2022, pp. 113–138. DOI 10.37538/2713-1149-2022-113-138
 14. Kivlyuk V.P., Isaev I.O., Alekseev V.A., Shishkina V.V. Application of compensatory injection technology to ensure the safety of surrounding buildings during the construction of station complexes. *Geotekhnika*. 2021. Vol. 13. No. 1, pp. 56–67. (In Russian). DOI 10.25296/2221-5514-2021-13-1-56-66.
 15. Ilyichev V.A., Nikiforova N.S., Gotman Yu.A. Analysis of the use of active and passive methods of protection of existing buildings in underground construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 6, pp. 25–27. (In Russian).
 16. Ilyichev V.A., Nikiforova N.S., Gotman Yu.A., Trofimov E.Yu. The effectiveness of the use of active and passive methods of environmental protection in the zone of influence of underground construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 6, pp. 11–15. (In Russian).
 17. Mangushev R.A., Osokin A.I., Kalach F.N. Ensuring the safety of historical buildings during the development of underground space in the urban environment. Moscow: Pero. 2021, pp. 184–194.
 18. Clough Wayne, O'Rourke Thomas. Construction induced movements of in situ wall. Geotechnical Special Publication. 1990, pp. 439–470. (In Russian).
 19. Hsieh Pio-Go, Ou Chang-Yu. Shape of ground surface settlement profiles caused by excavation. *Canadian Geotechnical Journal*. 2011. 35, pp. 1004–1017. 10.1139/t98-056
 20. Lim Aswin, Ou Chang-Yu, Hsieh Pio-Go. Investigation of the integrated retaining system to limit deformations induced by deep excavation. *Acta Geotechnica*. 2018. 13. 10.1007/s11440-017-0613-6
 21. Lim Aswin, Ou Chang-Yu, Hsieh Pio-Go. A novel strut-free retaining wall system for deep excavation in soft clay: numerical study. *Acta Geotechnica*. 2020. 15. 10.1007/s11440-019-00851-5
 22. Lim Aswin, Ou Chang-Yu, Hsieh Pio-Go. An innovative earth retaining supported system for deep excavation. *Computers and Geotechnics*. 2019. 114. 103135. 10.1016/j.compgeo.2019.103135

УДК 624.15

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-42-45>

Н.С. СОКОЛОВ^{1,2}, канд. техн. наук, директор (ns_sokolov@mail.ru);
С.Н. СОКОЛОВ², директор ООО «Строитель Форст»,
А.Н. СОКОЛОВ², директор по строительству (forstnpf@mail.ru)

¹ Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова
(428015, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский пр., 15)

² ООО НПФ «ФОРСТ» (428000, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. Калинина, 109а)

Отрицательный опыт геотехнических расчетов и устройства удерживающих заглубленных конструкций

Проблема повышения несущей способности оснований всегда является актуальной проблемой в современном геотехническом строительстве. Она приобретает особую важность при строительстве на оползнеопасных склонах. При этом как проектировщики, так и заказчики допускают непоправимые ошибки при разработке проектной документации удерживающих заглубленных конструкций при возведении объектов на таких участках. Все допускаемые огрехи в основном связаны с отсутствием должного контроля техническим заказчиком над производством предпроектных работ, в том числе инженерно-геологических изысканий. В настоящей статье описывается отрицательный случай из геотехнической практики проектирования и строительства жилого комплекса на оползневом склоне. Статья является обзорной.

Ключевые слова: удерживающие заглубленные конструкции, геотехническое строительство, электроразрядная технология (ЭРТ), буроинъекционная свая ЭРТ, неустойчивые склоны, грунтовые анкера ЭРТ.

Для цитирования: Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Отрицательный опыт геотехнических расчетов и устройства удерживающих заглубленных конструкций // *Жилищное строительство*. 2023. № 4. С. 42–45.
DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-42-45>

N.S. SOKOLOV^{1,2}, Candidate of Sciences (Engineering), Director (ns_sokolov@mail.ru);

S.N. SOKOLOV², Director, LLC “Stroitel Forst”;

A.N. SOKOLOV², Director for construction (forstnpf@mail.ru)

¹ Chuvash State University named after I.N. Ulyanov (15, Moskovsky prospect, Cheboksary, 428015, Chuvash Republic, Russian Federation)

² LLC NPF “FORST” (109a, Kalinina Street, Cheboksary, 428000, Chuvash Republic, Russian Federation)

Negative Experience of Geotechnical Calculations and Installation of Retaining Buried Structures

The problem of increasing the bearing capacity of foundations is always an urgent problem in modern geotechnical construction. It becomes especially important when building on landslide-prone slopes. At the same time, both designers and customers make irreparable mistakes when developing design documentation for retaining buried structures during the construction of objects on such sites. All admitted flaws are mainly related to the lack of proper control by the technical customer for the production of pre-design work, including engineering and geological surveys. This article describes a negative case from the geotechnical practice of designing and building a residential complex on a landslide slope. The article is a review.

Keywords: retaining buried structures, geotechnical construction, electric discharge technology (EDT), EDT bored pile, unstable slopes, EDT ground anchors.

For citation: Sokolov N.S., Sokolov S.N., Sokolov A.N. Negative experience of geotechnical calculations and installation of retaining buried structures. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 5, pp. 42–45. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-42-45>

Строительство объектов на неустойчивых склонах [1–3] представляет собой сложную инженерную и геотехническую задачу, связанную с обеспечением устойчивости всего склона, безаварийной эксплуатации объектов существующей застройки, а также зданий и сооружений нового строительства [4–8]. Необходимо отметить, что основополагающим нормативным документом в геотехническом строительстве

является свод правил СП 22.13330.2016 «Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83* «Основания зданий и сооружений». Согласно этому документу должны быть удовлетворены все позиции, утверждающие необходимость обеспечения безопасной эксплуатации объектов существующей застройки и вновь возводимых зданий и сооружений. В случае капитального строительства на склонах свод пра-

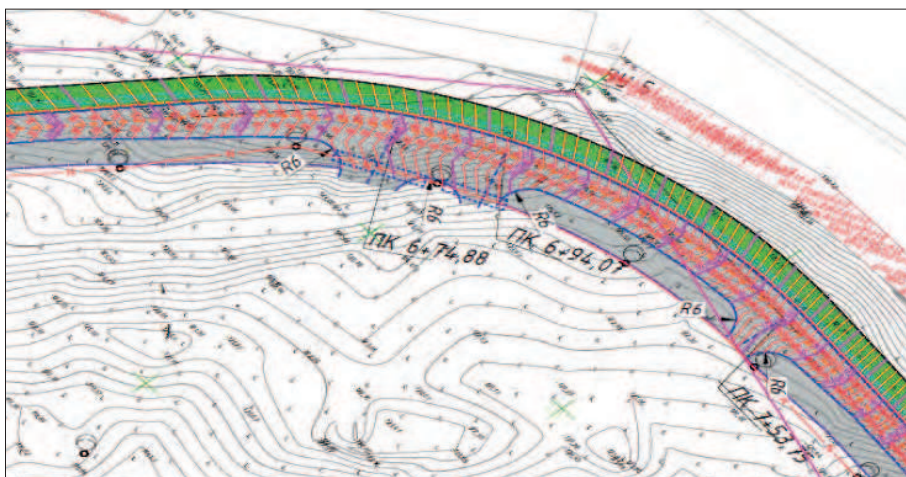


Рис. 1. Фрагмент вертикальной планировки автомобильной дороги по верхней улице
Fig. 1. Fragment of the vertical layout of the highway along the upper street

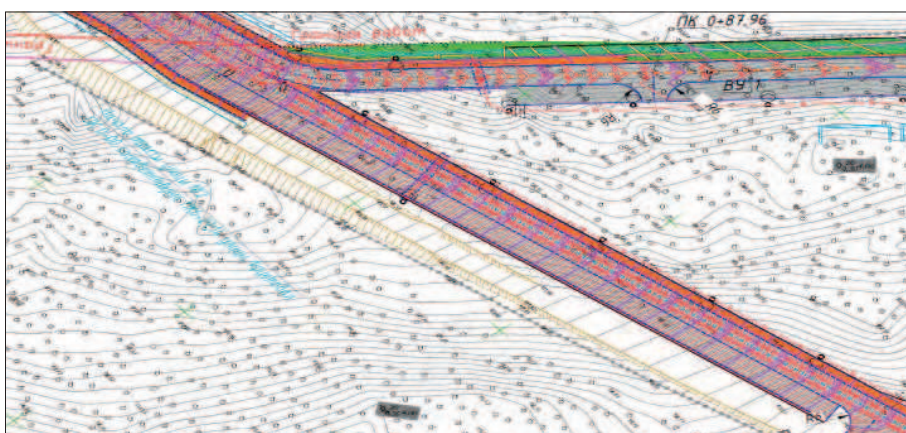


Рис. 2. Фрагмент вертикальной планировки автомобильной дороги стыка верхней и нижней улиц в районе плато
Fig. 2. Fragment of the vertical layout of the highway at the junction of the upper and lower streets in the plateau region

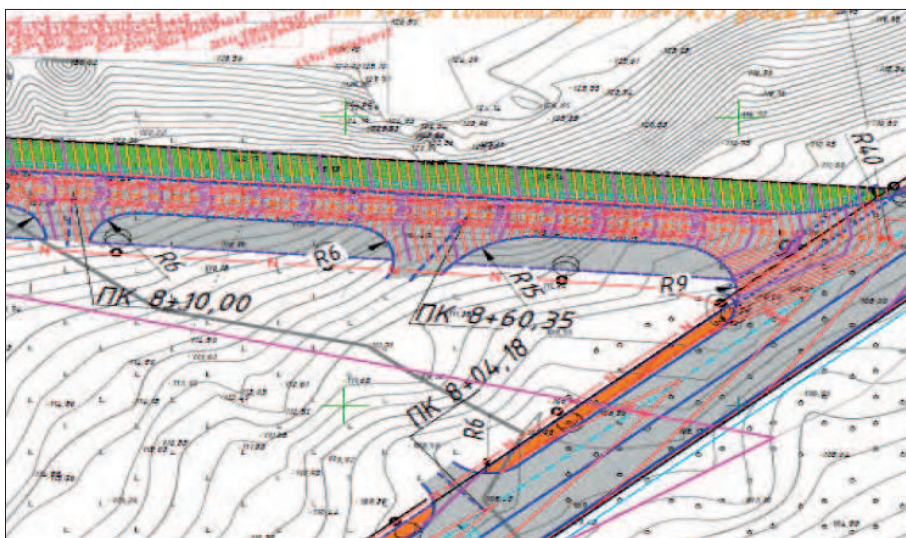


Рис. 3. Фрагмент вертикальной планировки стыка автомобильной дороги верхней и нижней улиц в районе поймы
Fig. 3. Fragment of the vertical layout of the junction of the highway of the upper and lower streets in the floodplain area

вил СП 22.13330.2016 дополнительно требует обеспечить устойчивость склона со всеми существующими и дополнительно приложенными на нем внешними нагрузками [9–13].

В статье рассматривается случай из геотехнической практики проектирования и строительства заглубленных удерживающих конструкций при возведении жилого массива на оползневом склоне.

В разработанном рабочем проекте устройства заглубленных удерживающих строительных конструкций не указаны позиции, гарантирующие обеспечение нормативной работы вновь возводимых объектов и существующей застройки, а также самого склона, вследствие отсутствия следующих обязательных позиций:

1. Геотехнические расчеты устойчивости склонов по заранее разработанным ГИПом и утверждаемым техническим заказчиком инженерно-геологическим разрезам начиная от плато до поймы.

1.1. Вследствие отсутствия в техническом задании на изыскания на проектных инженерно-геологических разрезах отсутствуют буровые скважины и нет сведений об инженерно-геологических напластованиях на всей территории застраиваемого склона.

1.2. Инженерно-геологические разрезы имеются только вдоль дорог (верхней и нижней улиц).

2. Геотехнические расчеты, проведенные проектным институтом, относятся к локальным и не учитывают всего многообразия факторов, гарантирующих надежность эксплуатации как склона, так и объектов существующей застройки, а также нового строительства.

На основании вышесказанного напрашивается закономерный вывод о более ответственном подходе проектной организации к такой геотехнической проблеме: необходимо тщательно переработать проектную документацию на удерживающие заглубленные строительные конструкции с учетом вышеприведенных замечаний. Ниже вкратце приведены конструктивные решения разработанных конструкций подпорных стен.

В базовом рабочем проекте устройства удерживающих конструкций для обеспечения целостности земляного полотна и целостности проектируемой автомобильной дороги предусмотрено устройство подпорных стен. Протяженность подпорных стен составляет: на верхней улице (ВУ) Уч1-29 – 914,2 м; на нижней улице (НУ) Уч1-17 – 749,4 м; в зоне отдыха (ЗО) Уч1-9 – 300,2 м. Все подпорные стены расположены в плане на кривых различных радиусов (рис. 1). Максимальная высота подпорных стен от отметок автомобильной дороги составляет 11 м. Железобетонные подпорные стены верхней улицы устраиваются из буронабивных свай из бетона В30 F200 W6, диаметром $\varnothing 800$ –1000 мм, объединенных монолитным железобетонным ростверком размерами $0,5 \times 1,2 \times 6,6$ м из бетона В30 F300 W8. Подпорные стены на участках 5–7, 9–11, 13–26 устраиваются в обсадных трубах диаметром $\varnothing 1020$ мм с толщиной стены $t=14$ мм (обсадные трубы не извлекаются!); между всеми буронабивными сваями на данных участках устраиваются грунтовые анкера свай с тягой из трубчатых винтовых штанг «Титан» либо аналогов. Со стороны дороги между всеми буровыми столбами устраивается вертикальный дренаж. В буровых столбах бурятся отверстия и вклеиваются арматурные анкера. Монтируются плоские арматурные сетки и устраиваются деформационные швы и дренажные устройства. Стены облицовываются железобетонной панелью толщиной $t=200$ мм (В30).

Железобетонные подпорные стены нижней улицы и зоны отдыха устраиваются из буронабивных свай из бетона В30 F200 W6, диаметром $\varnothing 800$ –1000 мм, объединенных монолитным ростверком размерами $0,5 \times 1,2 \times 6,6$ м из бетона В30 F300 W8 (рис. 2, 3). Обратная засыпка подпорных стен на всей протяженности выполняется грунтом с углом внутреннего трения φ не менее 35° с послойным уплотнением до $K_{упл}=0,98$. Со стороны дороги между всеми буровыми столбами устраивается вертикальный дренаж. В буровых столбах бурятся отверстия и вклеиваются арматурные анкера. Монтируются арматурные сетки и устраиваются деформационные швы и дренажные устройства. Стены облицовываются железобетонной панелью толщиной $t=200$ мм (В30). Отвод фильтрационной (дренажной) воды из-за конструкции подпорных стен осуществляется через дренажные трубки диаметром $\varnothing 80$ мм, находящиеся в щебеночной призме, обернутой геотекстильным материалом российского производства плотностью 500 г/м^2 . Для защиты лицевой стороны поверхности подпорной стены от подтеков ливневой воды следует предусматривать устройство козырька со «слезником».

Необходимо отметить, что разработанный проект заглубленных удерживающих конструкций оказался технически нецелесообразным и, самое главное, экономически неэффективным. В связи с этим заказчик вынужден был рассматривать альтернативный вариант. Предложение, выдвинутое авторами статьи, по проектированию и устройству, по технико-экономическим показателям заказчиком было одобрено. При этом использование буронабивных свай, устраиваемых по электроразрядным технологиям (буронабивные сваи ЭРТ), в качестве альтернативы таким конструкциям дало возможность существенно сэкономить расходы.

Список литературы

1. Никонорова И.В., Соколов Н.С. Строительство и территориальное освоение оползнеопасных склонов Чебоксарского водохранилища // *Жилищное строительство*. 2017. № 9. С. 13–19.
2. Ильичев В.А., Мангушев Р.А., Никифорова Н.С. Опыт освоения подземного пространства российских мегаполисов // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2012. № 2. С. 17–20.
3. Ilichev V.A., Kononov P.A., Nikiforova N.S., Bulgakov L.A. Deformations of the Retaining Structures Upon Deep Excavations in Moscow. *Proc. Of Fifth Int. Conf on Case Histories in Geotechnical Engineering*. April 3–17. New York. 2004, pp. 5–24.

References

1. Nikonorova I.V., Sokolov N.S. Construction and territorial development of landslide slopes of the Cheboksary water reservoir. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 9, pp. 13–19. (In Russian).
2. Ilichev V.A., Mangushev R.A., Nikiforova N.S. Experience of development of russian megacities underground space. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 2012. No. 2, pp. 17–20. (In Russian).
3. Ilichev V.A., Kononov P.A., Nikiforova N.S., Bulgakov L.A. Deformations of the Retaining Structures Upon Deep Excavations in Moscow. *Proc. Of Fifth Int. Conf on Case Histories in Geotechnical Engineering*. April 3–17. New York. 2004, pp. 5–24.

4. Sokolov N., Ezhov S., Ezhova S. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem. *Journal of applied engineering science*. 2017. Vol. 15. No. 4, pp. 518–523.
5. Nikiforova N.S., Vnukov D.A. Geotechnical cut-off diaphragms for built-up area protection in urban underground development. The pros, of the 7th Int. Symp. «Geotechnical aspects of underground construction in soft ground», 16–18 May, 2011. tc28 IS Roma, AGI, 2011, № 157NIK.
6. Nikiforova N.S., Vnukov D.A. The use of cut off of different types as a protection measure for existing buildings at the nearby underground pipelines installation. Proc. of Int. Geotech. Conf. dedicated to the Year of Russia in Kazakhstan. Almaty, Kazakhstan, 23–25 September 2004, pp. 338–342.
7. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. СПб.: Геореконструкция, 2010. 551 с.
8. Sokolov N.S. Ground Ancher Produced by Elektrik Discharge Technology, as Reinforced Concrete Structure. *Key Enginiring Materials*. 2018. June. 771:75-81. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.771.75
9. Sokolov N.S. Use of the Piles of Effective Type in Geotechnical Construction. *Key Enginiring Materials*. 2018. June. 771:70-74. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.771.70
10. Sokolov N.S. Technological Methods of Installation of Bored-Injection Piles with Multiple Enlargements. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 10, pp. 54–57. (In Russian).
11. Sokolov N.S., Viktorova S.S. Method of aligning the lurches of objects with large-sized foundations and increased loads on them. *Penodico Tche Quimica*. 2018. January. Vol. 15, pp. 1–11.
12. Ilichev V.A., Nikiforova N.S., Koreneva E.B. Computing the evaluation of deformations of the buildings located near deep foundation tranches. *Proc. of the XVlth European conf. on soil mechanics and geotechnical engineering*. Madrid. Spain. 24–27th September 2007. Vol. 2, pp. 581–585.
13. Соколов Н.С. Один из случаев усиления основания деформированной противооползневой подпорной стены // *Жилищное строительство*. 2021. № 12. С. 23–27. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-12-23-27>
14. Соколов Н.С. Технология усиления основания фундаментов в стесненных условиях при надстройке четырех дополнительных этажей // *Строительные материалы*. 2018. № 7. С. 31–36. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-761-7-31-36
4. Sokolov N., Ezhov S., Ezhova S. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem. *Journal of applied engineering science*. 2017. Vol. 15. No. 4, pp. 518–523.
5. Nikiforova N.S., Vnukov D.A. Geotechnical cut-off diaphragms for built-up area protection in urban underground development. The pros, of the 7th Int. Symp. «Geotechnical aspects of underground construction in soft ground», 16–18 May, 2011. tc28 IS Roma, AGI, 2011, № 157NIK.
6. Nikiforova N.S., Vnukov D.A. The use of cut off of different types as a protection measure for existing buildings at the nearby underground pipelines installation. Proc. of Int. Geotech. Conf. dedicated to the Year of Russia in Kazakhstan. Almaty, Kazakhstan, 23–25 September 2004, pp. 338–342.
7. Ulickij V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Geotekhnicheskoe soprovozhdenie razvitiya gorodov [Geotechnical Support of Urban Development]. Saint Petersburg: Georeconstruction, 2010. 551 p.
8. Sokolov N.S. Ground Ancher Produced by Elektrik Discharge Technology, as Reinforced Concrete Structure. *Key Enginiring Materials*. 2018. June. 771:75-81. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.771.75
9. Sokolov N.S. Use of the Piles of Effective Type in Geotechnical Construction. *Key Enginiring Materials*. 2018. June. 771:70-74. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.771.70
10. Соколов Н.С. Технологические приемы устройства буроинъекционных свай с многоместными уширениями // *Жилищное строительство*. 2016. № 10. С. 54–57.
11. Sokolov N.S., Viktorova S.S. Method of aligning the lurches of objects with large-sized foundations and increased loads on them. *Penodico Tche Quimica*. 2018. January. Vol. 15, pp. 1–11.
12. Ilichev V.A., Nikiforova N.S., Koreneva E.B. Computing the evaluation of deformations of the buildings located near deep foundation tranches. *Proc. of the XVlth European conf. on soil mechanics and geotechnical engineering*. Madrid. Spain. 24–27th September 2007. Vol. 2, pp. 581–585.
13. Sokolov N.S. One of the cases of strengthening the base of a deformed landslide protection retaining wall. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 12, pp. 23–27. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-12-23-27>
14. Sokolov N.S. Technology of strengthening of foundation bases under cramped conditions when overbuilding four additional stories. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 7, pp. 31–36. (In Russian). DOI: 10.31659/0585-430X-2018-761-7-31-36

УДК 666.98

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-46-53>

А.Д. ДЕНИСОВА, аспирант (denisova.frp@mail.ru),
А.С. ШЕХОВЦОВ, канд. техн. наук, доцент (a.shekhovtsov@gip.su),
Е.Д. КУЖМАН, магистрант (kuzhman2@gmail.com)

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
(190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4)

Влияние температуры на работу композиционного материала, применяемого при усилении железобетонных конструкций, при растяжении

Приведены результаты испытаний композиционного материала – углеродного ФАП (фиброармированный полимер) ламината, применяемого при усилении железобетонных конструкций, на растяжение при температуре от -75 до $+60^{\circ}\text{C}$. Представлены диаграммы деформирования, а также зависимость сопротивления ФАП ламината растяжению, соответствующего значения предельных относительных деформаций, модуля упругости вдоль волокон от изменения температуры ФАП при испытании. Установлено, что при температуре $+60^{\circ}\text{C}$ диаграмма деформирования меняет свой характер. Настоящая работа является частью экспериментального исследования механических свойств углеродного ФАП ламината, проводимого на базе СПбГАСУ. Полученные результаты могут быть использованы при разработке методик расчета усиленной железобетонной конструкции системами внешнего армирования на огнестойкость, а также при подборе огнезащиты.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, усиление, внешнее армирование, испытание, композиционный материал, система внешнего армирования, фиброармированный полимер, влияние температуры.

Для цитирования: Денисова А.Д., Шеховцов А.С., Кужман Е.Д. Влияние температуры на работу композиционного материала, применяемого при усилении железобетонных конструкций, при растяжении // *Жилищное строительство*. 2023. № 5. С. 46–53. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-46-53>

A.D. DENISOVA, Postgraduate Student (Engineering) (denisova.frp@mail.ru),
A.S. SHEKHOVTSOV, Candidate of Sciences (Engineering) (a.shekhovtsov@gip.su),
E.D. KUZHMAN, Master's Student (kuzhman2@gmail.com)
Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
(4, 2nd Krasnoarmeyskaya Street, Saint Petersburg 190005, Russian Federation)

Influence of Temperature on Tensile Behavior of Composite Material Used in Strengthening Reinforced Concrete Structures

The paper covers the results of the composite material of externally-bonded reinforcement system (FRP laminate) at temperatures from -75 to $+60$ degrees. Strain-load diagrams are given. The stress strain diagrams are presented, as well as the influence of the temperature of FRP during testing on its tensile strength, the corresponding value of the limit strains, the modulus of elasticity along the fibers. It was found that at the temperature of $+60$ degrees, the stress strain diagram changes. This work is a part of an experimental study of the mechanical properties of carbon FRP laminate, carried out in SPbGASU. The results obtained can be used in the development of methods for calculating a reinforced concrete structure with externally-bonded reinforcement systems for fire resistance, as well as in the selection of fire protection.

Keywords: reinforced concrete structures, strengthening, externally bonded reinforcement, tensile test, composite material, externally bonded reinforcement system, fiber reinforced polymer, tensile test, temperature effect.

For citation: Denisova A.D., Shekhovtsov A.S., Kuzhman E.D. Influence of Temperature on tensile behavior of composite material used in strengthening reinforced concrete structures. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 5, pp. 46–53. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-46-53>

При проектировании объектов нового строительства или при усилении эксплуатируемых зданий и сооружений необходимо учитывать факторы, изменяющие физико-механические свойства материалов. Одним из таких факторов является температура, влияние которой должно устанавливаться теоретиче-

ски и экспериментально и при необходимости учитываться в расчетах.

Системы внешнего армирования (СВА) из композиционных материалов находят все большее практическое применение при усилении железобетонных конструкций. Это связано с рядом преимуществ

метода в сравнении с традиционными материалами (бетоном, сталью и железобетоном): высокие показатели прочности и жесткости при малом весе, коррозионная стойкость, простота работ по установке СВА, в том числе возможность усиления конструкции без остановки ее эксплуатации. Основным недостатком является низкая огнестойкость композиционного материала и адгезива, входящих в состав СВА [1–5], обусловленная тем, что температура размягчения и/или стеклования их полимерных матриц, находящаяся в диапазоне 50–80°C, значительно ниже температуры при огневом воздействии [6–11].

Таким образом, предел огнестойкости железобетонной конструкции, усиленной СВА, наступит при нагреве ее до температуры стеклования полимерной матрицы.

Согласно СП 164.1325800 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования»:

1) усиленная конструкция без защитных слоев из огнеупорных составов не может эксплуатироваться при температуре, превышающей температуру стеклования;

2) СВА учитывается при расчетах огнестойкости только при наличии противопожарной защиты конструкции.

Эти требования фактически делают обязательным устройство огнезащиты для СВА, из чего следует, что расчет огнестойкости усиленной конструкции сводится к подбору таких параметров огнезащиты, при которых будет обеспечен требуемый предел огнестойкости.

Также следует отметить, что на область применения СП 164.1325800 с точки зрения работы усиленной конструкции при систематическом воздействии температуры распространяются ограничения СП 63.13330 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». Настоящим сводом правил допускается проектирование железобетонных конструкций, эксплуатируемых в температурном диапазоне от -70 до 50°C.

Малое количество исследований механической работы материалов СВА при изменении температуры при необходимости повышения надежности принимаемых решений по усилению железобетонных конструкций делает задачу экспериментальных исследований актуальной.

Испытания, результаты которых приводятся в настоящей работе, являются частью комплексного экспериментального исследования свойств материалов системы внешнего армирования (ФАП ламината и адгезива), проводимых на базе Испытательного центра СПбГАСУ.

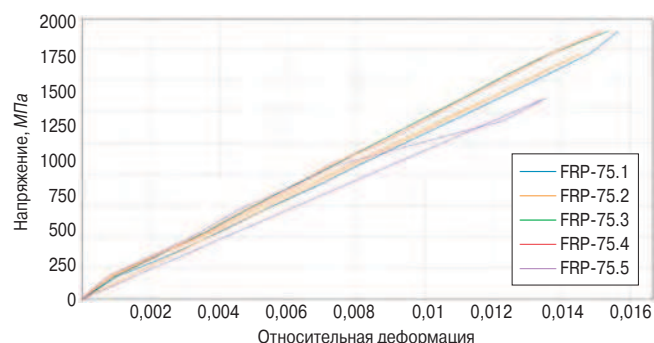


Рис. 1. Диаграмма деформирования ФАП ламината при растяжении для образцов серии FRP-75 при температуре -75°

Fig. 1. The stress-strain curve of FRP laminates for specimens FRP-75 at temperature -75 degrees

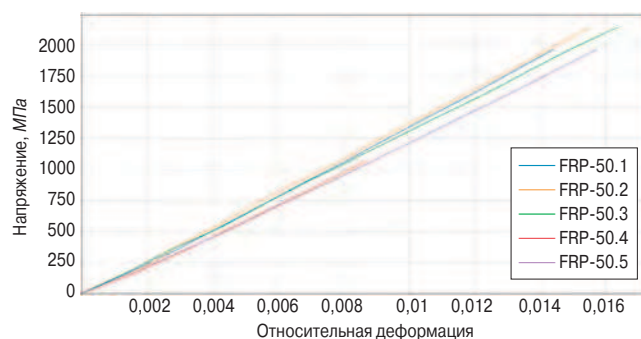


Рис. 2. Диаграмма деформирования ФАП ламината при растяжении для образцов серии FRP-50 при температуре -50°

Fig. 2. The stress-strain curve of FRP laminates for specimens FRP-50 at temperature -50 degrees

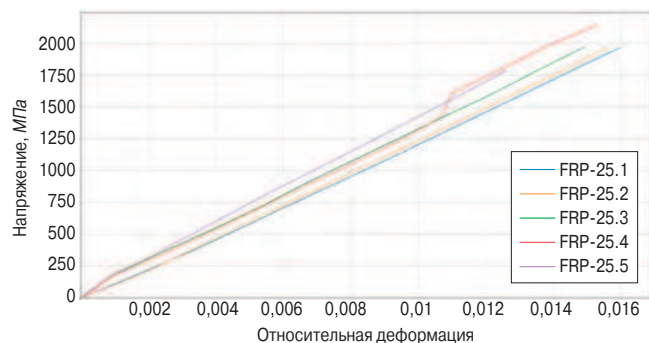


Рис. 3. Диаграмма деформирования ФАП ламината при растяжении для образцов серии FRP-25 при температуре -25°

Fig. 3. The stress-strain curve of FRP laminates for specimens FRP-25 at temperature -25 degrees

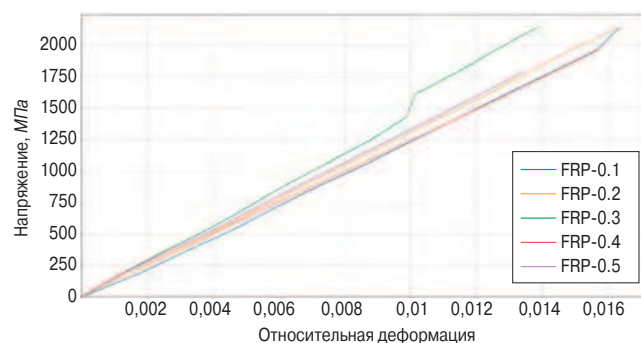


Рис. 4. Диаграмма деформирования ФАП ламината при растяжении для образцов серии FRP-0 при температуре 0°

Fig. 4. The stress-strain curve of FRP laminates for specimens FRP-0 at temperature 0 degrees

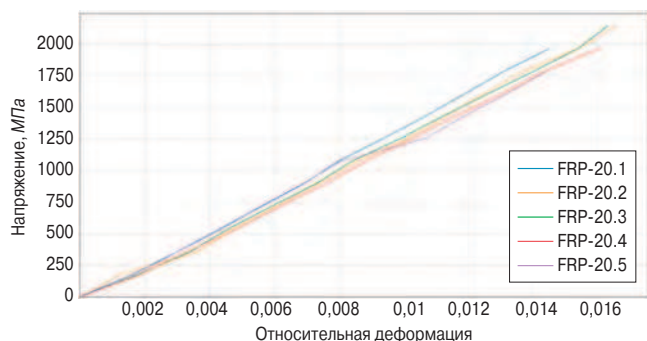


Рис. 5. Диаграмма деформирования ФАП ламината при растяжении для образцов серии FRP-20 при температуре +20°

Fig. 5. The stress-strain curve of FRP laminates for specimens FRP-20 at temperature +20 degrees

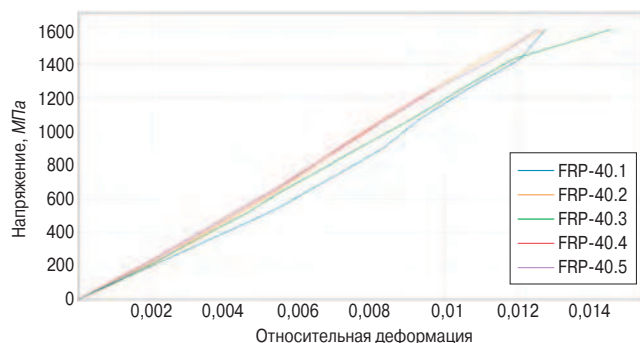


Рис. 6. Диаграмма деформирования ФАП ламината при растяжении для образцов серии FRP-40 при температуре +40°

Fig. 6. The stress-strain curve of FRP laminates for specimens FRP-40 at temperature +40 degrees

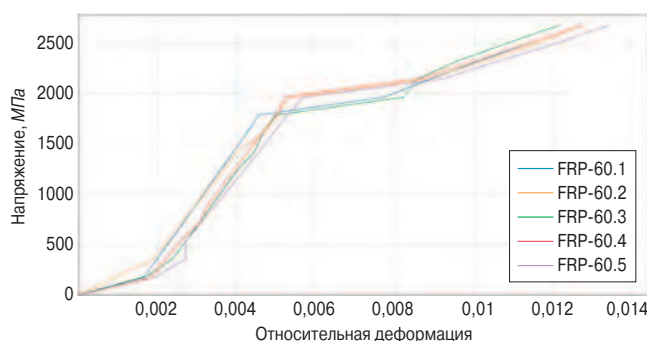


Рис. 7. Диаграмма деформирования ФАП ламината при растяжении для образцов серии FRP-60 при температуре +60°

Fig. 7. The stress-strain curve of FRP laminates for specimens FRP-60 at temperature +60 degrees

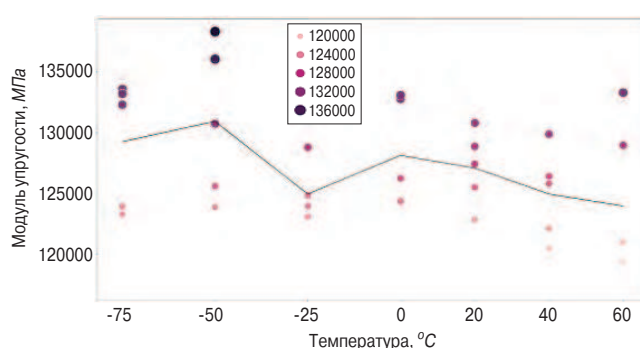


Рис. 8. Распределение значений модуля упругости ФАП ламината при изменении температуры

Fig. 8. The FRP laminate modulus elasticity distribution at changing temperature

Ранее были проведены механические испытания ФАП ламината на растяжение в нормальных условиях, в результате которых:

- определены основные механические характеристики для образцов различной ширины (сопротивление ФАП ламината растяжению, соответствующая ему относительная деформация, модуль упругости вдоль волокон, коэффициент Пуассона);

- получены диаграммы деформирования; диаграммы растяжения;

- зафиксирован «эффект ширины» и описано его влияние на работу ФАП ламината при растяжении [12, 13].

Программа испытаний

Проводится семь серий испытаний ФАП ламината на растяжение вдоль волокон при температуре в диапазоне от -75 до +60°C при кратковременном действии нагрузки до разрушения, согласно методике ГОСТ 25.601–80 «Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания плоских образцов на растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температуре».

Цель испытаний – исследование изменения механической работы ФАП ламината на растяжение при

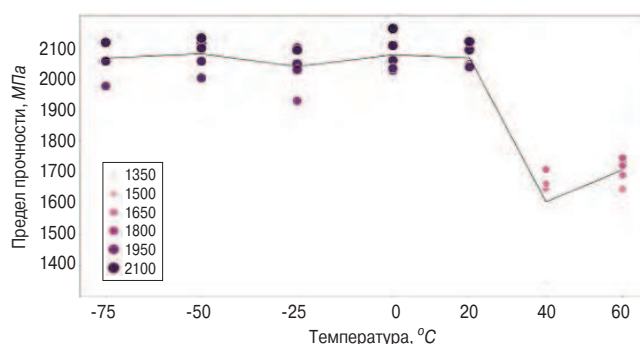


Рис. 9. Распределение значений сопротивления ФАП ламината растяжению при изменении температуры

Fig. 9. The FRP laminate tensile strength distribution at changing temperature

температурных воздействий в диапазоне от -75 до +60°C в лабораторных условиях.

Решаются следующие задачи: 1) определить основные механические характеристики ФАП ламината (модуль упругости вдоль волокон, сопротивление растяжению и соответствующая ему относительная деформация); 2) получить диаграммы деформирования; 3) оценить изменение модуля упругости, сопротивления ФАП растяжению и характера диаграммы деформирования при изменении температуры от -75 до +60°C.

Таблица 1
Table 1

Результаты механических испытаний образцов серии FRP-75 при температуре -75°C
The mechanical test results for specimens FRP-75 at temperature -75 degrees

№	Марка образца	b_f , мм	t_f , мм	$R_{f,ult}^{теор}$, МПа	$R_{f,ult}^{эксп}$, МПа	$(1 - \frac{R_{f,ult}^{эксп}}{R_{f,ult}^{теор}})$, %	$F_{f,ult}^{теор}$, Т	$F_{f,ult}^{эксп}$, Т	$(1 - \frac{F_{f,ult}^{эксп}}{F_{f,ult}^{теор}})$, %	$E_{f,ult}^{теор}$, МПа	$E_{f,ult}^{эксп}$, МПа	$(1 - \frac{E_{f,ult}^{эксп}}{E_{f,ult}^{теор}})$, %	$\epsilon_{f,ult}^{теор}$	$\epsilon_{f,ult}^{эксп}$	$(1 - \frac{\epsilon_{f,ult}^{эксп}}{\epsilon_{f,ult}^{теор}})$, %	
1	FRP-75.1	19,92	1,4		2116,14	-2,28	5,77	5,9	-2,29		123277,34	-15,84		1,717	-18,38	
2	FRP-75.2	20,06	1,4		2115,04	-2,23	5,81	5,94	-2,22		123908,23	-15,25		1,707	-17,72	
3	FRP-75.3	20,9	1,4	2069	2053,86	0,73	6,05	6,01	0,73	142800	133509,31	-6,96	1,45	1,538	-6,09	
4	FRP-75.4	20,88	1,4		2113,86	-2,17	6,05	6,18	-2,16		132248,76	-7,98		1,598	-10,23	
5	FRP-75.5	20,06	1,4		1974,68	4,56	5,81	5,82	-0,16		133151,33	-7,25		1,483	-2,28	
				Среднее:	-	-	-	-	-	-	129218,99	-	-	1,609	-	
				Коэффициент вариации, %	-	-	-	-	-	-	3,57	-	-	-	-	-

Примечания к табл. 1-7: b_f – средняя ширина образца, мм; t_f – средняя толщина образца, мм; $R_{f,ult}^{теор}$ – теоретическое значение сопротивления растяжению (согласно данным производителя), МПа; $R_{f,ult}^{эксп}$ – экспериментальное значение сопротивления растяжению, МПа; $F_{f,ult}^{теор}$ – теоретическое значение нагрузки при разрушении, Т; $F_{f,ult}^{эксп}$ – экспериментальное значение нагрузки при разрушении, Т; $E_{f,ult}^{теор}$ – теоретический модуль упругости (согласно данным производителя), МПа; $E_{f,ult}^{эксп}$ – экспериментальное значение модуля упругости, МПа; $\epsilon_{f,ult}^{теор}$ – теоретическое значение относительного удлинения ФАП при растяжении (согласно данным производителя); $\epsilon_{f,ult}^{эксп}$ – экспериментальное значение относительного удлинения ФАП при растяжении.

Таблица 2
Table 2

Результаты механических испытаний образцов серии FRP-50 при температуре -50°C
The mechanical test results for specimens FRP-50 at temperature -50 degrees

№	Марка образца	b_f , мм	t_f , мм	$R_{f,ult}^{теор}$, МПа	$R_{f,ult}^{эксп}$, МПа	$(1 - \frac{R_{f,ult}^{эксп}}{R_{f,ult}^{теор}})$, %	$F_{f,ult}^{теор}$, Т	$F_{f,ult}^{эксп}$, Т	$(1 - \frac{F_{f,ult}^{эксп}}{F_{f,ult}^{теор}})$, %	$E_{f,ult}^{теор}$, МПа	$E_{f,ult}^{эксп}$, МПа	$(1 - \frac{E_{f,ult}^{эксп}}{E_{f,ult}^{теор}})$, %	$\epsilon_{f,ult}^{теор}$	$\epsilon_{f,ult}^{эксп}$	$(1 - \frac{\epsilon_{f,ult}^{эксп}}{\epsilon_{f,ult}^{теор}})$, %	
1	FRP-50.1	20,23	1,4		2110,72	-2,02	5,86	5,98	-2,02		135984,32	-5,01		1,552	-7,05	
2	FRP-50.2	20,69	1,4		2096,28	-1,32	5,99	6,07	-1,32		138234,07	-3,30		1,516	-4,58	
3	FRP-50.3	19,83	1,4	2069	2000,27	3,32	5,74	5,6	2,59	142800	130683,36	-9,27	1,45	1,531	-5,56	
4	FRP-50.4	19,81	1,4		2053,89	0,73	5,74	5,7	0,73		125581,58	-13,71		1,635	-12,79	
5	FRP-50.5	19,9	1,4		2127,89	-2,85	5,76	5,93	-2,85		123867,75	-15,28		1,718	-18,47	
				Среднее:	-	-	-	-	-	-	130870,22	-	-	1,59	-	
				Коэффициент вариации, %	-	-	-	-	-	-	4,29	-	-	-	-	-

Таблица 3
Table 3

Результаты механических испытаний образцов серии FRP-25 при температуре -25°C
The mechanical test results for specimens FRP-25 at temperature -25 degrees

№	Марка образца	b_f , мм	t_f , мм	$R_{f,ult}^{теор}$, МПа	$R_{f,ult}^{эксп}$, МПа	$(1 - \frac{R_{f,ult}^{эксп}}{R_{f,ult}^{теор}})$, %	$F_{f,ult}^{теор}$, Т	$F_{f,ult}^{эксп}$, Т	$(1 - \frac{F_{f,ult}^{эксп}}{F_{f,ult}^{теор}})$, %	$E_{f,ult}^{теор}$, МПа	$E_{f,ult}^{эксп}$, МПа	$(1 - \frac{E_{f,ult}^{эксп}}{E_{f,ult}^{теор}})$, %	$\epsilon_{f,ult}^{теор}$	$\epsilon_{f,ult}^{эксп}$	$(1 - \frac{\epsilon_{f,ult}^{эксп}}{\epsilon_{f,ult}^{теор}})$, %
1	FRP-25.1	19,93	1,4		2045,66	1,13	5,77	5,71	1,12		123076,89	-16,03		1,662	-14,63
2	FRP-25.2	20,09	1,4		2096,57	-1,33	5,82	5,9	-1,34		124809,97	-14,41		1,68	-15,85
3	FRP-25.3	19,72	1,4	2069	2089,56	-0,99	5,71	5,77	-1	142800	124029,35	-15,13	1,45	1,685	-16,19
4	FRP-25.4	19,89	1,4		2026,77	2,04	5,76	5,64	2,04		123929,01	-15,23		1,635	-12,79
5	FRP-25.5	20,72	1,4		1926,96	6,86	6	5,59	6,88		128751,69	-10,91		1,497	-3,22
		Среднее:		-	2037,1	-	-	-	-	-	124919,38	-	-	1,632	-
		Коэффициент вариации, %		-	2,99	-	-	-	-	-	1,6	-	-	-	-

Таблица 4
Table 4

Результаты механических испытаний образцов серии FRP-0 при температуре 0°C
The mechanical test results for specimens FRP-0 at temperature 0 degrees

№	Марка образца	b_f , мм	t_f , мм	$R_{f,ult}^{теор}$, МПа	$R_{f,ult}^{эксп}$, МПа	$(1 - \frac{R_{f,ult}^{эксп}}{R_{f,ult}^{теор}})$, %	$F_{f,ult}^{теор}$, Т	$F_{f,ult}^{эксп}$, Т	$(1 - \frac{F_{f,ult}^{эксп}}{F_{f,ult}^{теор}})$, %	$E_{f,ult}^{теор}$, МПа	$E_{f,ult}^{эксп}$, МПа	$(1 - \frac{E_{f,ult}^{эксп}}{E_{f,ult}^{теор}})$, %	$\epsilon_{f,ult}^{теор}$	$\epsilon_{f,ult}^{эксп}$	$(1 - \frac{\epsilon_{f,ult}^{эксп}}{\epsilon_{f,ult}^{теор}})$, %
1	FRP-0.1	20,03	1,4		2023,98	2,18	5,80	5,67	2,22		124255,02	-14,92		1,629	-12,34
2	FRP-0.2	19,71	1,4		2158,27	-4,31	5,71	5,96	-4,31		132723,75	-7,59		1,626	-12,15
3	FRP-0.3	20,49	1,4	2069	2056,82	0,59	5,94	5,9	0,59	142800	133025,87	-7,35	1,45	1,546	-6,63
4	FRP-0.4	19,55	1,4		2103,97	-1,69	5,66	5,79	-2,17		124354,08	-14,83		1,692	-16,68
5	FRP-0.5	20,39	1,4		2031,22	1,83	5,91	5,8	1,83		126207,54	-13,15		1,609	-10,99
		Среднее:		-	2074,85	-	-	-	-	-	128113,25	-	-	1,624	-
		Коэффициент вариации, %		-	2,42	-	-	-	-	-	3,08	-	-	-	-

Таблица 5
Table 5

Результаты механических испытаний образцов серии FRP-20 при температуре +20°C
The mechanical test results for specimens FRP-20 at temperature +20 degrees

№	Марка образца	b_f , мм	t_f , мм	$R_{f,ult}^{теор}$, МПа	$R_{f,ult}^{эксп}$, МПа	$(1 - \frac{R_{f,ult}^{эксп}}{R_{f,ult}^{теор}})$, %	$F_{f,ult}^{теор}$, Т	$F_{f,ult}^{эксп}$, Т	$(1 - \frac{F_{f,ult}^{эксп}}{F_{f,ult}^{теор}})$, %	$E_{f,ult}^{теор}$, МПа	$E_{f,ult}^{эксп}$, МПа	$(1 - \frac{E_{f,ult}^{эксп}}{E_{f,ult}^{теор}})$, %	$\epsilon_{f,ult}^{теор}$	$\epsilon_{f,ult}^{эксп}$	$(1 - \frac{\epsilon_{f,ult}^{эксп}}{\epsilon_{f,ult}^{теор}})$, %
1	FRP-20.1	20,57	1,4		2043,53	1,23	5,96	5,88	1,23		128824,32	-10,85		1,586	-9,4
2	FRP-20.2	20,06	1,4		2039,21	1,44	5,81	5,73	1,42		127388,63	-12,1		1,601	-10,4
3	FRP-20.3	20,05	1,4	2069	2090,38	-1,03	5,81	5,87	-1,04	142800	125492,75	-13,79	1,45	1,666	-14,88
4	FRP-20.4	19,92	1,4		2035,37	1,63	5,77	5,68	1,61		122838,21	-16,25		1,657	-14,27
5	FRP-20.5	20,25	1,4		2116,45	-2,29	5,87	6	-2,29		130751,37	-9,21		1,619	-11,63
		Среднее:		-	2064,99	-	-	-	-	-	127059,06	-	-	1,626	-
		Коэффициент вариации, %		-	1,58	-	-	-	-	-	2,14	-	-	-	-

Таблица 6
Table 6

Результаты механических испытаний образцов серии FRP-40 при температуре +40°C
The mechanical test results for specimens FRP-40 at temperature +40 degrees

№	Марка образца	b_f , мм	t_f , мм	$R_{f,ult}^{теор}$, МПа	$R_{f,ult}^{эксп}$, МПа	$(1 - \frac{R_{f,ult}^{эксп}}{R_{f,ult}^{теор}})$, %	$F_{f,ult}^{теор}$, Т	$F_{f,ult}^{эксп}$, Т	$(1 - \frac{F_{f,ult}^{эксп}}{F_{f,ult}^{теор}})$, %	$E_{f,ult}^{теор}$, МПа	$E_{f,ult}^{эксп}$, МПа	$(1 - \frac{E_{f,ult}^{эксп}}{E_{f,ult}^{теор}})$, %	$\epsilon_{f,ult}^{теор}$	$\epsilon_{f,ult}^{эксп}$	$(1 - \frac{\epsilon_{f,ult}^{эксп}}{\epsilon_{f,ult}^{теор}})$, %
1	FRP-40.1	19,99	1,4		2043,53	1,23	5,96	5,88	1,23	128824,32	1,586	-10,85		1,586	-9,4
2	FRP-40.2	20,18	1,4		2039,21	1,44	5,81	5,73	1,42	127388,63	1,601	-12,10		1,601	-10,4
3	FRP-40.3	19,52	1,4	2069	2090,38	-1,03	5,81	5,87	-1,04	142800	1,666	-13,79	1,45	1,666	-14,88
4	FRP-40.4	20,64	1,4		2035,37	1,63	5,77	5,68	1,61		1,657	-16,25		1,657	-14,27
5	FRP-40.5	20,34	1,4		2116,45	-2,29	5,87	6	-2,29		1,619	-9,21		1,619	-11,63
Среднее:															
Кoeffициент вариации, %															
-															
-															
8,2															
-															
-															
2,65															
-															
-															

Таблица 7
Table 7

Результаты механических испытаний образцов серии FRP-60 при температуре +60°C
The mechanical test results for specimens FRP-60 at temperature +60 degrees

№	Марка образца	b_f , мм	t_f , мм	$R_{f,ult}^{теор}$, МПа	$R_{f,ult}^{эксп}$, МПа	$(1 - \frac{R_{f,ult}^{эксп}}{R_{f,ult}^{теор}})$, %	$F_{f,ult}^{теор}$, Т	$F_{f,ult}^{эксп}$, Т	$(1 - \frac{F_{f,ult}^{эксп}}{F_{f,ult}^{теор}})$, %	$E_{f,ult}^{теор}$, МПа	$E_{f,ult}^{эксп}$, МПа	$(1 - \frac{E_{f,ult}^{эксп}}{E_{f,ult}^{теор}})$, %	$\epsilon_{f,ult}^{теор}$	$\epsilon_{f,ult}^{эксп}$	$(1 - \frac{\epsilon_{f,ult}^{эксп}}{\epsilon_{f,ult}^{теор}})$, %
1	FRP-60.1	20,84	1,4		1644,82	20,5	6,04	4,8	20,5	133235,79	1,235	-7,18		1,235	14,86
2	FRP-60.2	19,83	1,4		1732,21	16,28	5,75	4,81	16,28	120993,57	1,432	-18,02		1,432	1,27
3	FRP-60.3	19,14	1,4	2069	1689,48	18,34	5,55	4,53	18,34	142800	1,31	-10,77	1,45	1,31	9,62
4	FRP-60.4	19,24	1,4		1744,33	15,69	5,57	4,7	15,69		1,462	-19,72		1,462	-0,86
5	FRP-60.5	20,1	1,4		1720,02	16,87	5,82	4,84	16,87		1,466	-21,73		1,466	-1,12
Среднее:															
Кoeffициент вариации, %															
-															
-															
2,09															
-															
-															
4,91															
-															
-															

Опытные образцы приняты согласно требованиям ГОСТ 25.601–80 и выполнены из углеродного ФАП ламината с сопротивлением растяжению по данным, предоставленным производителем, равным 2069 МПа, и модулем упругости 142800 МПа.

Во время испытания контролировались температура опытных образцов, нагрузка при разрушении, относительная деформация (посредством наклеенных тензодатчиков), характер и место разрушения.

Образцы охлаждались/нагревались в климатической камере, в которой в дальнейшем проводилось испытание. Нагружение образцов осуществлялось с постоянной скоростью перемещения захвата испытательной машины 5 мм/мин и начиналось после достижения в образце соответствующей температуры.

Результаты испытаний

Результаты механических испытаний образцов всех серий и диаграммы деформирования представлены в табл. 1–7 и на рис. 1–7 соответственно.

Испытания ФАП в нормальных условиях при температуре 20°C (серия FRP-20) показали следующие результаты:

– среднее значение модуля упругости 127059,06 МПа (коэффициент вариации 2,14%), что на 11,02% меньше заявленного значения;

– среднее значение сопротивления ФАП растяжению 2064,99 МПа (коэффициент вариации 1,58%), близкое к заявленному значению (разница менее 1%);

– среднее значение относительных деформаций при разрушении ФАП – 1,626, что на 12,12% больше заявленного;

– диаграмма деформирования – линейная, вплоть до разрушения.

Модуль упругости на всем рассматриваемом диапазоне температуры изменяется от 129218,99 МПа (коэффициент вариации – 3,57%) для серии образцов FRP-75 при температуре -75°C до 123948,21 МПа (коэффициент вариации – 4,91%) для серии образцов FRP-60 при температуре 60°C. Разница максимального (при температуре -50°C) и минимального значений (при температуре 60°C) составляет 4,1%. Распределение значений модуля упругости при изменении температуры представлено на рис. 8.

Сопротивление ФАП растяжению и относительная деформация при разрушении. На рис. 9 представлена зависимость сопротивления ФАП растяжению при изменении температуры.

При температуре от -75 до 20°C изменение сопротивления ФАП растяжению незначительно – с 2077,81 до 2037,1 МПа – и составляет 1,96%.

С повышением температуры до 40°C наблюдается резкое уменьшение сопротивления ФАП до 1604,27 МПа, а при 60°C – повышение до 1706,17 МПа.

Уменьшение сопротивления при переходе от 20 до 40°C составило 22,31%. Такое снижение может свидетельствовать о достижении эпоксидной матрицы ФАП температуры размягчения или стеклования. Предположительно здесь происходит расструктурирование полимера. Матрица перестает выполнять свою функцию в композиционном материале – равномерно распределять нагрузку на волокна, объединяя их в «монолитную» структуру. С этого момента приложенную нагрузку воспринимают в основном волокна, о чем может свидетельствовать увеличение сопротивления ФАП при переходе от 40 до 60°C и изменение диаграммы деформирования.

При практически постоянном среднем значении модуля упругости на всем рассматриваемом диапазоне температуры относительные деформации при разрушении изменяются от серии к серии соответственно сопротивлению ФАП растяжению.

Диаграмма деформирования. При температуре от -75 до 40°C диаграмма деформирования линейна вплоть до разрушения для всех образцов. Для образцов серии FRP-60 при 60°C диаграмма изменяется: появляется характерный перелом при деформациях $\varepsilon \approx 0,005$, при этом зависимость напряжений от деформаций по-прежнему остается линейной. Предполагается, что на первом участке нагружения волокна работают совместно, а при достижении $\varepsilon \approx 0,005$ матрица выключается из работы.

Выводы

По проведенным испытаниям получены следующие результаты.

1. Модуль упругости вдоль волокон углеродного ФАП ламината не изменяется в диапазоне от -75 до 60°C. Испытания по определению модуля проводились при нагружении до 30% от кратковременной статической прочности ФАП, согласно методике ГОСТ 25.601–80.

2. Сопротивление ФАП ламината растяжению не изменяется в диапазоне от -75 до 20°C.

3. При температуре 40°C сопротивление ФАП ламината растяжению снижается на 22,31%. При повышении температуры до 60°C сопротивление возрастает на 5,97%.

4. Диаграмма деформирования ФАП ламината носит линейный характер вплоть до разрушения в диапазоне от -75 до 40°C.

5. При +60°C при достижении относительных деформаций $\varepsilon \approx 0,005$ изменяется угол наклона графика зависимости напряжений от деформаций и диаграмма деформирования ФАП ламината представлена двухлинейной.

6. При расчете усиленной железобетонной конструкции СВА на огнестойкость и подборе огнеза-

щиты, рекомендуется ограничивать температуру в ФАП ламинате от 40 до 60°C, вводя в расчет линейную или двухлинейную диаграмму деформирования соответственно.

7. Для построения модели деформирования ФАП ламината при растяжении необходимо провести дополнительные испытания, в том числе при температуре, превышающей максимально возможное значение температуры стеклования полимерной матрицы.

Список литературы / References

1. Wu Hw-Ch., Eamon Ch. D. Strengthening of concrete structures using fiber reinforced polymers (FRP). *Woodhead Publishing*. 2017. p. 332.
2. Al-Mahaidi R., Kalfat R. Rehabilitation of concrete structures with fiber-reinforced polymer. *Butterworth-Heinemann*. 2018. p. 403.
3. Bai J. Advanced fiber-reinforced polymer (FRP) composites for structural applications. *Woodhead Publishing*. 2023. p. 826.
4. Ahmed A., Kodur V.K.R. Effect of bond degradation on fire resistance of FRP-strengthened reinforced concrete beams. *Composites Part B: Engineering*. 2011. Vol. 42. Iss. 2, pp. 226–237. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2010.11.004>
5. Ahmed A., Kodur V.K.R. The experimental behavior of FRP-strengthened RC beams subjected to design fire exposure. *Engineering Structures*. 2011. Vol. 33. Iss. 7, pp. 2201–2211. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.03.010>
6. Qin G., Na J., Mu W. Effect of continuous high temperature exposure on the adhesive strength of epoxy adhesive, CFRP and adhesively bonded CFRP-aluminum alloy joints. *Composites Part B: Engineering*. 2018. Vol. 154, pp. 43–55. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.07.059>
7. Jia Zh., Hui D., Yuan G. Mechanical properties of an epoxy-based adhesive under high strain rate loadings at low temperature environment. *Composites Part B: Engineering*. 2016. Vol. 105, pp. 132–137.
8. Firmo J.P., Roquette M.G., Correia J.R. Influence of elevated temperatures on epoxy adhesive used in CFRP strengthening systems for civil engineering application. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2019. Vol. 93, pp. 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.01.027>
9. Galvez P., Abenojar J., Martinez M.A. Effect of moisture and temperature on the thermal and mechanical properties of a ductile epoxy adhesive for use in steel structures reinforced with CFRP. *Composites Part B: Engineering*. 2016. Vol. 176, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107194>
10. Ke L., Li Ch., Hun J. Effect of elevated temperatures on mechanical behavior of epoxy adhesives and CFRP-steel hybrid joints. *Composite Structures*. 2020. Vol. 235, pp. 1–29. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111789>
11. Borsellino Ch., Urso S., Alderucci T. Temperature effects on failure mode of double lap glass-aluminium and glass-GFRP joints with epoxy and acrylic adhesive. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2021. Vol. 105, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2020.102788>
12. Денисова А.Д., Шеховцов А.С., Кужман Е.Д. Результаты механических испытаний композиционного материала, применяемого при усилении железобетонных конструкций внешним армированием // *Жилищное строительство*. 2022. № 11. С. 44–50. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-11-44-50>
12. Denisova A.D., Shekhovtsov A.S., Kuzhman E.D. Results of mechanical tests of composite material used in strengthening reinforced concrete structures with external reinforcement. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2022. No. 11, pp. 44–50. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-11-44-50>
13. Денисова А.Д., Шеховцов А.С., Кужман Е.Д. Влияние ширины композиционного материала, применяемого при усилении железобетонных конструкций, на его работу при растяжении // *Строительные материалы*. 2022. № 11. С. 26–31. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-808-11-26-31>
13. Denisova A.D., Shekhovtsov A.S., Kuzhman E.D. Width effect of composite material on its tensile behavior at strengthening reinforced concrete structures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 11, pp. 26–31. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-808-11-26-31>

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Учебное пособие «Промышленное и гражданское строительство. Введение в профессию»

Авторы: Грызлов В.С., Ворожбянов В.Н., Гендлина Ю.Б., Залипаева О.А., Каптюшина А.Г., Медведева Н.В., Петровская А.А., Поварова О.А., Чорная Т.Н.

Научный редактор – д-р техн. наук, проф. В.С. Грызлов
Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 276 с.

Дана общая характеристика профессии строитель. Приведены сведения из истории развития строительной отрасли. Предложено краткое описание видов строительной продукции, особенностей проектирования строительных объектов, технологии и порядка организации возведения зданий и сооружений; раскрыты вопросы менеджмента в строительстве. Подчеркнута важность строительной науки и цифровизации строительной деятельности. Отдельная глава посвящена особенностям организации инженерно-строительного обучения. Для студентов бакалавриата, начавших обучение по направлению «Строительство». Может быть использовано для профориентационной работы с выпускниками школ.

По вопросам приобретения обращайтесь в издательство «Инфра-Инженерия»



УДК 697.1:628.8

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-54-57>

О.Д. САМАРИН, канд. техн. наук (samarin-oleg@mail.ru)

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Уточненная методика расчета промерзания наружных ограждений и увлажненных материалов

Актуальность исследования связана с необходимостью обеспечения безопасности жизнедеятельности людей и строительных конструкций здания при остывании здания в холодный период года в случае аварийного отключения систем теплоснабжения. Предметом исследования являются зависимости от времени для положения фронта промерзания влаги и поперечного профиля температуры в наружных ограждениях в условиях резкого похолодания. Цель исследования состоит в оценке погрешности таких зависимостей и получения их более точных вариантов, полнее отражающих физическую сущность происходящих при промерзании процессов. Задача исследования – сопоставление поведения температуры внутри ограждения в пределах промерзшей или оттаявшей зоны и фронта промерзания по разным методикам и поиск поправочных коэффициентов, обеспечивающих наилучшее согласование результатов. Использовано сочетание приближенных аналитических и численных конечно-разностных методов решения дифференциальных уравнений нестационарной теплопроводности в массиве ограждений помещения для решения одномерной задачи Стефана с использованием аппроксимации температурного профиля в пределах промерзшей или оттаявшей зоны в виде квадратичного полинома. Показана последовательность получения уточненного аналитического выражения для пространственной координаты фронта промерзания при граничных условиях первого рода и представлен рассчитанный поперечный профиль температуры в зависимости от координаты для характерного примера увлажненного материала наружной стены. Полученные результаты сопоставлены с имеющимся приближенным решением и результатами численных расчетов по разработанной ранее автором программе для ЭВМ, выявлены и обоснованы их различия и проведена оценка точности.

Ключевые слова: температурное поле, нестационарная теплопроводность, уравнение Фурье, фронт промерзания, условие Стефана, тепловая инерция.

Для цитирования: Самарин О.Д. Уточненная методика расчета промерзания наружных ограждений и увлажненных материалов // *Жилищное строительство*. 2023. № 5. С. 54–57.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-54-57>

O.D. SAMARIN, Candidate of Sciences (Engineering) (samarin-oleg@mail.ru)

National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Refined Method of Calculation of Freezing of External Fences and Moistened Materials

The relevance of the study is related to the need to ensure the safety of human life and building structures when the building cools down during the cold season in the event of an emergency shutdown of heat supply systems. The subject of the study is the time dependences for the position of the moisture freezing front and the transverse temperature profile in external fences in conditions of a sharp cold snap. The purpose of the study is to assess the error of such dependencies and obtain more accurate versions of them, more fully reflecting the physical essence of the processes occurring during freezing. The objective of the study is to compare the behavior of the temperature inside the fence within the frozen or thawed zone and the freezing front according to different methods and to search for correction coefficients that ensure the best agreement of the results. Materials and research methods used. A combination of approximate analytical and numerical finite-difference methods for solving differential equations of unsteady thermal conductivity in an array of room fences is used to solve the one-dimensional Stefan problem using approximation of the temperature profile within the frozen or thawed zone in the form of a quadratic polynomial. The sequence of obtaining a refined analytical expression for the spatial coordinate of the freezing front under boundary conditions of the first kind is shown and a calculated transverse temperature profile is presented depending on the coordinate for a characteristic example of a moistened outer wall material. The obtained results are compared with the available approximate solution and the results of numerical calculations according to the computer program developed earlier by the author, their differences are identified and justified and an accuracy assessment is carried out.

Keywords: temperature field, unsteady thermal conductivity, Fourier equation, freezing front, Stefan condition, thermal inertia.

For citation: Samarina O.D. Refined method of calculation of freezing of external fences and moistened materials. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 5, pp. 54–57. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-5-54-57>

Задача о промерзании и оттаивании увлажненного материала исследовалась рядом авторов уже давно, но тем не менее она остается достаточно актуальной. Во-первых, это связано с тем, что в соответствии с Федеральным законом № 384-ФЗ от 30 декабря 2009 г. «Технический регламент «О безопасности зданий и сооружений» с последующими изменениями данный вопрос относится к определяющим безопасность строительных конструкций. Во-вторых, нужно учитывать появление новых типов наружных ограждений и их узлов, а также расширение использования ряда строительных материалов, особенно теплоизоляционных, в связи с реализацией другого Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении...» от 23 ноября 2009 г. Наконец, в условиях наблюдающейся тенденции к общему потеплению климата постепенно увеличивается, по крайней мере в Европейской части России, количество случаев перехода температуры наружного воздуха t_n , °С, через нулевое значение из-за более частых и продолжительных оттепелей в зимний период.

Некоторые варианты данной проблемы, а также соответствующие смежные вопросы изучались и в ряде публикаций, появившихся в последнее время, в том числе применительно к ограждающим конструкциям [1–2], трубопроводам тепловых насосов [3–4] и систем теплоснабжения [5–6]. Однако при этом используются либо традиционные упрощенные подходы, либо, наоборот, как в работе [2], из-за учета большого количества параметров получают очень сложные зависимости, которые трудно использовать в инженерной практике.

Точное решение рассматриваемой задачи в общем случае является чрезвычайно затруднительным, поэтому для инженерных целей обычно используется первое приближение, когда считается, что высокая теплоинерционность фронта промерзания-оттаивания приводит к тому, что температурное поле за фазовой границей в каждый момент времени можно считать мгновенно-стационарным, т. е. в одномерном варианте – линейным [7–10]. Такое предположение не приводит к значительной погрешности, если теплосодержание сухой части исследуемого материала существенно меньше скрытой теплоты плавления, сосредоточенной в частицах замерзающей влаги. Тогда толщина промерзшего или оттаявшего слоя x_F , м, будет изменяться пропорционально $\sqrt{\tau}$, где τ – промежуток времени, с, с момента начала процесса. Схема соответствующего построения показана на рис. 1 сплошными линиями. Для

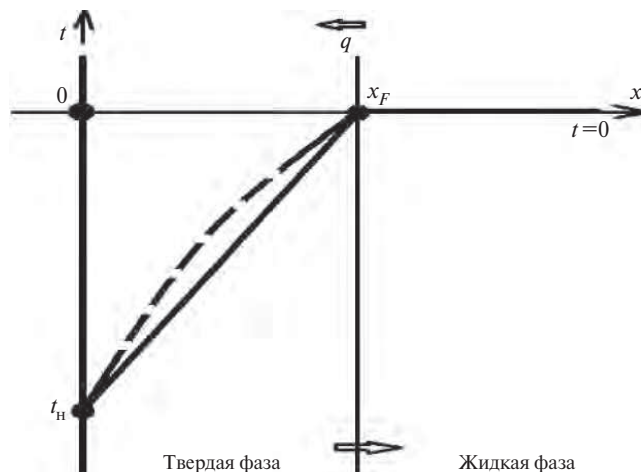


Рис. 1. Схема профиля температуры и теплопередачи в увлажненной конструкции при перемещении фронта промерзания

Fig. 1. Diagram of the temperature and heat transfer profile in a humidified structure during the movement of the freezing front

простоты здесь используются граничные условия первого рода на наружной поверхности конструкции, что не вносит существенной ошибки из-за достаточно высокого коэффициента теплообмена с внешней средой. Символом \bar{q} при этом обозначается вектор плотности теплового потока, Вт/м², за счет теплопередачи внутри материала. Предположение о линейности температурного поля фактически означает независимость \bar{q} от координаты, или, другими словами, через промерзшую область в окружающую среду проходит только теплота, выделившаяся в процессе фазового перехода.

Попытаемся уточнить данный результат, принимая более сложное выражение для профиля температуры t , °С, в промерзшей (оттаявшей) зоне. Из физических соображений ясно, что его выпуклость должна быть ориентирована в сторону нулевой изотермы (пунктирная линия на рис. 1). В самом деле, в любом сечении стенки при $x < x_F$ в процессе ее промерзания величина t с течением времени будет непрерывно уменьшаться, а по свойству дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности (уравнения Фурье) это возможно только при такой ориентации выпуклости профиля. Тогда, аппроксимируя зависимость температуры материала от пространственной координаты x простейшим нелинейным выражением в виде квадратичного полинома, получаем:

$$t(x) = t_n \left[1 - (a+1) \frac{x}{x_F} + a \left(\frac{x}{x_F} \right)^2 \right]. \quad (1)$$

Форма трехчлена в квадратных скобках выбрана так, чтобы удовлетворялись граничные условия при $x=0$ и $x=x_F$. В данной формуле a – некоторый

параметр, значение которого предстоит установить в ходе дальнейшего исследования задачи, причем по физическому смыслу обязательно должно быть $a > 0$. Тогда выражение для плотности теплового потока за счет теплопроводности слева от фронта промерзания в соответствии с законом Фурье будет выглядеть следующим образом:

$$q_{ТВ(x_F-0)} = -\lambda_{ТВ} \frac{dt}{dx} = -\lambda_{ТВ} t_H \left[\frac{2ax}{x_F^2} - \frac{a+1}{x_F} \right]_{(x_F-0)} = \frac{\lambda_{ТВ} t_H}{x_F} (1-a), \quad (2)$$

где $\lambda_{ТВ}$ – теплопроводность промерзшего материала с учетом его влажности, Вт/(м·К). Заметим, что теперь уже значение $q_{ТВ}$ явным образом зависит от x , причем, как легко видеть из разности в квадратных скобках, ее абсолютная величина возрастает по мере приближения к наружной поверхности стенки. Это означает, что в действительности в окружающую среду поступает не только теплота фазового превращения, но и выделяющаяся при дальнейшем остывании материала от нулевой температуры до уровня $t(x)$.

Непосредственно на границе раздела фаз условие Стефана для рассматриваемых условий запишется в таком виде [7–10]:

$$q_{ТВ(x_F-0)} = -\rho w r_{пл} \frac{dx_F}{dt}, \quad (3)$$

где w – удельное объемное содержание замерзающей влаги в материале (безразмерная величина); $r_{пл} = 3,34 \cdot 10^5$ Дж/кг – ее удельная теплота плавления; ρ – плотность материала, кг/м³. Величина $q_{ТВ}$ в данном сечении, по сути, представляет собой скачок плотности теплового потока вследствие тепловой инерции фазового раздела. Приравнявая (2) и (3), после интегрирования получаем:

$$x_F = \sqrt{\frac{-2\lambda_{ТВ} t_H (1-a) \tau}{\rho w r_{пл}}}. \quad (4)$$

Нетрудно заметить, что эта формула отличается от приведенных в упомянутых ранее источниках только множителем $(1-a)$. Заметим, что ее общий вид с точностью до числовых коэффициентов можно получить и методом анализа размерностей [10]. Чтобы теперь определить значение параметра a , учтем, что в промерзшей зоне распределение температуры должно удовлетворять уравнению Фурье для одномерного случая:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a_{ТВ} \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \quad (5)$$

где $a_{ТВ} = \frac{\lambda_{ТВ}}{c\rho}$ – коэффициент температуропроводности материала в данной зоне, м²/с; c – его удельная теплоемкость, Дж/(кг·К). Если вычислить соответствующие производные, исходя из

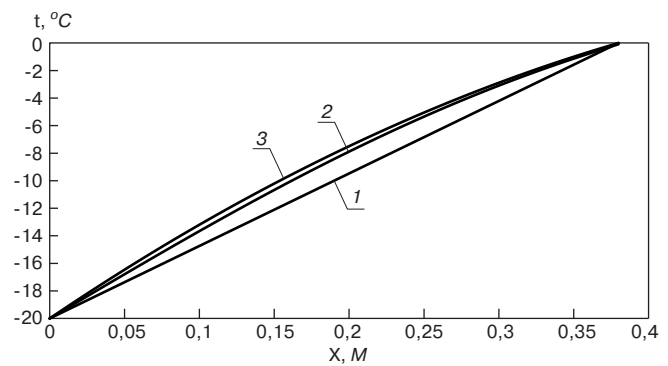


Рис. 2. Поперечный профиль температуры в промерзшей зоне увлажненной конструкции: 1 – линейное приближение; 2 – численный расчет; 3 – по формулам (1)–(7)

Fig. 2. Transverse temperature profile in the frozen zone of the humidified structure: 1 – linear approximation; 2 – numerical calculation; 3 – according to formulas (1)–(7)

выражения для профиля температуры (1), можно, очевидно, найти:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = \frac{2at_H}{x_F^2}; \quad \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{t_H}{2\tau x_F^2} [x(a+1)x_F - 2ax^2]. \quad (6)$$

Подставляя полученные равенства в (5) при $x = x_F/2$, т. е. в середине рассматриваемой области, чтобы добиться наиболее точного приближения, после некоторых преобразований записываем соотношение для a :

$$a = \frac{x_F^2}{8a_{ТВ}\tau} = \frac{ct_H(a-1)}{4wr_{пл}} = \frac{K(a-1)}{4},$$

откуда окончательно $a = \frac{K}{K-4}$. (7)

Безразмерный комплекс $K = \frac{ct_H}{wr_{пл}}$ является критерием подобия, показывающим соотношение теплосодержания сухой части исследуемого материала и скрытой теплоты плавления замерзающей влаги [8, 9]. Поскольку в рассматриваемом случае $t_H < 0$, то и $K < 0$, следовательно, предположение о том, что a должно быть неотрицательным, действительно выполняется. На рис. 2 линией 3 показан профиль температуры, рассчитанный по формуле (1) с использованием выражения (7) для кирпичной стенки с параметрами $c = 880$ Дж/(кг·К); $\lambda = 0,81$ Вт/(м·К), $w = 0,02$, $\rho = 1800$ кг/м³ при $t_H = -20^\circ\text{C}$ (тогда $a = 0,397$). Пунктиром отмечены результаты численного расчета по разработанной ранее автором программе для ЭВМ, использующей конечно-разностную аппроксимацию уравнения (5) и условия (3) [9], выполненного для тех же условий, и для сравнения линией 1 – первое линейное приближение. Легко видеть, что зависимости (1)–(7) дают очень близкую сходимость с данными численного эксперимента, во всяком случае, расхождение лежит в

пределах точности инженерного расчета и гораздо меньше, чем отклонение от простейшего линейного варианта.

Таким образом, мы показали, что возможно получение достаточно простого аналитического решения, описывающего температурный профиль в промерзшей части увлажненного ограждения, которое тем не менее учитывает влияние теплоемкости сухой части материала. Это влияние приводит к некоторому замедлению перемещения фазовой границы из-за теплоинерционности данной зоны конструкции и к искривлению температурного поля, которое приобретает выпуклость в сторону нулевой изотермы. Выявленную зависимость можно использовать в инженерной практике для исследования поведения ограждений здания в условиях колебаний температуры наружного воздуха в холодный период года при оценке их тепло-технической безопасности, надежности и долговечности.

Список литературы

1. Алексеев А.Г. Промерзание грунта в основании фундаментной плиты многоэтажного здания и его последствия // *Промышленное и гражданское строительство*. 2018. № 4. С. 37–43.
2. Фомина В.В., Аксенов Б.Г., Степанов О.А., Миронов В.В., Абросимова С.А. Решение задач промерзания-оттаивания грунта для систем теплогазоснабжения // *Вестник евразийской науки*. 2020. Т. 12. № 5. С. 8.
3. Vasilyev G.P., Gornov V.F., Konstantinov P.I., Kolesova M.V., Korneva I.A. Analysis of ground temperature variations, on the basis of years-long measurements. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. No. 4, pp. 62–72.
4. Vasilyev G.P., Gornov V.F., Peskov N.V., Popov M.P., Kolesova M.V., Yurchenko V.A. Ground moisture phase transitions: Accounting in BHE'S design. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. No. 6, pp. 102–117.
5. Rafalskaya T. Safety of engineering systems of buildings with limited heat supply. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. P. 012049.
6. Rafalskaya T.A. Simulation of thermal characteristics of heat supply systems in variable operating. *Journal of Physics: Conference Series. XXXV Siberian Thermophysical Seminar, STS 2019*. 2019. P. 012140.
7. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. 3-е изд. СПб.: АВОК СЕВЕРО-ЗАПАД, 2006. 400 с.
8. Carslaw H.S., Jaeger J.C. *Conduction of heat in solids*. Oxford University Press. USA. 1986. 520 p.
9. Самарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. М.: АСВ, 2014. 296 с.
10. Самарин О.Д., Ключко А.К. Численные и приближенные методы в задачах строительной теплофизики и климатологии. М.: МИСИ-МГСУ, 2021. 96 с.

References

1. Alekseev A.G. Soil freezing at the base of the foundation plate of a multistory building and its consequences. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2018. No. 4, pp. 37–43. (In Russian).
2. Fomina V.V., Aksenov B.G., Stepanov O.A., Mironov V.V., Abrosimova S.A. Solving problems of soil freezing-thawing for heat and gas supply systems. *Vestnik yevraziyskoy nauki*. 2020. Vol. 12. No. 5, pp. 8. (In Russian).
3. Vasilyev G.P., Gornov V.F., Konstantinov P.I., Kolesova M.V., Korneva I.A. Analysis of ground temperature variations, on the basis of years-long measurements. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. No. 4, pp. 62–72.
4. Vasilyev G.P., Gornov V.F., Peskov N.V., Popov M.P., Kolesova M.V., Yurchenko V.A. Ground moisture phase transitions: Accounting in BHE'S design. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. No. 6, pp. 102–117.
5. Rafalskaya T. Safety of engineering systems of buildings with limited heat supply. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. P. 012049.
6. Rafalskaya T.A. Simulation of thermal characteristics of heat supply systems in variable operating. *Journal of Physics: Conference Series. XXXV Siberian Thermophysical Seminar, STS 2019*. 2019. P. 012140.
7. Bogoslovsky V.N. *Stroitel'naya teplofizika* [Building thermal physics]. Saint Petersburg: AVOK SEVERO-ZAPAD. 2006. 400 p.
8. Carslaw H.S., Jaeger J.C. *Conduction of heat in solids*. Oxford University Press. USA. 1986. 520 p.
9. Samarina O.D. *Teplofizika. Energoberezhenie. Energoeffektivnost'* [Thermal physics. Energy saving. Energy efficiency]. Moscow: ASV. 2014. 296 p.
10. Samarina O.D., Klochkov A.K. *Chislennyye i priblizhennyye metody v zadachakh stroitel'noy teplofiziki i klimatologii* [Numerical and approximated methods in the problems of building thermal physics and climatology]. Moscow: MISI-MGSU. 2021. 96 p.

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера (до пяти журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Жилищное строительство» для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНиПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.

2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–3 года в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.

2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние пять лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

ВНИМАНИЕ! С 1 января 2020 г. изменены требования к оформлению статей. Обязательно ознакомьтесь с требованиями на сайте издательства в разделе «Авторам»!

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc или *.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графическом редакторе Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.ai, *.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом не менее 100 слов на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Жилищное строительство», ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»[®] был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://rifsm.ru/page/7/> или журнала www.journal-hc.ru/index.php/ru/avtoram

23-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ СУХИХ
СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

**23-25 августа
2023**

BALTIMIX

МУРМАНСК  **2023**

**Сияем
МОЩНО**



КВИНТЕТ
EVENT АГЕНТСТВО

СМ и Т



baltimix.ru

X МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«ОПОРЫ И ФУНДАМЕНТЫ ДЛЯ ВЛ: ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА»

5–6
ИЮЛЯ 2023



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ОТЕЛЬ «АМБАССАДОР»

Организаторы конференции



INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ



Генеральный спонсор



При поддержке



Генеральные информационные партнеры



www.fc-union.com, info@fc-union.com, +7 (495) 66-55-014, +7 925 57-57-810

12+

