

ISSN 1681-6560

СЕЙСМОСТОЙКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ

EARTHQUAKE ENGINEERING. CONSTRUCTIONS SAFETY

05

2019

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL
www.seismic-safety.ru





Российская Ассоциация по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий

разработка и реализация
целевых, научно-технических
и образовательных программ;

разработка превентивных мер защиты
населения и территорий от природных
и техногенных воздействий, анализ и ликвидация
их последствий;

**внедрение новых технологий
в строительство** с целью обеспечения
сейсмической безопасности зданий
и сооружений;

**мониторинг
и паспортизация**
конструкций зданий
и сооружений
на территории РФ;

**участие в подготовке
и повышении
квалификации
специалистов**, связанных
с обеспечением
безопасности и надежности
зданий, сооружений
в сейсмоопасных регионах;

**организация
информационного
обеспечения**
(конференции, семинары,
круглые столы).



Многофункциональный многоквартирный жилой комплекс
по адресу: г. Сочи, Хостинский р-н, Курортный проспект 108

КОНТАКТЫ:
109428, Москва, 2-я Институтская ул., д. 6, стр. 37
тел./факс: (499) 174-70-64,
e-mail: alubis@gmail.com
www.raee.su

Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений

Earthquake engineering. Constructions safety

Редакционная коллегия

Главный редактор

Ведяков Иван Иванович, доктор технических наук, профессор
(Москва, Российская Федерация)

Заместитель главного редактора

Бубис Александр Александрович (Москва, Российская Федерация)

Ученый секретарь редколлегии

Смирнова Любовь Николаевна, кандидат технических наук
(Москва, Российская Федерация)

Алешин А.С., доктор физико-математических наук
(Москва, Российская Федерация)

Акулов Н.И., доктор геолого-минералогических наук
(Иркутск, Российская Федерация)

Белаш Т.А., доктор технических наук, профессор
(Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Бержинский Ю.А., кандидат геолого-минералогических наук,
(Иркутск, Российская Федерация)

Вознесенский Е.А., доктор геолого-минералогических наук,
профессор (Москва, Российская Федерация)

Воронцов Г.И., кандидат технических наук, профессор
(Москва, Российская Федерация)

Гусев Б.В., доктор технических наук, профессор, член-корреспондент
РАН (Москва, Российская Федерация)

Заалишвили В.Б., доктор физико-математических наук, профессор
(Владикавказ, Российская Федерация)

Захаров В.С., доктор геолого-минералогических наук, профессор
(Москва, Российская Федерация)

Ильичев В.А., доктор технических наук, профессор,
Академик РААСН (Москва, Российская Федерация)

Кривцов Ю.В., доктор технических наук, профессор
(Москва, Российская Федерация)

Лапин В.А., кандидат технических наук (Алматы, Республика
Казахстан)

Мажиев Х.Н., доктор технических наук, профессор
(Грозный, Российская Федерация)

Немчинов Ю.И., доктор технических наук, профессор
(Киев, Республика Украина)

Павленко О.В., доктор физико-математических наук,
(Москва, Российская Федерация)

Рогожин Е.А., доктор геолого-минералогических наук, профессор
(Москва, Российская Федерация)

Семенов В.А., доктор технических наук, профессор
(Москва, Российская Федерация)

Севостьянов В.В., кандидат геолого-минералогических наук
(Москва, Российская Федерация)

Ставицкер Л.Р., доктор технических наук, профессор
(Москва, Российская Федерация)

Тонких Г.П., доктор технических наук, профессор
(Москва, Российская Федерация)

Травуш В.И., доктор технических наук, профессор, академик РААСН
(Москва, Российская Федерация)

Тяпин А.Г., доктор технических наук
(Москва, Российская Федерация)

Уздин А.М., доктор технических наук, профессор
(Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Хакимов Ш.А., кандидат технических наук
(Ташкент, Республика Узбекистан)

Хачиян Э.Е., доктор технических наук, профессор,
(Ереван, Республика Армения)

Чеверев В.Г., доктор геолого-минералогических наук, профессор
(Москва, Российская Федерация)

Editorial board

Editor-in-Chief

Vedyakov I.I., DSc, Professor, (Moscow, Russian Federation)

Deputy editor-in-Chief

Bubis A.A., (Moscow, Russian Federation)

Academic Secretary

Smirnova L.N., PhD (Moscow, Russian Federation)

Akulov N.I., DSc in Geology, Professor (Irkutsk, Russian Federation)

Aleshin A.S., DSc in Mathematics and Physics, Professor (Moscow, Russian Federation)

Belash T.A., DSc, Professor, (Saint-Petersburg, Russian Federation)

Berzhinskii Yu.A., PhD in Geology, Professor (Irkutsk, Russian Federation)

Voznesenskii E.A., DSc in Geology, Professor (Moscow, Russian Federation)

Vorontsov G.I., PhD, Professor (Moscow, Russian Federation)

Gusev B.V., DSc, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

Zaalishvili V.B., DSc in Mathematics and Physics, Professor (Moscow, Russian Federation)

Zakharov V.S., DSc in Geology, Professor (Moscow, Russian Federation)

Il'ichev V.A., DSc, Professor, Academician of the Russian Academy

of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russian Federation)

Krivtsov Yu.V., DSc, Professor (Moscow, Russian Federation)

Lapin V.A., PhD (Almaty, Republik of Kazakhstan)

Mazhiev H.N., DSc, Professor (Grozny, Russian Federation)

Nemchinov Yu.I., DSc, Professor (Kiev, Ukraine)

Pavlenko O.V., DSc in Mathematics and Physics (Moscow, Russian Federation)

Rogozhin E.A., DSc in Geology, Professor (Moscow, Russian Federation)

Sevost'yanov V.V., PhD in Geology, Professor (Moscow, Russian Federation)

Semenov V.A., DSc, Professor (Moscow, Russian Federation)

Stavnitsker L.R., DSc, Professor (Moscow, Russian Federation)

Tonkih G.P., DSc, Professor (Moscow, Russian Federation)

Travush V.I., DSc, Professor, Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russian Federation)

Tyapin A.G., DSc (Moscow, Russian Federation)

Uzdin A.M., DSc, Professor. (Saint-Petersburg, Russian Federation)

Khakimov Sh., PhD (Tashkent, Republik of Uzbekistan)

Khachiyani E.E., DSc, Professor (Yerevan, Republik of Armenia)

Cheverev V.G., DSc in Geology, Professor (Moscow, Russian Federation)

Выпускающий редактор: **Починина Н.Е.**

Верстка: **Сальникова Е.А.**

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77 44553 от 14 апреля 2011 г.

Включен в утвержденный ВАК Минобрнауки России Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (**в действующем Перечне от 18.07.19 – под номером 1881**). Индексируется в РИНЦ.

Издатель:

Российская Ассоциация по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС)

Учредитель:

Воронцов Г.И., Заболоцкая Е.Н., Смирнов В.И.

При поддержке Российской Академии архитектуры и строительных наук (РААСН)

Издаётся с 1974 года.
Периодичность – 6 номеров в год.
Тираж: 500 экз.
Свободная цена.

Подписка

«Газеты и Журналы» индекс 83525
«Урал-Пресс» индекс 83525

Адрес издательства и редакции:

109428, Москва, ул. 2-я Институтская, 6, стр. 37
109428, а/я 21, г. Москва,
Тел./факс: (499) 174-75-82 (подписка)
Тел./факс: (499) 174-70-65 (редакция)
E-mail: info@raee.su,
www.seismic-safety.ru

Дата выхода в свет: 25.10.2019 г.

Формат: 210 x 297 мм

Отпечатано в ООО «РПФ «Цветной мир» г. Москва, 2-й Южнопортовый пр., д. 26А, стр. 4.
Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов.

Фотография обложки – Агентство «Reuters»
Перепечатка материалов журнала «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений» допускается только с письменного разрешения редакции.

ISSN 1681-6560

© РАСС, 2019

Правила оформления материалов на стр. 17



Уважаемый читатель!

СТОИМОСТЬ ГODOVОЙ ПОДПИСКИ НА ПЕЧАТНУЮ ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА (6 номеров)

на территории РФ —
10 800 рублей,
НДС не облагается.

на территории стран СНГ —
12 600 рублей,
НДС не облагается.

Редакционная подписка
производится с любого
месяца текущего года и на
любое количество номеров.
Журнал доставляется
бандеролью Почты России.

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ

Подписные агентства

«Информнаука»

индекс 62012

т. 787-38-73

«Урал-Пресс»

индекс 83525

т. 789-86-36

По всем вопросам
подписки, приобретения
и распространения следует
обращаться в редакцию
журнала по телефону:
(499) 174-75-82
или по e-mail:
podpiska@seismic-safety.ru
www.seismic-safety.ru

ОФОРМЛЕНИЕ ПОДПИСКИ ДЛЯ ЮРИДИЧЕСКИХ ЛИЦ

Отправьте заявку
по e-mail: podpiska@seismic-safety.ru

В заявке, составленной в произвольной форме, укажите наименование издания, подписной период, почтовый адрес для доставки, название организации, ИНН/КПП организации, юридический и фактический адрес, контактное лицо, телефон, e-mail.

ОФОРМЛЕНИЕ ПОДПИСКИ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ

Произведите оплату в любом отделении Сбербанка России,
предварительно заполнив предлагаемый купон.

Отправьте подписной купон вместе с копией платежного поручения
на e-mail: podpiska@seismic-safety.ru

Извещение

Российская Ассоциация по сейсмостойкому строительству
и защите от природных и техногенных воздействий

ИНН 7721188993, КПП 772101001

№ р/с 40703810538120000678

ПАО «Сбербанк России» г. Москва

Кор/с 3010181040000000225

БИК 044525225

Ф.И.О.

Индекс Адрес

Подписка на журнал «Сейсмостойкое строительство.
Безопасность сооружений»

на _____ номеров с _____ 201 ____ г.

Подпись плательщика

Сумма

руб. коп.

Кассир

Квитанция

Российская Ассоциация по сейсмостойкому строительству
и защите от природных и техногенных воздействий

ИНН 7721188993, КПП 772101001

№ р/с 40703810538120000678

ПАО «Сбербанк России» г. Москва

Кор/с 3010181040000000225

БИК 044525225

Ф.И.О.

Индекс Адрес

Подписка на журнал «Сейсмостойкое строительство.
Безопасность сооружений»

на _____ номеров с _____ 201 ____ г.

Подпись плательщика

Сумма

руб. коп.

Кассир

Теоретические и экспериментальные исследования

Theoretical and Experimental Studies

Тяпин А.Г.

Некоторые соображения о нормах нового поколения.
Часть I: общие положения и задание сейсмического воздействия

Часть II: определение сейсмических усилий в линейно-спектральном методе

7

Tyapin A.G.

Some Comments on the New Generation of Standards in Earthquake Engineering.

Part I: General Requirements and Seismic Input
Part II: Seismic Forces in Linear-spectral Method

**Уздин А.М., Смирнова Л.Н., Сорокина Г.В., Абакаров А.Д.,
Зайнулабидова Х.Р., Прокопович С.В.**

Статистическое моделирование сейсмических воздействий

19

**Uzdin A., Smirnova L., Sorokina G., Abakarov A.,
Zaynulabidova H., Prokopovich S.**

Statistical Modeling of the Earthquake Input

Еманов А.Ф., Бах А.А.

Развитие алгоритмов интерпретации метода стоячих волн для исследования зданий и сооружений сложных конструкций

28

Emanov A., Bakh A.

Development of Algorithms for Interpreting the Method of Standing Waves for the Study of Buildings and Structures of Complex Constructions

Харланова С.В., Харланов В.Л.

Определение эффективной длины акселерограммы на примере Маккензинского землетрясения 2018 года

36

Kharlanova S., Kharlanov V.

The Definition of the Effective Length of the Accelerogram at the MacKenzie Earthquake Example in 2018

Прокопович С.В.

Абсолютная кумулятивная скорость как показатель силы землетрясения

41

Prokopovich S.

Absolute Cumulative Velocity as a Measurement of Earthquake Strength

Абрахимов В.З.

Использование обожженного солевого алюминиевого шлака для получения высокопрочного сейсмостойкого кирпича

45

Abdrakhimov V.

The Use of Annealed Aluminum Salt Slag to Obtain a High Strength Antiseismic Brick

Лобанов А.Н.

Варианты исполнения приводов в устройстве сейсмоплатформ

51

Lobanov A.

Options of Execution of Drives in the Device of Seismo Platform

Минасян А.А., Пятикрестовский К.П.

Расчет поврежденных железобетонных плит перекрытий с учетом коррозии бетона и арматуры

55

Minasyan A., Piatikrestovskii K.

Calculation of Damaged Reinforced Concrete Plates of Covering Taking into Account the Corrosion of Concrete and Fittings

19-20 сентября, Алматы, Казахстан



Республиканская научно-практическая конференция «Строительная индустрия Казахстана в XXI веке: достижения и перспективы»

19-20 сентября 2019 г. в городе Алматы состоялась Республиканская научно-практическая конференция «Строительная индустрия Казахстана в XXI веке: достижения и перспективы», посвященная 90-летию академика Паримбетова Беркимбая Паримбетовича. Организаторы конференции – Национальная инженерная академия, ТОО «НИИСТРОМПРОЕКТ», АО «КазНИИСА», ПА «KAZGOR», Казахская головная архитектурно-строительная академия. В конференции приняли участие специалисты Республики Казахстан (АО «КазНИИСА», ТОО «НИИСТРОМПРО-

ЕКТ», ПА «KAZGOR», АО «КАЗГАСА», Казахская академия транспорта и коммуникаций, РГП «Казградкадастр», ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, КазМИРР при КарГТУ, ТОО «ИН-НОБИЛД» и др. организации), а также специалисты из-за рубежа – Российской Федерации (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, Сибирский федеральный университет), Украины (Институт геотехнической механики, ГП НИИСК), Республики Кыргызстан (МУИТ).

Было проведено 4 секционных заседания и 1 пленарное.

Секция 1 «Строительные материалы, изделия и конструкции индустриально-инновационного Казахстана» (НИИСТРОМПРОЕКТ) – 8 докладов.

Секция 2 «Подготовка, переподготовка и повышение квалификации кадров для строительной индустрии» (АО «КАЗГАСА») – 9 докладов.

Секция 3 «Безопасность строительных технологий и конструкций: достижения и перспективы строительной индустрии Казахстана (в том числе в сейсмических районах)» (АО «КазНИИСА») – 12 докладов.

Секция 4 «Проектирование зданий и сооружений с применением новых технологий: архитектурные инновации и современные решения» (ПА «KAZGOR») – 19 докладов.

Пленарное заседание конференции 20 сентября 2019 года провел Президент Национальной инженерной Академии, сенатор Парламента РК, академик Жумагулов Б.Т. На пленарном заседании было заслушано 8 докладов.

АО «КазНИИСА» организовало работу секции 3 «Безопасность строительных технологий и конструкций: достижения и перспективы строительной индустрии Казахстана (в том числе в сейсмических районах)». Остановимся кратко на работе секции.

В работе секции приняли участие 25 специалистов из Российской Федерации (гг. Новосибирск, Красноярск) и Республики Казахстан (гг. Алматы, Нур-Султан, Караганда). Специалисты Республики Украина участвовали заочно. Были заслушаны доклады по актуальным вопросам безопасности строительных конструкций при различных типах воздействия.

Доклад Беспяева А.А. был посвящен актуальному вопросу перехода нормативной базы Республики Казахстан на Еврокоды в разделе Еврокода 8. Проведен анализ старой и новой систем нормирования в части расчета на сейсмические нагрузки. Выделены проблемы, решение которых облегчит переход на новые нормативные документы.

В докладе Митасова В.М. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, г. Новосибирск, Россия), Коянкина А.А. (Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия), Дегтяревой В.А. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, г. Новосибирск, Россия) «Конструктивные особенности и перспективы развития сборно-монолитного домостроения» рассмотрены новые проблемы развития сборно-монолитных конструкций зданий. Доклад вызвал большой интерес.

Доклад Лапина В.А., Ержанова С.Е. по вопросам применения элементов сухого трения в сейсмостойком строи-

тельстве содержал оценки эффективности применения указанных конструкций применительно к региональным условиям города Алматы. Гарантировано не менее двухкратное снижение сейсмических сил на здание, оснащенное элементами сухого трения.

Доклад Тулеева Т.Д. дает предложения по расчету прочности по наклонному сечению железобетонных изгибаемых элементов без поперечного армирования по расчетным методикам СП РК EN 1992-1-1:2004/2011 и СНИП 2.03.01-84*.

Совместный доклад украинских специалистов и В.А. Лапина по вопросам виброзащиты зданий и сооружений от воздействий транспортных нагрузок (железнодорожных) вызвал значительный интерес. Здания города Алматы, расположенные вблизи вокзалов Алматы -1 и Алматы-2, ежедневно подвергаются воздействию транспортных нагрузок, что является причиной серьезных аварий. В докладе был предложен способ защиты от указанных воздействий.

Вопросам развития методов механики разрушения применительно к развитию трещин в балках был посвящен доклад Хабидолда О. (КазМИРР, Караганда).

Вопросы анализа спектральных характеристик сейсмических воздействий на здания доложены Лапиным В.А., Ержановым С.Е., Даугаветом В.П. На основе анализа данных инженерно-сейсмометрических станций предложен критерий, позволяющий оценить влияние тектонического разлома на работу зданий и сооружений, оснащенных цифровыми приборно-измерительными системами.

Проблемам огнестойкости сооружений был посвящен доклад проф. Есенберлиной Д.И.

Известный специалист в области разработки норма-

тивных документов к.т.н. Шапанов А.Т. изучил опыт Германии в области физико-механических испытаний материалов.

Научные доклады секции были изданы в виде журнала «Вестник АО «КазНИИСА» №9.

Заседание секции проходило в исключительно дружественной атмосфере. Вопросов было задано много, но весьма корректно и по существу. Выражена благодарность администрации АО «КазНИИСА», взявшей на себя нелегкий труд по организации работы секций. Помимо научных докладов были заслушаны воспоминания о жизни и деятельности академика Паримбетова Б.П.

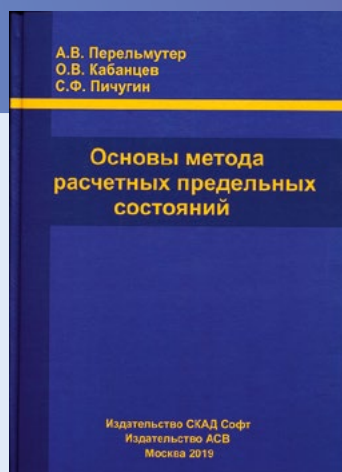
Ержанов С.Е., главный редактор журнала «Вестник АО «КазНИИСА», член-корреспондент МИА И НИИ РК
Лапин В.А., научный редактор журнала «Вестник АО «КазНИИСА», член-корреспондент МИА И НИИ РК

30 октября, Япония

В японской префектуре Окинава дотла сгорел комплекс замка-святилища Сюри, входивший в список всемирного наследия ЮНЕСКО. Экстренные службы тушили пожар более 11 часов, пламя было такой силы, что расплавились даже камни основания замка. Весь музейный комплекс из семи деревянных строений, включая и главное здание замка, выгорел полностью. Как сообщают представители местных властей, пожар вероятнее всего начался именно в главном корпусе замка, где накануне проходил фестиваль культуры государства Рюкю.

(Фотография на обложке журнала)

<https://www.mk.ru/video/2019/10/31/v-yaponii-pozhar-unichtozhil-zamok-syuri.html>



А.В. Перельмутер, О.В. Кабанцев, С.В. Пичугин ОСНОВЫ МЕТОДА ПРЕДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТНЫХ СОСТОЯНИЙ

М.: СКАД Софт, АСВ, Москва 2019

Вышло в свет учебное пособие иностранного члена РААСН, профессора, доктора технических наук Анатолия Викторовича Перельмутера, доктора технических наук Олега Васильевича Кабанцева, профессора, доктора технических наук Сергея Федоровича Пичугина «Основы метода предельных расчетных состояний».

В книге комплексно рассмотрены вопросы обоснования основных положений метода расчета строительных конструкций по предельным состояниям. Освещены история, достоинства, недостатки и компоненты метода, критерии предельных состояний. Детально рассмотрены нагрузки, действующие на конструкции, и физико-механические характеристики конструктивных материалов. Проанализирован характер работы и возможного разрушения конструкций под нагрузкой. Выполнен вероятностный анализ

надежности конструкций, намечены перспективы развития метода предельных состояний. Приводятся и сопоставляются данные из отечественных и зарубежных нормативных документов.

Книга является учебным пособием для студентов, обучающихся строительным специальностям, и рекомендуется также аспирантам, научным и инженерно-техническим работникам.

http://raasn.ru/news/show_news.php?subaction=showfull&id=1573032910&archive&template&fbclid=IwAR3jZRvX67Xhez1AhftkJDFfq60a1dgiQTL1YMnMNfTle61BVEI51q31qwQ



Редколлегия журнала «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», сотрудники Российской Ассоциации по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС), коллеги и друзья поздравляют с днем рождения профессора, доктора технических наук, заведующего кафедрой «Здания» ФГБОУ ВО ПГУПС, члена редакционной коллегии журнала «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений» Татьяну Александровну Белаш.

Уважаемая Татьяна Александровна!

Примите наши искренние пожелания крепкого здоровья, благополучия, любви родных и близких, благодарных учеников, дальнейших профессиональных успехов и открытий, долгих счастливых и плодотворных лет жизни! Сегодня Вы находитесь в прекрасной творческой форме, успешно совмещаете плодотворную исследовательскую и организаторскую деятельность, много сил и внимания отдаете научной и педагогической работе. Ученики, друзья и коллеги искренне ценят Вас за высокую профессиональную компетентность, преданность делу жизни, прекрасные человеческие качества: доброту, отзывчивость и внимательное отношение к людям.

С искренним уважением и любовью к Вам!



Редколлегия журнала «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», сотрудники Российской Ассоциации по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС), коллеги и друзья поздравляют с юбилеем известного российского ученого, директора и заведующего отделом геофизики, инженерной сейсмологии и геоинформатики Геофизического института — филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук» (ГФИ ВНК РАН), заведующего кафедрой геофизики и геоинформатики Северо-Осетинского государственного университета имени К.Л. Хетагурова (СОГУ), профессора Грозненского государственного нефтяного технологического университета имени академика М.Д. Миллионщикова (ГГНТУ), доктора физико-математических наук, профессора В.Б. Заалишвили.

Уважаемый Владислав Борисович!

Примите наши сердечные поздравления с юбилеем! В этот прекрасный день мы желаем Вам крепкого здоровья и активного долголетия, дальнейших профессиональных научных и творческих успехов, достойных учеников, верных и преданных друзей, счастья и процветания Вашей большой, замечательной семье! Всего Вам самого наилучшего!

С искренним уважением к Вам!



Тяпин А.Г.
доктор технических наук

АО «Атомэнергопроект», Москва, Российская Федерация

УДК 624.042.7

Некоторые соображения о нормах нового поколения. Часть I: общие положения и задание сейсмического воздействия

Аннотация: Автор излагает свои предложения по поводу начавшегося процесса пересмотра российских норм сейсмостойкого строительства. Даются рекомендации по организации этого процесса и некоторые общие рекомендации по формату норм нового поколения. Далее автор более подробно останавливается на вопросах задания сейсмического воздействия. Цель данного текста - не столько предлагать ответы, сколько акцентировать основные вопросы, указать «развилки», на которых авторам новых норм придется делать тот или иной выбор. Автор обрисовывает контуры

возможных решений, из которых придется выбирать. Здесь и вопрос о многоуровневом воздействии, и вопрос о формате задания воздействия сейсмологами, и вопрос об обеспеченности параметров воздействия, и вопрос о точках, где это воздействие задается. Кроме того, обсуждаются вопросы о баллах интенсивности и максимальных ускорениях, о форме нормированных спектров ответа, о композиции волнового поля (т.е. об учете невертикальности волн). В заключение автор кратко останавливается на вопросе об «опасных направлениях сейсмического воздействия».

Ключевые слова: сейсмическое воздействие, линейно-спектральный расчет, нормы проектирования, опасные направления сейсмического воздействия.

Tyapin A.G.
Doctor of Technical Science, JSC "Atomenergoproject", Moscow, Russian Federation

Some Comments on the New Generation of Standards in Earthquake Engineering. Part I: General Requirements and Seismic Input

Abstract: The author gives his comments on the already started process of the revision of Russian Standards in earthquake engineering. He submits certain recommendations on the process and some recommendations of the general format of the new

generation of Standards. Then the author in details discusses the seismic input in the Standards. The goal of the present text is not to give answers, but rather to stress main questions and to list the points where the authors of the future Standard will have to make

a certain choice between alternatives. The author describes the alternative solutions for these choices. Some of such issues follow. The multi-level seismic input; the format of the seismic input required from seismologists, the non-exceedance level for seismic input; the location of the control point where seismic input is given. Besides,

the issues of the intensity degrees and peak accelerations, the shape of the normalized response spectra, the composition of the wave field (i.e. non-vertical seismic waves) are also discussed. Finally, the authors comments on the «dangerous directions of the seismic excitation» concept.

Keywords: seismic input, linear spectral method, Standards in earthquake engineering, dangerous directions of the seismic excitation.

В рамках национального проекта «Жилье и городская среда» начат новый этап процесса нормотворчества. Автор хотел бы поделиться своими соображениями по тому, как сделать этот процесс более эффективным. В данной публикации хотелось бы затронуть общие вопросы, а также более конкретно поговорить о задании сейсмических воздействий. Вопросы расчетов на сейсмические воздействия автор надеется более подробно обсудить в следующих публикациях.

1. Общие организационные соображения.

Конечным итогом процесса должно стать создание норм сейсмостойкого строительства нового поколения. Это большая работа, и в несколько месяцев ее не уложить. Поэтому, по мнению автора, сейчас надо параллельно вести две работы. Во-первых, в кратчайший срок (месяц-два) идентифицировать и редакторским образом устранить явные «ляпы» существующего СП [1], не меняя при этом его концепцию и содержание, включая формат. Во-вторых, уже сейчас надо думать о нормах действительно нового поколения – с существенно обновленным форматом и содержанием. Это надо обсуждать. Согласен с А.М.Уздиным, что хорошей основой для такого обсуждения может служить проект 2007 г. [2], которому в свое время, к сожалению, не было уделено должного внимания. Недавно появился новый проект, который тоже может стать основой для обсуждения. Площадкой для такого обсуждения может служить Совет по сейсмостойкому строительству при РААСН, печатной площадкой – журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений».

Пригласить к участию следует всех, не разделяя на «своих» и «чужих», чтобы не повторять ошибки прошлого. Все попытки заранее исключить кого-то из обсуждения, на мой взгляд, контрпродуктивны и вредны. Это относится, прежде всего, к авторам последних редакций норм – их обязательно надо пригласить к участию в обсуждении. Многолетние «вендетты» как в среде сейсмологов, так и в среде специалистов по сейсмостойкому строительству как раз и привели к нынешней не очень веселой ситуации. Ожидая от ФАУ «ФЦЦС» железной воли в том, чтобы не позволить личным интересам участников (а эти интересы, конечно, есть) и старым счетам возобладать над интересами дела.

2. Общие соображения по структуре документа нового поколения.

2.1. Я не раз писал о том, что нормативный документ уже в момент выхода должен быть снабжен постатейными комментариями. Они даются отдельно от основного текста, но в той же нумерации разделов, что и основной текст. Комментарии пишутся авторами основного текста. Если к какому-то разделу у авторов нет комментариев, этот раздел в нумерации комментариев пропускается, так что нумерация в комментариях может идти не подряд – главное, чтобы она со-

ответствовала нумерации основного текста. Если основной текст должен быть по возможности кратким («все, что можно исключить – исключи»), то в комментариях авторы развернуто, со ссылками на литературу, должны пояснить, почему они избрали тот путь в основном тексте, который избрали. Возможны даже иллюстрирующие примеры. За образец я бы взял формат американских норм [3]. Здесь я говорю не о содержании, а именно о формате. Комментарий не должен вводить ничего нового (по сравнению с основным текстом) по существу, но должен, во-первых, обосновывать то, что написано в основном тексте, а во-вторых, – на примерах устранять возможность неправильного толкования основного текста.

2.2. Основной текст должен начинаться с толкового словаря основных терминов (гlossария). Поскольку по каждому из терминов существуют варианты толкований, которые можно обсуждать бесконечно долго, считаю нужным поставить перед этим гlossарием не задачу «как правильно», а задачу «как толкуют это термин в дальнейшем тексте авторы норм». Причины выбора и отброшенные варианты можно пояснить в комментариях к гlossарию. Конечно, совсем уж абсурдные толкования здесь не нужны, но их должно отменить публичное обсуждение. Чтобы никому не было обидно, за «нулевое приближение» для обсуждения можно взять гlossарий из американских норм [3].

2.3. Предстоит обсудить непростой вопрос о специальных отраслях строительства – например, гидротехнического или транспортного. В боях гражданских войн последних лет некоторые специалисты этих отраслей предпочли, что называется, «выгородить свою поляну» и разработать нормы «для себя», чтобы не ждать появления чего-то общего и не вмешиваться в чужую драку. Их вполне можно понять. Возможно, не стоит сразу ставить задачу объединения всех этих норм. Однако после появления вменяемого документа нового поколения для массового гражданского строительства предстоит предметно обсудить, что мешает хотя бы в общей части объединить все эти нормы (оставив специфику в подразделах единого документа). Воссоединение, по моему убеждению, должно быть добровольным.

3. Основные части документа.

Общегосударственные нормы сейсмостойкого строительства традиционно состоят из трех основных частей. Это, во-первых, вопросы определения сейсмических воздействий (включая карты общего сейсмического районирования и списки населенных пунктов). Во-вторых, это положения о расчетах сооружений на эти воздействия. Наконец, в-третьих, это требования к конструктивным решениям. Позволю себе в данном тексте высказать некоторые соображения по первой части.

3.1. Сейсмические воздействия. Сейсмология – уважаемая наука со своей логикой развития. Как мы видели в последние годы, далеко не все там очевидно. Более того, с течением времени неизбежно происходит накопление информации о землетрясениях, поэтому любые карты обречены на эволюцию со временем, на регулярное обновление – и к этому надо относиться с пониманием. Окончательных карт сейсмического районирования нет и не будет никогда.

Никто не вправе диктовать сейсмологам направления развития их науки. Но я убежден, что в деле создания норм сейсмостойкого строительства заказчиками для сейсмологов должны выступать проектировщики (расчетчики и отчасти конструкторы). Они должны внятно сформулировать, что конкретно им нужно от сейсмологов. Пример Казахстана, где это успешно сделал И.Е. Ицков, – нам наука. Какие же «развилки» мы встретим на этом пути?

3.2. Вопрос о многоуровневости расчетов. Многие смешивают этот вопрос с вопросом о числе карт (в смысле числа разных средних периодов повторяемости воздействий), но для меня это разные вопросы. Поскольку здесь часто ссылаются на опыт атомной энергетики, напомним, в чем он заключается. Смысл нескольких уровней воздействия в атомной энергетике заключается в том, что ОДНО И ТО ЖЕ СООРУЖЕНИЕ рассчитывается на разные (по интенсивности, связанной с периодом повторяемости) воздействия. На самом деле, выделяются как бы разные предельные состояния для одного и того же сооружения, после чего критерий сейсмостойкости формулируется примерно так: «Мы требуем, чтобы предельное состояние номер 1 (условно) не достигалось при воздействиях с периодом повторяемости до 100 лет (условно), а предельное состояние номер 2 не достигалось бы вплоть до интенсивности воздействия с периодом повторяемости до 10000 лет». Более конкретно: мы требуем, чтобы все, что связано с выработкой электроэнергии на АЭС, продолжало функционировать после сейсмических воздействий повторяемостью раз в 100 лет (это землетрясение называется проектным (ПЗ) или землетрясением уровня SL1). Если сейсмическое воздействие более сильное, мы готовы смириться с прекращением выработки энергии и даже с разрушением части конструкций, но все-таки требуем, чтобы конструкции, связанные с радиационной безопасностью, выполняли свои функции вплоть до интенсивности воздействия с повторяемостью раз в 10000 лет (это землетрясение называют максимальным расчетным (МРЗ) или землетрясением уровня SL2). Цифры здесь условны, но суть ясна. Сейчас добавилось требование, чтобы и за пределами МРЗ вплоть до некоторого «запроектного» уровня SL3 какие-то системы продолжали функционировать, чтобы хотя бы минимизировать последствия аварии. Но подчеркну, что речь идет о расчетах одного и того же сооружения на разные воздействия.

В гражданском строительстве распространен несколько другой подход. В нем одно сооружение обычно рассчитывается на один уровень сейсмического воздействия (т.е. расчет одноуровневый), но этот самый один уровень зависит от ответственности сооружения: более ответственное сооружение должно выдерживать более сильное воздействие (имеющее больший период повторяемости, т.е. более редкое). Поэтому существование и применение раз-

ных карт с разными периодами повторяемости не означает автоматически многоуровневости воздействия – просто мы распределяем наши сооружения по разным картам в зависимости от функций и ответственности.

Много путаницы внесло в прошлом использование терминов ПЗ и МРЗ авторами гражданских норм в совершенно другом смысле. Они, в сущности, имели в виду одно и то же землетрясение (определяемое одним периодом повторяемости), но называли ПЗ проектный спектр ответа, используемый при линейно-спектральных расчетах, а МРЗ – акселерограмму ТОГО ЖЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (воздействия с тем же периодом повторяемости), но используемую для расчетов во времени. К счастью, в редакции 2018 года [1] это несоответствие устранено. Два расчета остались от прежней редакции, но теперь воздействия для них называются РЗ и КЗ (расчетное и контрольное землетрясения). Еще более правильно было бы, по-моему, вообще говорить не о двух разных землетрясениях, а о двух расчетах – проектном и контрольном (скажем, ПР и КР). Сама по себе идея разделения проектного и контрольного расчетов вполне разумна, тем более что понятно методологическое различие между ними, которое лежит, прежде всего, в способах учета нелинейности: если в проектном расчете коэффициент K_1 относится ко всему сооружению, то в контрольном расчете нелинейность рассматривается локально, что более физично. Но эта разница, повторяюсь, относится не к воздействию, а к методам моделирования и расчета. Хорошо, что теперь в СП 2018 года, по крайней мере, нет иллюзий многоуровневого расчета.

Что делать с многоуровневостью воздействия в нормах нового поколения? Повторюсь, что вопрос о многоуровневости воздействия определяется наличием у одного и того же сооружения разных предельных состояний, по которым мы хотим выставлять разные (с точки зрения интенсивности воздействия) требования сейсмостойкости. Если наше предельное состояние одно (скажем, обрушение несущих конструкций, способное привести к гибели людей), то и воздействие должно быть одно (а вот по какой карте с каким периодом повторяемости его определять, зависит от ответственности и т.п.). Для введения же многоуровневого расчета надо четко представлять, какие еще предельные состояния мы собираемся нормировать, кроме обрушения, – это повреждения фасадов? Еще что-то? Возможно, для специальных отраслей ответы на эти вопросы различаются (многоуровневость воздействия важна там, где, подобно атомной отрасли, существует различие между сохранением функциональности и обрушением, – для мостов, скажем). В любом случае отношение к многоуровневости надо внятно прописать (хотя бы в комментариях к основному тексту) авторам будущих норм.

3.3. Вопрос о формате задания воздействий. Этот формат очевидным образом зависит от формата расчетов, в которых эти воздействия потом используются. Самый «богатый» формат – это набор трехкомпонентных акселерограмм (минимум пять по требованиям американских норм [3]). По акселерограммам легко построить любые спектры – и спектры Фурье, и спектры ответа. После этого можно применять разные методы расчета – как традиционный линейно-спектральный, так и методы расчета во времени (их

много разных). Вопрос, стоящий перед авторами норм, – собираемся ли мы для массового строительства требовать расчеты во времени? Если такие расчеты требуются только для уникальных сооружений, для них можно потребовать индивидуального научного сопровождения и вообще не описывать в нормах (или описать в самых общих чертах, чтобы дать ориентиры органам экспертизы). Если же мы собираемся требовать эти расчеты от массовых гражданских проектировщиков, надо четко их описать и дать в руки инструменты. Соответственно тогда и от сейсмологов надо требовать информацию, позволяющую получать такой набор акселерограмм. Здесь снова развилка: либо мы ждем от сейсмологов сам набор (по типу «десятки» акселерограмм ИФЗ, разработанной в советские годы), либо требуем дать информацию, достаточную для самостоятельного построения проектировщиками такого набора. В первом приближении эта информация включает спектр ответа при известном демпфировании в осцилляторах, максимальное ускорение (если оно, как иногда бывает, не видно из спектра ответа), а также длительности участков возрастания, примерного постоянства и убывания огибающей акселерограмм. Атомные строители знают, как по этим данным синтезировать любое требуемое количество акселерограмм. Гражданских строителей при необходимости можно этому научить. Вопрос в том, есть ли такая необходимость здесь и сейчас.

Вопрос о продолжительности не так тривиален, как может показаться. Расчетчики привыкли иметь дело с сейсмическими воздействиями конечной продолжительности, т.е. начинающимися и кончающимися нулевыми ускорениями, скоростями и перемещениями. Но сейсмологи знают, что на площадке постоянно фиксируются т.н. «микросейсмы». Поэтому неплохо было бы как-то договориться, как мы по реальным записям будем определять момент начала и окончания сейсмического воздействия, а также угловые точки квазиогibaющей (начало и конец участка постоянства эффективных амплитуд). Напрашивается установление какого-то относительного барьера – скажем в 1% максимальной амплитуды ускорения. Альтернативой может стать фиксация момента первого достижения какого-то порогового абсолютного ускорения. Тут свое слово должны сказать сейсмологи; нам, расчетчикам, просто важно, чтобы они понимали, с какими форматами (той же квазиогibaющей) мы работаем в дальнейшем.

Здесь же надо решить вопрос о том, считаем ли мы вертикальную компоненту акселерограммы подобной или даже равной (по спектрам ответа) горизонтальным компонентам. Если нет, то задача картирования должна быть сформулирована для горизонтальной и вертикальной компонент по отдельности.

Если от сейсмологов мы потребуем готовых акселерограмм, то, наверное, их надо приводить к единичному максимальному ускорению, а значения максимального ускорения отдельно картировать.

3.4. Еще один концептуальный вопрос о воздействии для разработчиков норм нового поколения – а где (в какой точке на площадке) мы собираемся задавать это воздействие? Сейчас воздействие задается в картах ОСР как движение поверхности площадки «на средних грунтах». Не я первый заявляю о том, что это нефизично. Причина в том, что

средние (и мягкие) грунты всегда слоистые, и при одном и том же по происхождению сейсмическом воздействию картина колебаний свободной поверхности грунта может быть совершенно разной в зависимости от грунтового профиля площадки. Нынешние критерии группировки средних и мягких грунтов смешивают в один набор совершенно разные профили. Гораздо логичнее было бы потребовать от составителей карт ОСР выдачи информации о воздействии на открытой поверхности скальных грунтов, с тем, чтобы пересчет к поверхности реальных грунтов на площадке выполнялся бы, скажем, на этапе микросейсморайонирования с учетом реальной слоистости (т.к. масштаб изменчивости грунтовых условий совсем другой, чем масштаб карт ОСР). Такую идею, в частности, неоднократно высказывала О.В.Павленко [4]. Проектировщикам нужно воздействие на поверхности, а география России такова, что большинство населенных пунктов построено не на скальных, а на осадочных грунтах разной толщины и слоистости. Идея с воздействием на скале и последующим пересчетом к поверхности физически логична, однако надо понимать, что на практике нас здесь ждут как минимум три проблемы. Первая – кто и каким инструментарием будет проводить этот пересчет от скалы к поверхности? У гражданских проектировщиков, насколько я понимаю, таких инструментов сейчас нет (у атомных проектировщиков они есть; не жалко передать, но снова требуется обучение). Естественно поручить эту работу сейсмологам, но здесь встает вопрос о ресурсах – масштаб этой работы велик. Сюда же примыкает второй вопрос – откуда возьмутся данные о грунтовых профилях на глубину до скалы, необходимые для такого пересчета? Это огромный масштаб инженерных изысканий. И, наконец, третий вопрос – что делать с т.н. «глубокими грунтовыми площадками», на которых скала находится столь глубоко, что изыскания до скалы практически невозможны?

3.5. Если мы не требуем от массовых гражданских проектировщиков перехода на расчеты во времени, и если мы готовы предоставить им информацию о воздействии на поверхности, то тогда мы остаемся на позициях используемого сейчас линейно-спектрального метода. Что это значит с точки зрения задания воздействия? Проектировщику нужен спектр ответа с демпфированием в осцилляторах, которое соответствовало бы демпфированию в сооружении (оно разное для металлических конструкций, железобетона и кирпича). Традиционно сейсмологи задают спектр с демпфированием 5% (что считается соответствующим железобетону), а отклонения в демпфировании для других материалов (в частности, для стали) при необходимости учитывают специальным коэффициентом. Точность такого подхода проблематична: отношение спектров ответа с разным демпфированием в осцилляторах должно зависеть от частоты. Постоянство по частоте такого коэффициента требует специальной проверки и справедливо только для какого-то ограниченного диапазона частот. Но пусть демпфирование зафиксировано. Что значит задать нормативный спектр ответа, который является взаимосвязанностью максимальных ускорений осциллятора от частоты? В нынешних нормах кривая спектра нормируется к единичному «хвосту» (максимальному ускорению, которое мы видим в спектре ответа на бесконечно большой ча-

стоте). Таким образом, спектр ответа распадается в произведение некоторой безразмерной кривой с единичным «хвостом» (она обозначается в гражданских нормах буквой «бета») и максимального ускорения. Это ускорение сейчас привязано к баллам и картируется фактически по картам балльности, а форма кривой «беты» в трех вариантах в зависимости от грунтовых условий фиксируется в нормах. Естественным шагом вперед являлось бы составление непрерывных карт максимальных ускорений в изолиниях, чтобы избежать ступенчатости, присущей дискретным баллам (на границах зон различной балльности ускорение сейчас «прыгает» минимум в два раза).

Эта работа, насколько я понимаю, и была проделана в Казахстане. Но достаточно ли этого для России? На мой взгляд, нет. Я не специалист в сейсмологии, но Казахстан в моем представлении достаточно однороден с точки зрения сейсмотектоники. Зоны ВОЗ (возможных очагов землетрясений) расположены на юге республики. Дробность тектонических плит примерно одинакова. Это позволяет оставить кривые «бета» едиными для всей республики и картировать только максимальное ускорение.

В России ситуация другая. Она в чем-то напоминает ситуацию в США, где центральные и восточные штаты коренным образом отличаются в сейсмотектоническом смысле от западных штатов (от той же Калифорнии, к примеру). Примерным аналогом Калифорнии у нас, насколько я представляю, выступает Кавказ – это старая зона частых землетрясений с высокой раздробленностью тектонических плит. Записи сильных землетрясений здесь длительные по времени (больше 10 с) и сравнительно низкочастотные (конечно, и длительность, и частотный состав зависят еще и от эпицентрального расстояния, но все же). А что мы видим на Камчатке, которая у нас выступает примерным аналогом восточных штатов США? Мало раздробленные тектонические плиты способны долго копить энергию деформации и выплеснуть ее мгновенно. Воздействие будет очень коротким и высокочастотным. У него будет большое максимальное ускорение. Если же мы при фиксированной балльности возьмем максимальное ускорение с Камчатки и умножим на «бету» с Кавказа, мы получим чудовищное воздействие, против которого не устоит ни одно сооружение.

О чем это говорит? О том, что территорию России в сейсмотектоническом смысле при картировании надо разделить на зоны (как минимум на две, как в США), для которых требуется не только картировать максимальные ускорения, но менять кривые «бета». Грубо говоря, если на основной собственной частоте сооружения (обычно довольно низкой) высокое максимальное ускорение с Камчатки умножить на низкое значение камчатской «беты» (а оно низкое, потому что спектральный пик «беты» ушел на Камчатке на высокие частоты), то получившееся в результате такого умножения спектральное ускорение воздействия на собственной частоте сооружения будет примерно соответствовать результатам аналогичного расчета для Кавказа. Отсюда примерное соответствие поведения сооружений (которое и приводит к назначению одной и той же балльности), несмотря на гигантские различия в максимальных ускорениях и продолжительности.

Альтернативой здесь может выступить прямое картирование спектрального ускорения по некоторым характерным точкам – не только по «хвосту» (т.е. пиковому ускорению), как сделано сейчас в Казахстане, но и по некоторым заданным спектральным частотам – скажем, 2 Гц и 10 Гц. Имея три точки (и четвертую нулевую), уже можно пробовать строить индивидуальную «бету». Конечно, для синтеза акселерограмм надо будет еще знать длительности трех участков (в первом приближении можно задать длительность одного участка, а остальные две к ней привязать, хотя такой подход требует проверки на реальных записях).

Все это вопросы сейсмологические, и я с радостью прислушаюсь к мнению сейсмологов в данном вопросе. От нас (проектировщиков) главная просьба – понять, что нам нужны именно спектры ответа, а не просто максимальные ускорения.

Кстати, здесь предстоит разобраться еще с одной особенностью нынешних норм – ограничением уменьшения «беты» при низких частотах. Физический спектр ответа должен уходить в ноль на малых частотах. Нынешние нормы ограничивают такое уменьшение. В моем понимании, дополнительный закладываемый здесь консерватизм призван отразить эффект совсем другой природы – а именно, статистическую взаимосвязанность низкочастотных реакций по разным формам [5]. Сейчас этот вопрос приобретает растущую актуальность в связи с применением сейсмоизоляторов и строительством небоскребов, имеющих очень маленькие первые собственные частоты. Но учет взаимосвязанности реакций по разным формам можно проводить совсем по-другому – на этапе суммирования этих реакций.

3.6. Баллы и максимальные ускорения. Сейчас баллы и ускорения для расчетчика связаны жестко. Любой сейсмолог охотно подтвердит, что при фиксированной балльности и фиксированных грунтовых условиях существует значительный разброс в максимальных ускорениях; в лучшем случае можно говорить о соответствии определенному баллу интенсивности целого диапазона максимальных ускорений. Однако на практике для расчетчика это признание ничего не изменит: согласно требованиям норм расчетчик ставит в соответствие определенному баллу определенное ускорение. Собственно, из-за этого и возникают проблемы на границах зон разной балльности.

Может быть, тогда отказаться вообще от баллов, заменив их картами ускорений? Расчетчику такая идея кажется разумной (мы в атомной энергетике вообще баллами не пользуемся). Как-то в беседе с И.Е. Ицковым (напомню, это главный разработчик казахских норм) я прямо спросил его, зачем было оставлять карты в баллах после появления карт в ускорениях. В ответ мудрый И.Е.Ицков напомнил мне, что баллы используются не только расчетчиками. Те действительно способны работать без них, если есть ускорения. Но, кроме расчетчиков, существуют еще и конструкторы, которые выбирают решения, оглядываясь на балльность. Существуют также службы МЧС и, в конце концов, чиновники, которым тоже нужны достаточно простые и грубые оценки интенсивности воздействия. Поэтому даже после появления карт в ускорениях карты в баллах не исчезают автоматически, и в Казахстане их оставили.

Конечно, теоретически можно переставить баллы и ускорения местами в шкале приоритетов: первичными считать карты максимальных ускорений, дальше однозначно выделить определенные диапазоны ускорений, поставив их в соответствие определенным баллам, а потом из карты ускорений уже чисто формально получить карту зон разной балльности. Не исключаю, что можно было бы попробовать применить такой подход (сначала в рамках НИР, разумеется), чтобы для разных вариантов выделения диапазонов ускорений посмотреть, как будут новые зоны балльности соотноситься со старыми зонами. Разумеется, в этом случае ускорения должны задаваться на поверхности, как сейчас.

3.7. Еще один фундаментальный вопрос, на который предстоит что-то внятно ответить авторам новых норм, состоит в отношении к обеспеченности задаваемых воздействий. Если мы продолжаем ставить балльность в приоритет, то сейчас практически используются условные вероятности: скажем обеспеченность того или иного ускорения ПРИ УСЛОВИИ, ЧТО ИНТЕНСИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ СОСТАВИЛА СТОЛЬКО-ТО БАЛЛОВ. Если представить себе, что у сейсмологов есть богатая выборка записей, разложенных по полочкам фактически установленной балльности, то от коллег-сейсмологов можно потребовать выдать соответствующее интересующей балльности максимальное ускорение. Но при этом надо будет указать его требуемую обеспеченность: либо мы хотим узнать медианное (с условной вероятностью не превышения 50%) значение, либо же значение с какой-то другой обеспеченностью (скажем, с вероятностью не превышения 84%). Иными словами, при условии, что произошло землетрясение, вызвавшее, скажем, восьмibalльное сотрясение рассматриваемой площадки, максимальное ускорение может превзойти устанавливаемый нами уровень с какой условной вероятностью? В пяти случаях из десяти (50%)? В двух случаях из десяти (20%)? От ответа на этот вопрос будет зависеть выдаваемое сейсмологами ускорение для заданной балльности. Но определяться со своими желаниями должны не сейсмологи, а их заказчики – строители; сейсмологи только выполняют их заказ. Для примера скажу, что авторы американских норм прямо ориентируются на обеспеченность конечных результатов в 80%.

Может показаться, что если мы уйдем в расчетах от баллов к максимальным ускорениям, то эта проблема исчезнет. Однако это не так. Даже если совсем забыть о баллах и просто потребовать от сейсмологов выдать, скажем, максимальное ускорение, то ответ будет зависеть от требуемой обеспеченности результата. Природа этого разброса, как писал автор в [3], эпистемическая, а не алеаторическая; иными словами, неопределенность связана с ограниченностью наших знаний (в данном конкретном случае – с конечностью объема выборок записей, по которым проводится статистическая обработка). Я мог бы привести пример работы наших иранских коллег, которые выдавали кривые сейсмичности (зависимости спектральных ускорений от периода повторяемости) с разной обеспеченностью. Разница в ускорениях при смене обеспеченности была весьма велика. Так что сейсмологи в принципе умеют выдавать результаты с разной заданной обеспеченностью – вопрос в том, что именно хотят заказчики.

Кстати, работа с обеспеченностью могла бы ответить на вопрос об учете ответственности сооружения. Ска-

жем, вместо требования о том, что более ответственное сооружение должно выдерживать воздействия с большим периодом повторяемости, чем рядом стоящее менее ответственное сооружение, можно в принципе было бы потребовать, чтобы оно выдерживало воздействие с тем же периодом повторяемости, но с большей обеспеченностью. Скажем, больница должна рассчитываться на такое же восьмibalльное воздействие, как и жилая застройка (более высокой интенсивности может и не наблюдаться исторически), но если застройка должна выдерживать, к примеру, половину возможных восьмibalльных землетрясений, то больница – 80% из этих же восьмibalльных землетрясений (все числа условные). В итоге можно было бы обойтись не применением новых карт (с другим периодом повторяемости), а применением неких повышающих коэффициентов к воздействию с одних и тех же карт. Но для этого надо попросить у сейсмологов данные о разбросе ускорений при одной и той же балльности.

3.8. Есть еще один вопрос, который касается задания воздействия. Речь идет о композиции волнового сейсмического поля. Поясню, о чем идет речь. В традиционных нормах по умолчанию полагается, что основание по глубине однородное или горизонтально-слоистое, а сейсмические волны бегут по нему вертикально (изначально снизу вверх, но в силу отражения от границ слоев и от поверхности движение волн становится двухсторонним).

Вертикальное распространение волн вовсе не означает вертикального движения частиц в этих волнах; в поперечных (сдвиговых) вертикальных волнах частицы движутся по горизонтали (обычно сдвиговые волны поляризуют в двух ортогональных вертикальных плоскостях и говорят о двух сдвиговых вертикальных волнах, отвечающих за две горизонтальные компоненты трехкомпонентного сейсмического воздействия). В продольной вертикальной волне частицы движутся по вертикали. Следствием такого допущения является положение о том, что до появления сооружения все частицы, находящиеся в одной горизонтальной плоскости (в том числе и на свободной горизонтальной поверхности), движутся при сейсмическом воздействии одинаково (как говорят, синфазно). Как дополнительное следствие, это означает отсутствие вращения (повторюсь, до появления сооружения).

Всегда ли оправдано такое допущение? Конечно, нет! Против него работают, прежде всего, нарушения горизонтальности залегания слоев грунта в основании (как частный случай – топографическая негоризонтальность поверхности основания). Кроме того, идеальную волновую картину портит наличие всякого рода включений (как природных, так и искусственных – скажем, наличие тяжелых сооружений поблизости от рассматриваемого объекта). Наконец, существует некий просто статистический разброс свойств грунта даже в одном горизонтальном слое. Все это приводит к нарушению синфазности (как говорят – «некогерентности движения основания»). Разумеется, в результате возникают качание и кручение в основании еще до появления сооружения. Некогерентность разделяют на волновую некогерентность (это когда направление распространения сейсмических волн отклоняется от вертикали, и появляются т.н. «бегущие по поверхности» волны) и на стохастическую

некогерентность (когда разброс свойств грунтов случаен, и определенного горизонтального направления у волн нет).

Почему до последнего времени традиционные нормы игнорируют эти, казалось бы, очевидные факты? Первой причиной я бы назвал сравнительно высокую видимую скорость «бегущих волн». Здесь ключевую роль играет слово «видимая». Видимая горизонтальная скорость определяет длину волн по горизонтали и интенсивность связанного с этими волнами качания и кручения. Эта скорость в зависимости от направления волны варьируется от простой (она же – фазовая скорость) скорости волны в среде (определяемой, в свою очередь, жесткостью и плотностью) до бесконечности. Скажем, в рассмотренном выше случае вертикальных волн в горизонтально-слоистой среде видимая горизонтальная скорость равна бесконечности; соответствующая длина волны по горизонтали тоже равна бесконечности, поэтому ни качания, ни кручения до появления сооружения не наблюдается. На практике видимая скорость по данным записей на массивах сейсмографов (одного сейсмографа здесь недостаточно) составляет несколько километров в секунду, значительно превышая простую скорость. Поэтому качание и кручение чаще всего невелики. Для техногенной сейсмике (скажем, от вибраций метрополитена или от близких взрывов на поверхности) результат может быть другим. Попытки подменить видимую скорость простой скоростью и заявить о наличии существенного качания и кручения, которые можно оценить по записям одного сейсмографа (а не массива рядом установленных сейсмографов), на мой взгляд, порочны в принципе. Но этот вопрос тоже может быть обсужден в рамках подготовки норм нового поколения.

Есть и другие причины. Для описания некогерентности необходимо много дополнительной информации, которая всегда в дефиците. Поэтому, скажем, в американских нормах [3] волновая некогерентность в принципе не учитывается (выделенных направлений по горизонтали нет – все направления равноправны), а стохастическая некогерентность учитывается на высоких частотах и на скальных основаниях.

3.9. Вкратце еще об одном аспекте задания воздействия. В нынешних гражданских нормах России и некоторых стран СНГ используется концепция так называемого «опасного направления сейсмического воздействия». Ее происхождение, как я понимаю, связано с простейшей и самой ранней моделью задания сейсмического воздействия в расчетах – а именно, к приложению во всех точках сооружения статических внешних сил, равных произведению узловых масс в этих точках на максимальные ускорения фундамента. Зная трехкомпонентную акселерограмму на фундаменте, можно найти модуль вектора ускорения в каждый момент времени, а затем выбрать максимальный по времени модуль ускорения. После этого можно определить модули всех узловых нагрузок (умножением этого максимального модуля ускорения на узловые массы), а направление этих нагрузок в пространстве варьировать (одновременно во всех узлах) в поисках максимальной реакции. Найденное положение нагрузок, соответствующее максимальной реакции, можно объявить «опасным направлением сейсмического воздействия». В этом случае от сейсмологов надо требовать предоставления максимального по времени модуля вектора ускорения.

Однако сейчас статические расчеты на сейсмические воздействия практически не используются – господствующим в гражданских нормах является линейно-спектральный расчет, в котором реакции и воздействия определяются отдельно по формам собственных колебаний. В этом случае «даламберовы» модальные нагрузки, на которые производится статический расчет, уже не равны инерционным «переносным» нагрузкам, определяемым движением фундамента (как это было в предыдущем случае). Автор специально исследовал этот вопрос и показал, что нынешние «направленческие» формулы дают физически обоснованный результат только в том случае, когда спектры ответа всех трех компонент одинаковы. Но для этого именно спектры одной компоненты (а не модуля вектора ускорений) должны стоять в формулах «направленческого» подхода для получения разумного результата. Подробности можно найти в статьях [6,7].

На этом автор хотел бы завершить первую часть – вопросы расчетов требуют отдельного обсуждения.

В заключение позволю себе еще один небольшой общий комментарий. Сейсмологи часто (и обоснованно) жалуются на недостаток записей, мешающий достоверно определить те или иные требуемые параметры воздействия для площадок в России. Но хочется сказать, что в нормах уже сейчас по необходимости фактически задаются эти параметры, несмотря на недостаток записей, – задаются не всегда обоснованно. Поэтому, на мой взгляд, сначала надо определиться с тем, какие параметры мы хотим иметь в принципе (представив для этого идеальную картину наличия большого числа записей и сформулировав технологию получения требуемых параметров), а уже потом думать о том, как восполнить недостаток информации (использованием литературных данных о записях в сходных условиях и пр. – здесь отдельные приемы). В этом случае новые записи будут ложиться в уже заготовленные «полочки», пополняя разумно построенную базу данных.

Подведем итоги. Автор считает, что разработчики норм сейсмостойкого строительства нового поколения должны внятно определить свою позицию по ряду вопросов. По поводу организации работ и общих требований к тексту новых норм предложения автора изложены в начале настоящего текста – повторяться не будем. В части задания сейсмического воздействия это следующие вопросы.

1. Вопрос о многоуровневости расчетов, в отличие от вопроса о необходимости карт с разными периодами повторяемости. Где реально нужна такая многоуровневость?
2. Вопрос о формате задания воздействий. Только спектры или же информация, достаточная для синтеза акселерограмм или даже сами акселерограммы от сейсмологов? Ответ связан с вопросом о том, для каких сооружений мы потребуем расчета во времени. Здесь же – как соотносятся вертикальная и горизонтальные компоненты?
3. Вопрос о месте задания воздействий – на поверхности или на скале с последующим пересчетом к поверхности?
4. Вопрос о формах нормированных спектров – они едины для всей страны или различаются для разных регионов?
5. Отношение к баллам интенсивности. Являются ли они

приоритетными при выборе спектральных ускорений, или следуют за ними (к примеру, при соотношении диапазонов максимальных ускорений на поверхности с целочисленными баллами)?

6. Требования к обеспеченности результатов, получаемых от сейсмологов.

7. Требования к информации о композиции волнового поля.

Повторюсь, что это вопросы не столько к сейсмологам, сколько к их заказчикам – проектировщикам. Но без внятных ответов на эти вопросы невозможно грамотно составить техническое задание для сейсмологов.

Литература

1. Свод правил СП 14.13330.2018. «Строительство в сейсмических районах» СНИП II-7-81*. Издание официальное. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства. 2018.
2. Айзенберг Я.М., Назаров Ю.П., Ойзерман В.И. Строительство в сейсмических районах. СНИП. Проект. М.: НИЦ «Строительство». 2007.
3. Тяпин А.Г. Современные нормативные подходы к расчету ответственных сооружений на сейсмические воздействия.

Научное издание. М.: Издательство АСВ, 2018. 518 с.

4. Павленко О.В. Практические оценки локальных эффектов землетрясений для сейсмостойкого строительства (к обсуждению СП 14.13330.2014 актуализированного СНИП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах») // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2016. № 1. С.15-28.
5. Тяпин А.Г. Линейно-спектральный расчет высотного здания на сейсмическое воздействие // Сейсмостойкое строитель-

ство. Безопасность сооружений. 2019. №1. С.20-27.

6. Тяпин А.Г. «Опасные направления сейсмического воздействия» в линейно-спектральных расчетах // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 3. С.18-25.
7. Тяпин А.Г. «Опасные направления сейсмического воздействия» и суммирование реакций по близким формам в линейно-спектральных расчетах // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 4. С. 54-59.

References

1. Svod pravil SP 14.13330.2018 «Stroitel'stvo v seismicheskikh raionakh» SNIIP II-7-81*. Izdanie ofitsial'noe. M.: Ministerstvo stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo khozyaistva. 2018. [In Russian]
2. Eizenberg J.M., Nazarov Yu.P., Ojzerman V.I. Stroitel'stvo v seismicheskikh raionakh. SNIIP. Proekt. M.: NITS «Stroitel'stvo». 2007. [In Russian]
3. Tyapin A.G. Sovremennye normativnye podkhody k raschetu otvetstvennykh sooruzhenii na seismicheskie vozdeistviia. Nauchnoe izdanie. M.: Izdatel'stvo ASV, 2018. 518 s. [In Russian]

4. Pavlenko O.V. Prakticheskie otsenki lokal'nykh ehffektov zemletryaseni dlia seismostoikogo stroitel'stva (k obsuzhdeniiu SP 14.13330.2014 aktualizirovannogo SNIIP II-7-81* «Stroitel'stvo v seismicheskikh raionakh»). Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2016, no. 1, pp. 15-28. [In Russian]
5. Tyapin A.G. Lineino-spektral'nyi raschet vyshotnogo zdaniia na seismicheskoe vozdeistvie. Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 1, pp. 20-27. [In Russian]

6. Tyapin A.G. «Opasnye napravleniia seismicheskogo vozdeistviia» v lineino-spektral'nykh raschetakh. Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 3, pp. 18-25. [In Russian]
7. Tyapin A.G. «Opasnye napravleniia seismicheskogo vozdeistviia» i summirovanie reaktzii po blizkim formam v lineino-spektral'nykh raschetakh. Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 4, pp. 54-59. [In Russian]



Anti-Seismic Systems International Society

<http://assisisociety.com/>

Rome, October 22nd, 2019

Dear ASSISI Members,

I'm glad to communicate you the members of the new Executive Committee and the new Territorial Coordinators.

The new Executive Committee is composed as follows:

Clemente Paolo, *Italy President*
Benzoni Gianmario, *USA Past President and appointed Treasurer*
Bubis Alexander, *Russia, 16WCSI organizer*
Aiken Ian, *USA elected*
Whittaker David, *New Zealand elected*
Takayama Mineo, *Japan elected*
Ponzo Felice Carlo, *Italy elected*
Sadan Bahadir, *Turkey elected*
Taiki Saito, *Japan Vice President*
Zhou Ying, *China Vice President*
Cimellaro Gian Paolo, *Italy Appointed General Secretary*

The new Territorial Coordinators are:

Tan Ping, *China, Asia*
Black Cameron, *USA, USA and Canada*
Boroshek Ruben, *Chile, Central and South America*
Whittaker David, *New Zealand, Oceania*
Bubis Alexander, *Russia, Eastern Europe Countries (not EU)*
Dall'Asta Andrea, *Italy, EU and other Western Europe Countries*

Yours sincerely Paolo Clemente

Тяпин А.Г.

доктор технических наук, АО «Атомэнергопроект», Москва, Российская Федерация

Некоторые соображения о нормах нового поколения. Часть II: определение сейсмических усилий в линейно-спектральном методе

Аннотация: Автор излагает свои предложения по поводу начавшегося процесса пересмотра российских норм сейсмостойкого строительства. Даются рекомендации по изменению описания линейно-спектрального расчета. Основной текст сопровождается постатейными комментариями. Автор предлагает следующие новшества. Вводятся матричные соотношения, соответствующие современному уровню расчетов. Матрица масс записывается в общем виде, а не в диагональном, как это было в прошлой редакции норм. Вводится концепция остаточной формы как альтернатива набору 95% полной массы с помощью модальных масс. Воздействие задается как трехкомпонентное без использования нефизичной концепции «опасного направления

сейсмического воздействия». В явном виде поясняется смысл используемых коэффициентов: нормированного спектра, измененного демпфирования и ответственности. Коэффициент нелинейной работы задается не для всего сооружения, а для отдельных конструкций. При суммировании реакций по отдельным формам учтена коррелированность низкочастотных реакций. При выполнении предложенных условий линейно-спектральный расчет должен давать результаты, схожие с результатами расчета на трехкомпонентную акселерограмму (при условии, если спектры ответа компонент заданы в линейно-спектральном расчете в качестве воздействия). В то же время соблюдается определенная преемственность по сравнению с прежней редакцией норм.

Ключевые слова: сейсмическое воздействие, линейно-спектральный расчет, нормы проектирования.

Туарин А.Г.

Doctor of Technical Science, JSC "Atomenergoprojekt", Moscow, Russian Federation

Some Comments on the New Generation of Standards in Earthquake Engineering. Part II: Seismic Forces in Linear-spectral Method

Abstract: The author gives his comments on the already started process of the revision of Russian Standards in earthquake engineering. He submits certain recommendations on the description of the linear-spectral analysis. Principal text is accompanied by the Comments. The author suggests the following changes. Matrix equations are introduced, as matrix calculations correspond to the current level of analysis. Mass matrix is populated (and not diagonal, as previously used). Residual mode is introduced as an alternative to the achievement of 95% total mass by the accumulation of modal masses. Seismic excitation is three-component without non-physical

"dangerous directions" concept. Normalized spectra, responsibility coefficient, modified damping coefficient are explained explicitly. Coefficient of non-linear response is applied to certain parts, and not to the whole structure. In the combination of modal responses the inter-correlation of the low-frequency modal responses is explicitly accounted for. If the suggested terms are fulfilled, the linear-spectral analysis should give the results like the time-domain analysis (provided response spectra are calculated from the actual components used in the time domain analysis). At the same time there is a certain smooth transition from the previous codes.

Keywords: seismic input, linear spectral method, standards in earthquake engineering.

Автор хотел бы продолжить обсуждение возможных изменений в нормах нового поколения. В первой части статьи обсуждался вопрос о задании сейсмических воздействий. В части второй хотелось бы затронуть вопросы расчетов на сейсмические воздействия. Предлагается изложить пункт о расчете сейсмических усилий следующим образом (нумерация разделов и формул соответствует отдельно взятой данной публикации).

Сейсмические усилия в линейно-спектральном расчете определяются в следующем порядке.

1. Проводится модальный анализ модели сооружения на защемленном фундаменте без демпфирования. По результатам этого анализа определяются круговые собственные частоты Ω_j , соответствующие им периоды собственных колебаний $T_j=2\pi/\Omega_j$ и формы ψ_j (j – номер формы). Перемещения в форме j в различных узлах и по различным степеням свободы записываются в один столбец ψ_j в соответствии с глобальной нумерацией степеней свободы системы. При модальном расчете удерживаются все формы, собственные частоты

которых меньше пороговой частоты $\Omega_{пор}$. Эта частота определяется одним из двух способов. Первый подход заключается в том, что пороговая частота определяется по накопленной в удерживаемых формах модальной массе по трем поступательным направлениям (см. п.3 ниже). Второй подход (с применением т.н. «остаточной формы») заключается в том, что пороговая частота определяется как максимальная частота, на которой спектральное ускорение воздействия с демпфированием в осцилляторах 5% превышает максимальное ускорение воздействия на 5%. Если спектры воздействия по разным направлениям разные, из трех пороговых частот выбирается наибольшая.

2. Полученные формы нормируются по массе. Для этого для каждой формы j сначала вычисляется коэффициент

$$p_j = \psi_j^T M \psi_j \quad (1)$$

Здесь M – матрица инерции системы, T – знак транспонирования матрицы. Затем вычисляется форма, нормированная по массе:

$$\varphi_j = \psi_j / p_j^{0.5} \quad (2)$$

В формуле (2) φ_j и ψ_j – столбцы, p_j – число, определенное по формуле (1).

3. Определяются коэффициенты участия каждой формы j по трем поступательным направлениям k :

$$q_{jk} = \varphi_j^T M r_k \quad (3)$$

Здесь r_k – столбец жестких квазистатических перемещений системы при единичном квазистатическом поступательном смещении фундамента по степени свободы номер k . Вычисляется квадрат коэффициента участия формы j по направлению k ; он называется модальной массой m_{jk} формы j по направлению k :

$$m_{jk} = q_{jk}^2 \quad (4)$$

Отношение суммы модальных масс по удерживаемым собственным формам в направлении k к полной массе системы за вычетом массы, жестко связанной с неподвижным фундаментом, может использоваться для определения пороговой частоты $\Omega_{пор}$ (см. п.1). Для этого такие отношения по всем трем поступательным направлениям ($k=1,2,3$) должны быть не менее 0,95.

В качестве альтернативы, если пороговая частота определяется по спектрам ответа воздействия, набор собственных форм должен быть дополнен по каждому направлению k одной т.н. «остаточной» формой, перемещения в которой определяются по формуле

$$\Phi_k = r_k - \sum_{j=1}^n q_{jk} \varphi_j \quad (5)$$

Здесь n – количество форм с собственными частотами, меньшими $\Omega_{пор}$. Этой «остаточной» форме условно ставится в соответствие «собственная» частота $\Omega_{пор}$ и коэффициент участия, равный единице.

4. Определяется максимальное модальное ускорение для каждой формы j по формуле

$$\ddot{Y}_{jk} = S_{ak}(T_j) |q_{jk}| \quad (6)$$

Здесь $S_{ak}(T_j)$ – спектральное ускорение, соответствующее периоду T_j и демпфированию в осцилляторах, равному композитному демпфированию по форме j , для компоненты воздействия k ($k=1,2,3$).

Значение композитного демпфирования для формы j определяется усреднением демпфирования в элементах с весами, равными потенциальной энергии упругой деформации элементов в данной форме:

$$\lambda_j = \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \varphi_{ji}^T K_i \varphi_{ji} \right) / \left(\sum_{i=1}^n \varphi_{ji}^T K_i \varphi_{ji} \right) \quad (7)$$

Здесь i – номер элемента конструкции из однородного материала, n – общее число таких элементов в системе, λ_i – коэффициент демпфирования для элемента i , зависящий от его материала и интенсивности воздействия; φ_{ji} – столбец узловых перемещений элемента i в форме j , K_i – матрица жесткости элемента i .

При отсутствии данных допускается задавать спектральные ускорения по формулам ($k=1,2$ – горизонтальные оси; $k=3$ – вертикальная ось)

$$S_{a1}(T) = S_{a2}(T) = S_a(T); S_{a3}(T) = \frac{2}{3} S_a(T); S_a(T) = A_{max} \beta(T) K_\psi \quad (8)$$

Здесь A_{max} – максимальное по модулю ускорение горизонтальной компоненты воздействия на поверхности выбранной площадки, определяемое в зависимости от баллов интенсивности; $\beta(T)$ – нормированный к единичному максимальному ускорению безразмерный спектр ответа горизонтальной компоненты воздействия, соответствующий грунтовым условиям площадки и демпфированию в осцилляторах 5%; K_ψ – коэффициент пересчета спектра ответа от демпфирования в осцилляторах 5% к композитному демпфированию, соответствующему форме j . Функция $\beta(T)$ определяется согласно требованиям п.9 ниже, коэффициент K_ψ – согласно требованиям п.10 ниже.

5. Определяются инерционные узловые нагрузки, соответствующие форме номер j и направлению воздействия k :

$$Q_{jk} = K_0 M \varphi_j \ddot{Y}_{jk} \quad (9)$$

Здесь M – матрица масс, φ_j – столбец перемещений в нормированной по массе форме или «остаточной» форме, максимальное модальное ускорение определяется по формуле (6), K_0 – коэффициент ответственности сооружения, определяемый согласно требованиям п.11 ниже.

6. Проводится статический расчет системы на нагрузки, определяемые формулой (9). В результате определяются максимальные по модулю модальные усилия N_{jk} по форме j в элементах конструкции при воздействии в направлении k .

7. Результирующее усилие N_k в выбранном элементе конструкции при воздействии в направлении k определяется суммированием модальных усилий N_{jk} по правилу полной квадратичной формы:

$$N_k = K_1 \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \varepsilon_{ij} N_{ik} N_{jk} \right]^{0,5} \quad (10)$$

Здесь K_1 – коэффициент нелинейной работы данного элемента конструкции, определяемый согласно требованиям п.11 ниже; ε_{ij} – коэффициент корреляции между реакциями по формам i и j . Он равен единице при $i=j$, а также если разница между частотами i и j не превышает 10% от меньшей частоты или если хотя бы одна из двух частот меньше 0,3 Гц. В остальных случаях этот коэффициент допускается принимать равным нулю. В формуле (10) при использовании остаточной формы суммирование следует проводить не до n , а до $(n+1)$. 8. Результирующее усилие N при трехкомпонентном воздействии определяется по результирующим усилиям N_k в отдельных направлениях по правилу ККСК (корень квадратный из суммы квадратов):

$$N = \left[\sum_{k=1}^3 N_k^2 \right]^{0,5} \quad (11)$$

9. Коэффициент $\beta(T)$ определяется (Можно в первом приближении оставить, как есть, кроме урезания снизу при малых частотах)

10. Коэффициент K_ψ определяется _____. (Можно в первом приближении оставить, как есть)

11. Коэффициент K_0 определяется _____. (Можно в первом приближении оставить, как есть)

12. Коэффициент K_1 определяется _____. (Можно в первом приближении оставить, как есть)

В комментариях к этим пунктам предлагается написать следующее.

C1. Модальный анализ системы на защемленном фундаменте выполняется для ограниченного количества собственных частот и форм. Применение традиционного модального подхода подразумевает отбрасывание остальных форм. Отметим, что частотный состав воздействия на пороговую частоту в этом случае не влияет. Применение модального подхода с остаточной формой часто позволяет существенно снизить пороговую частоту и тем самым сократить число рассматриваемых форм для сравнительно низкочастотного воздействия. В этом случае остальные формы не отбрасываются полностью, а как бы суммируются вместе со своими коэффициентами участия в общую «остаточную» форму. Реакция по этой форме «квазистатическая», т.е. соответствующее модальное ускорение практически равно ускорению воздействия с небольшим повышающим коэффициентом.

C2. В результате такой нормировки по массе для нормированных форм φ_j выполняется соотношение

$$\varphi_j^T M \varphi_k = \delta_{jk} \quad (C1)$$

Здесь δ_{jk} – т.н. символ Кронекера, равный 1 при $j=k$ и равный 0 в остальных случаях. Кроме того, для нормированных по массе форм выполняется соотношение

$$\varphi_j^T K \varphi_k = \delta_{jk} \Omega_j^2 \quad (C2)$$

Здесь K – матрица жесткости системы. В большинстве

программ нормировку форм по массе можно заказать при входе в модальный анализ.

C3. В большинстве программ вычисление коэффициентов участия и модальных масс с накоплением можно заказать при входе в модальный анализ. Остаточная форма, определяемая формулой (5), различается для разных направлений воздействия. Поэтому для вычисления реакции по разным направлениям набор из n собственных форм, одинаковых для трех направлений воздействия, дополняется остаточной формой, различающейся для трех направлений воздействия.

C4. Значение композитного демпфирования для однородных по материалу конструкций (например, стальных или железобетонных) равно значению демпфирования для соответствующего материала и соответствующей интенсивности воздействия. Для не однородных по материалу сооружений значение композитного демпфирования во многих программах вычисляется по формуле (7) автоматически и выдается вместе с собственными частотами по результатам модального анализа.

Если данных о воздействии на поверхности выбранной площадки не хватает для определения спектральных ускорений, допускается использование формулы (8). Коэффициент 2/3 при спектрах вертикальных ускорений относится к площадкам, удаленным от очагов. В эпицентральных зонах (ближе 15 км от очага) следует принимать этот коэффициент равным единице, но предпочтительнее использовать спектры, специально рассчитанные для данной площадки (такие спектры обычно имеют другую форму, чем спектры горизонтальных ускорений). При использовании формулы (8) максимальное ускорение A_{max} следует принимать по действующей шкале интенсивности. Коэффициент пересчета от демпфирования 5% к другому демпфированию в осцилляторах K_ψ , вообще говоря, зависит от частоты (при больших частотах он стремится к единице). Однако допускается принимать его приближенно в зависимости только от материала в соответствии с п.10.

C5. Смысл коэффициента K_0 состоит в повышенных требованиях к обеспеченности (вероятности не превышения) принимаемого уровня ускорений воздействия для сооружений повышенной ответственности при сохранении среднего периода повторяемости этих воздействий.

C6. Усилия N_{jk} имеют для всех форм j и направлений воздействия k одинаковый физический смысл (например, это продольные усилия в колонне). При наличии нескольких разных по физическому смыслу усилий в одной конструкции (например, продольной силы и изгибающих моментов) в качестве N_{jk} может выступать комбинация этих усилий (например, напряжение в углу сечения, определяемое продольной силой и двумя изгибающими моментами).

C7. Смысл коэффициента K_1 состоит в приближенном учете нелинейной работы рассматриваемой конструкции. Смысл коэффициентов ε_{jk} в формуле (10) заключается в учете разновременности достижения максимумов усилий в реакции по разным формам. Отсутствие корреляции характеризуется нулевым значением этого коэффициента; в этом случае суммирование (10) превращается в суммирование по правилу ККСК (корня ква-

дратного из суммы квадратов). Полная корреляция характеризуется единичным значением коэффициента; в этом случае суммирование (10) превращается в прямое суммирование модулей. Отметим, что учет корреляции повышает значения результирующих усилий по сравнению с суммированием по правилу ККСК. Допускается использовать для определения коэффициентов ϵ_{jk} более сложные зависимости (например, правило Гупты).

С8. Суммирование максимальных реакций на воздействия по трем направлениям проводится по правилу ККСК, т.к. принимается, что эти реакции статистически независимы.

С9. Выражение для нормированного к единичному ускорению спектра оставлено, как было в предыдущих редакциях норм, для сохранения преемственности, за исключением урезания снизу при малых частотах – этот фактор учтен иным образом при суммировании реакций (см. п.7).

С10. Выражение для коэффициента оставлено, как было в предыдущих редакциях норм, для сохранения преемственности.

С11. Выражение для коэффициента оставлено, как было в предыдущих редакциях норм, для сохранения преемственности.

С12. Выражение для коэффициента оставлено, как было в предыдущих редакциях норм, для сохранения преемственности.

Несложно показать [1], что в случае диагональной матрицы масс и использования формулы (8) с единичным коэффициентом при спектре вертикальных ускорений

полученный результат для отдельно взятой формы будет в точности соответствовать результату использования прежней редакции норм [2] (после выбора «опасного направления сейсмического воздействия»).

Как проверить состоятельность предложенных положений? Автор предлагает сделать это на примере модального расчета сооружения с однородным демпфированием на трехкомпонентную акселерограмму. Максимальные усилия будут, с одной стороны, вычислены во времени, а с другой стороны – вычислены линейно-спектральным методом согласно изложенным выше требованиям пп.1–12. Формулу (6) будем использовать без формулы (8): непосредственно вычислим спектры по компонентам акселерограммы. Значение коэффициента K_{ψ} нам не нужно, поскольку формула (6) не используется (зададим демпфирование в сооружении и спектры ответа вычислим для того же значения демпфирования); значения коэффициентов K_0, K_1 примем равными единице. Тогда модальные усилия N_{jk} будут вычислены в линейно-спектральном методе точно (т.е. они будут соответствовать максимальным модальным усилиям при расчете во времени). Единственным источником различий между расчетом во времени и линейно-спектральным расчетом останется статистическая погрешность при использовании формул (10,11) для суммирования реакций по отдельным формам.

Разумеется, расчет с использованием формулы (8) вместо точных спектров приведет к дополнительным различиям именно в силу разницы в спектрах.

Автор рассматривает предложенный текст как первое приближение, которое, однако, может служить основой для дальнейшего обсуждения.

Литература

1. Тяпин А.Г. «Опасные направления сейсмического воздействия» в линейно-спектральных расчетах // Сейсмостойкое строи-

тельство. Безопасность сооружений. 2019. № 3. С.18-25.

2. Свод правил СП 14.13330.2018. «Строительство в сейсмических районах» СНИП

II-7-81*. Издание официальное. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства. 2018.

References

1. Tyapin A.G. «Opasnye napravleniia seismicheskogo vozdeistviya» v lineino-spektral'nykh raschetakh. Seismostoikoe

stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 3, pp.18-25. [In Russian]

2. Svod pravil SP 14.13330.2018. «Stroitel'stvo

v seismicheskikh raionakh» SNIIP II-7-81*. Izdanie ofitsial'noe. M.: Ministerstvo stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo khozyaistva. 2018.

Для цитирования: Тяпин А.Г. Некоторые соображения о нормах нового поколения. Часть I: общие положения и задание сейсмического воздействия. Часть II: определение сейсмических усилий в линейно-спектральном методе // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 5. С. 7-18.

For citation: Tyapin A.G. Some Comments on the New Generation of Standards in Earthquake Engineering. Part I: General Requirements and Seismic Input. Part II: Seismic Forces in Linear-spectral Method. Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 5, pp. 7-18. (In Russian).



Уздин А.М.

**доктор технических наук, профессор кафедры «Механика и прочность материалов и конструкций»
ФГБОУ ВО Петербургский государственный университет путей сообщения им. Александра I,
Санкт-Петербург, Российская Федерация**

Смирнова Л.Н.

**кандидат технических наук, ученый секретарь АО «НИЦ «Строительство», Москва, Российская
Федерация**

Сорокина Г.В.

**кандидат технических наук, доцент кафедры «Механика и прочность материалов и конструкций»
ФГБОУ ВО Петербургский Государственный Университет Путей Сообщения им. Александра I,
Санкт-Петербург, Российская Федерация**

Абакаров А.Д.

**доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Архитектура», ФГБОУ ВО «Дагестанский
государственный технический университет», Махачкала, Российская Федерация**

Зайнулабидова Х.Р.

**кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический
университет», Махачкала, Российская Федерация**

Прокопович С.В.

**аспирант кафедры «Механика и прочность материалов и конструкций»
ФГБОУ ВО Петербургский Государственный Университет Путей Сообщения им. Александра I,
Санкт-Петербург, Российская Федерация**

УДК 624.042.7

Статистическое моделирование сейсмических воздействий

Аннотация: Основная проблема статистического моделирования сейсмических колебаний – корректное задание исходных акселерограмм. Анализ известных моделей сейсмического воздействия показал ошибочность их использования для анализа сейсмоизолированных систем. Данные статистические модели позволяют получить только достоверные ускорения или только достоверные смещения. Однако и усложненные модельные воздействия не вполне соответствуют реальным землетрясениям. Энергетиче-

ские характеристики вовсе не рассматривались в задачах статистического моделирования акселерограмм. Рассмотрена новая модель сейсмического воздействия, включающая в себя случайный импульс. В систему добавлено три параметра: магнитуда M_w , эпицентральное расстояние R и момент включения импульса. Варьирование этих параметров в заданных пределах позволяет регулировать дополнительные характеристики воздействия. Приведен пример предлагаемого процесса.

Ключевые слова: автокорреляционная функция, акселерограмма, интенсивность по Ариасу, модель воздействия, сейсмограмма, сейсмоизоляция, случайный импульс, спектр ускорений, спектральная плотность, статистическое моделирование.

Uzdin A., doctor of technical Sciences, Professor, Department «Strength of materials and structures», Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russian Federation

Smirnova L., candidate of technical sciences, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

Sorokina G., candidate of technical sciences, Associate professor, Department «Strength of materials and structures», Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russian Federation

Abakarov A., doctor of technical Sciences, Professor, Department of Architecture, FGBOU Dagestan State Technical University, Makhachkala, Russian Federation

Zaynulabidova H., candidate of technical sciences, Associate professor, Dagestan State Technical University, Makhachkala, Russian Federation

Prokopovich S., postgraduate, Department «Strength of materials and structures», Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russian Federation

Statistical Modeling of the Earthquake Input

Abstract: The main problem of modeling statistical seismic vibrations is correct input accelerogram setting. The analysis of the known seismic input models showed the erroneous use of them in analyzing seismically isolated systems. These statistical models allow one to obtain either reliable accelerations or reliable displacements. However, complicated input models do not quite correspond to real earthquakes. Energy characteristics were

not considered at all in the problems of accelerogram statistical modeling. A new model of seismic input, including a random pulse, has been considered. Three parameters have been added to the input model: the magnitude M_w , the epicentral distance R , and the moment when the pulse appears. Varying these parameters within the set limits allows one to adjust additional input characteristics. An example of the proposed process is given.

Keywords: statistical modeling, seismic isolation, accelerogram, seismogram, random pulse, input model, spectral density, autocorrelation function, Arias intensity, acceleration spectrum.

Введение

Развитие вычислительной техники делает все более доступным статистическое моделирование сейсмических колебаний строительных конструкций. Основная проблема при этом – корректное задание входного процесса, т.е. задание исходных акселерограмм. Одним из направлений статистического моделирования воздействия, предложенного в бывшем СССР академиком В.В. Болотиным [1], является представление расчетной акселерограммы в виде произведения некоторой огибающей $A(t)$ на стационарный случайный процесс $\Psi(t)$

$$\ddot{y}_o(t) = A(t) \cdot \Psi(t). \quad (1)$$

В [1] было принято $A(t) = A_{act} \cdot e^{-at}$, в качестве $\Psi(t)$ выступал стационарный случайный процесс с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией. В дальнейшем работы В.В. Болотина были развиты М.П. Салгаником [2] и, в особенности, Я.М. Айзенбергом [3] и его учениками [4].

Для характеристики процесса задавалась его автокорреляционная функция или соответствующая спектральная плотность. Обычно случайный процесс принимался в виде отрезка белого шума или процесса с одной преобладающей частотой. В [5] приведено 5 примеров таких процессов. Отмечается 2 недостатка этих процессов. Во-первых, реальные акселерограммы поличастотны. На это обстоятельство обратил внимание еще в 1987 г. Б.А. Лапин [6]. Как отмечено в [5], этот недостаток расчетной модели дает результаты в запас прочности. Но кроме указанного недостатка имеется еще один более существенный недостаток, отмеченный в [5] и исключая

ющий возможность применения таких моделей к расчету систем сейсмоизоляции. Рассматриваемые процессы позволяют получить только достоверные ускорения или только достоверные смещения. Достаточно общий вид автокорреляционной функции для моделирования процесса имеет вид

$$K(\tau) = Qe^{-a\tau} \left(\cos \beta\tau + \frac{a}{\beta} \sin \beta\tau \right). \quad (2)$$

В соответствии с определением автокорреляционной функции процесса $K(0)$ представляет собой дисперсию случайной функции, т.е. квадрат ее среднего пикового значения. Если относить формулу (2) к смещениям, то $Q = U_{calc}^2$, а если относить ее к ускорениям, $Q = A_{calc}^2$. Величина β является доминантной частотой модельного воздействия, a – показатель узкополосности модельного воздействия.

С другой стороны,

$$K_y(\tau) = \frac{d^4 K_y(\tau)}{dt^4}. \quad (3)$$

В этом случае

$$K_{\ddot{y}}(\tau) = K_y(\tau) \cdot (\alpha^2 + \beta^2)^2. \quad (4)$$

Из (4) следует, что в модельном процессе $A_{calc} = U_{calc} \cdot (\alpha^2 + \beta^2)$. Если, например, принять $\beta = 10 \text{ c}^{-1}$, и $a = 2 \text{ c}^{-1}$, то $U_{calc} \approx 0.01 \cdot A_{calc}$, и средние пиковые ускорения равными 4 м/с^2 , то средние пиковые смещения составят всего 4 см, что никак не соответствует реальным 9-балльным воздействиям и не позволяет проводить кинематические расчеты сейсмоизолированных сооружений.

В [5,7] предложен случайный процесс, автокорреляционная функция которого равна сумме двух функций вида (2) с 6 неопределенными параметрами, два из которых β_1 и β_2 определяют доминантные частоты на акселерограмме и сейсмограмме. Оставшиеся 4 параметра позволяют обеспечить заданные средние пиковые значения ускорения, скорости и смещения.

Однако и усложненные модельные воздействия не вполне соответствуют реальным землетрясениям. Записи реальных акселерограмм характеризуются тремя группами параметров: кинематическими, спектральными и энергетическими. Анализ этих параметров дан в [8]. Их уточнение выполнено на объединенной базе акселерограмм российских и китайских специалистов [9].

К числу кинематических параметров кроме пиковых ускорений скоростей и смещений относятся остаточные смещения и коэффициент гармоничности κ

$$\kappa = \frac{\ddot{y}_0^{(\max)} \cdot y_0^{(\max)}}{(\dot{y}_0^{(\max)})^2} \quad (5)$$

В модели [5,7] показатель κ не обеспечивается, а остаточное смещение отсутствует.

Спектральные характеристики обеспечиваются в модели [5,7] заданием двух доминантных частот.

К энергетическим характеристикам относятся:

– интенсивность по Ариасу [10]

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^T \ddot{y}_0^2 dt, \quad (6)$$

– абсолютная кумулятивная скорость CAV [11]

$$CAV = \int_0^T |\dot{y}_0| dt, \quad (7)$$

– плотность сейсмической энергии SED (seismic energy density) [12]

$$SED = \int_0^T \dot{y}_0^2 dt \quad (8)$$

Энергетические характеристики вовсе не рассматривались в задачах статистического моделирования акселерограмм.

В силу сказанного существующие методы генерации, обеспечивая частично кинематические и спектральные характеристики воздействия, не рассматривают другие характеристики, которые получаются случайными и не соответствуют реальным акселерограммам. В качестве примера рассмотрим два воздействия.

Основная часть

Первое воздействие сгенерировано по методике [13, 14]. При этом расчётная модель представлена в виде множества нестационарных гауссовских мультипликативных процессов. Каждый элемент этого множества находится в области частот $\omega_{min} \leq \omega_j \leq \omega_{max}$

$$\Phi(t, \bar{\omega}_j) = A(t, \bar{\omega}_j) \cdot \varphi(t, \omega_j), \quad (9)$$

где $A(t, \omega_j)$ – огибающая функция, задаваемая при фиксированных значениях ω_j в виде импульса Берлага и нормированная так, что $|A_{max}|=1$;

$$A(t, \bar{\omega}_j) = A_j \cdot t \cdot e^{-\alpha_j t}, \quad (10)$$

$\varphi(t, \omega_j)$ – нормируемый (единичный) стационарный гауссовский процесс, характеризуемый косинус-экспоненциальной корреляционной функцией вида:

$$\begin{aligned} K(\tau) &= e^{-\alpha_j |\tau|} \cdot \cos \omega_j \cdot \tau \\ \varphi(t, \omega_j) &= \sigma_j^2 \cdot \bar{\varphi}(t, \omega_j), \end{aligned} \quad (11)$$

где σ_j^2 – дисперсия процесса;

$\bar{\omega}_j$ – преобладающая частота сейсмических колебаний грунтов, приближённо равная доминантной частоте j -го процесса;

α_j – параметр, характеризующий быстроту убывания корреляционной связи между ординатами случайного процесса при увеличении разности аргументов этих ординат τ .

ε_j – параметр, определяющий форму временной огибающей генерируемого воздействия.

Рассматриваемая модель учитывает четыре параметра $\omega_j, \varepsilon_j, \alpha_j$ и σ_j . Однако параметры ε_j, α_j и σ_j – коррелированы с параметром ω . В частности, $\alpha_j = f(\omega_j) = 0,5 \cdot \omega_j$; $\varepsilon_j = 0,05 \cdot \omega_j$.

Интенсивность сейсмических колебаний определяется с использованием параметра $\sigma_j(\omega)$.

Второе воздействие сгенерировано по методике [7], которая позволяет задать процесс с двумя преобладающими частотами. При этом автокорреляционная функция входного процесса представлена в виде суммы двух составляющих:

$$K_y(\tau) = \sum_{i=0}^1 U_{0i}^2 e^{-\alpha_i \tau} (\cos \beta_i \tau + \frac{\alpha_i}{\beta_i} \sin \beta_i \tau) \quad (12)$$

где U_i, β_i, α_i ($i=0, 1$) – параметры автокорреляционной функции.

Представленная модель сейсмического воздействия имеет две преобладающие частоты, определяемые значениями параметров β_i . Первый максимум на графике спектральной плотности соответствует преобладающему периоду на сейсмограмме, второй максимум – на акселерограмме. Таким образом, воздействие позволяет одновременно получить фактические средние значения ускорения и смещения.

Ниже приведены результаты сравнения двух полученных процессов. Для этого они приведены к одному значению PGA. У них также совпадают преобладающие частоты (периоды). В примере преобладающий период $T=0.3$ с. Дополнительно во втором воздействии задан второй преобладающий период $T_2=1.5$ с.

На рис.1 приведены хронограммы сгенерированных воздействий. Они не вызывают вопросов и, представляется, вполне могут быть использованы для расчета. Однако, они сильно различаются по коэффициенту гармоничности, который для первого воздействия превышает 20, а для второго составляет всего 3. Это делает первое воздействие потенциально более опасным.

На рис. 2 приведен набор значений характеристик сгенерированных сейсмических воздействий. Здесь уже видно их существенное различие. Интенсивность по Ариасу отличается у них в 2 раза. Для сравнения на рис. 4 приведены статистические данные о величине интенсивности по Ариасу по данным [10]. Приведенные данные указывают на то, что интенсивность по Ариасу для второго процесса заметно превышает среднестатистическую, а для первого наоборот.

По спектру ускорений первый процесс выглядит замет-

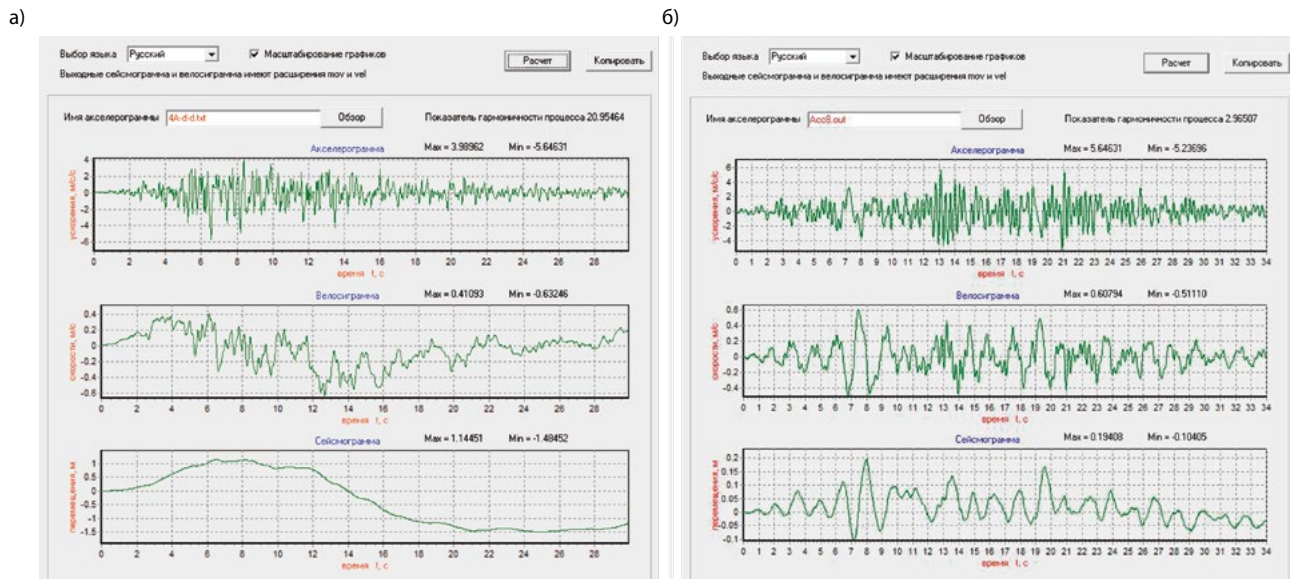


Рисунок 1 — Хронограммы сгенерированных воздействий (а – по методике [13]; б – по методике [7])

Figure 1 — Seismogram, velocigram and accelerogram of the generated inputs (a – according to the method [13]; b – according to the method [7])

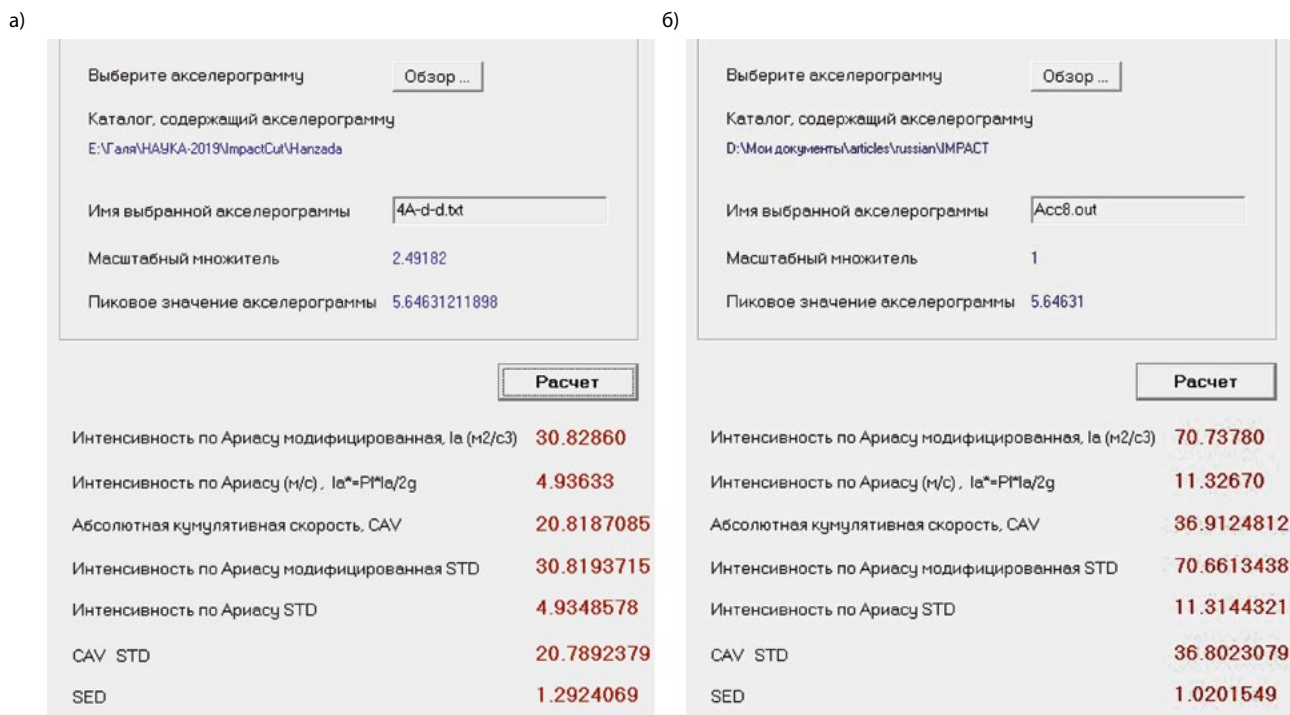


Рисунок 2 — Характеристики сгенерированных воздействий (а – по методике [13]; б – по методике [7])

Figure 2 — Characteristics of generated inputs (a – according to the method [13]; b – according to the method [7])

но более опасным (рис. 3). Это же относится и к спектрам смещений (рис. 4) и спектрам работ сил пластического деформирования (рис. 5). Можно отметить, что пик на спектре смещений второго процесса соответствует заданной величине 1.5 с.

Приведенные данные показывают, что существующие модели воздействий очень грубо моделируют реальные землетрясения. Можно сказать, что большинство известных моделей пригодно для силового расчета достаточно жестких систем, в частности, сооружений массового стро-

ительства. Модель [7] ориентирована на линейный расчет сейсмоизолированных сооружений. Чтобы учесть дополнительные свойства реальных воздействий необходимо увеличение числа параметров, определяющих модельное воздействие. Достаточно просто и физично дополнить модель воздействия импульсом скорости [15]. В соответствии с [16] импульс скорости и соответствующие ему акселерограмма и сейсмограмма имеют вид, показанный на рис. 7.

Продолжительность импульса $2t_0$ и остаточное смеще-

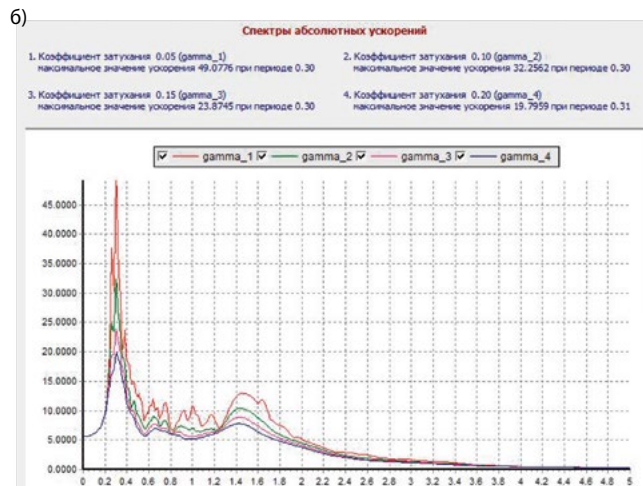
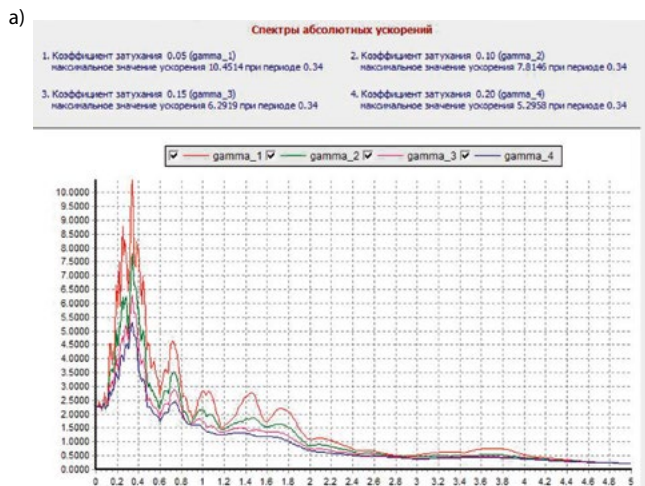


Рисунок 3 — Спектры ускорений сгенерированных воздействий (а – по методике [13]; б – по методике [7])
Figure 3 — Acceleration spectra of generated inputs (a – according to the method [13]; b – according to the method [7])

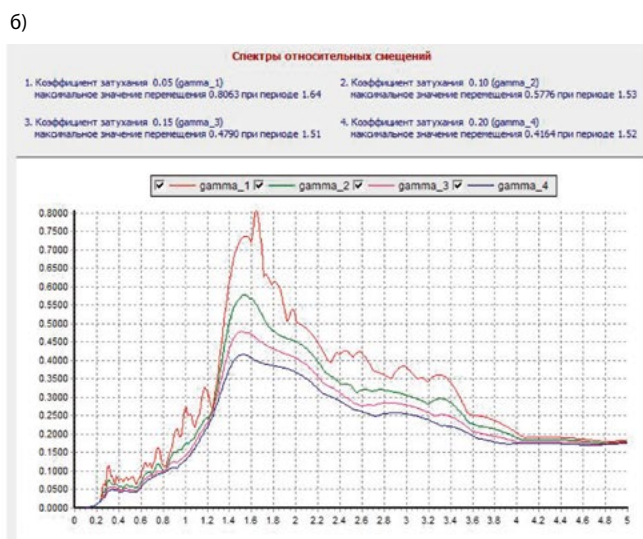
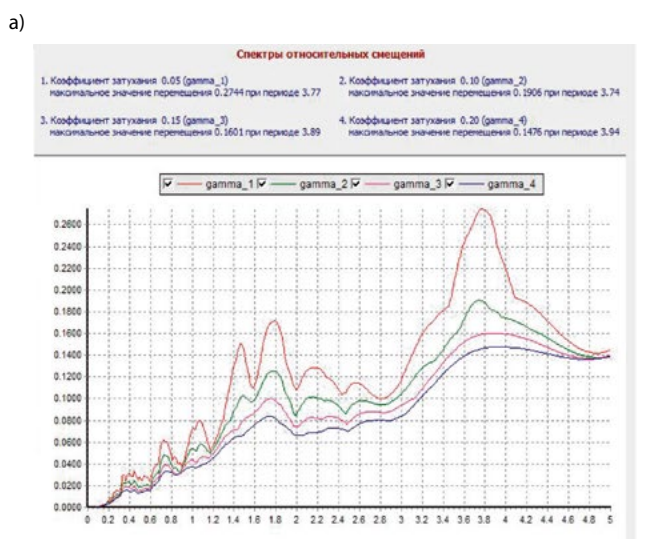


Рисунок 4 — Спектры смещений сгенерированных воздействий (а – по методике [13]; б – по методике [7])
Figure 4 — Displacement spectra of generated inputs (a – according to the method [13]; b – according to the method [7])

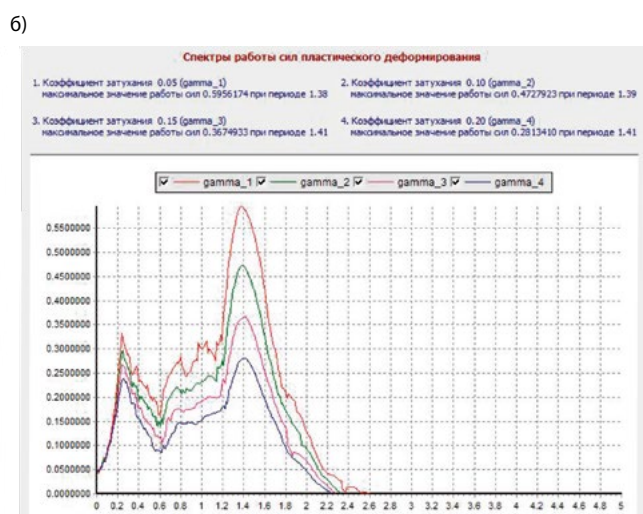
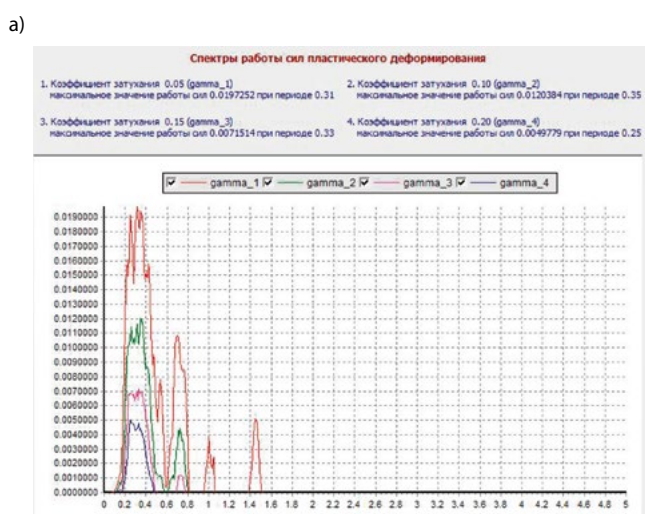


Рисунок 5 — Спектры работ сил пластического деформирования (а – по методике [13]; б – по методике [7])
Figure 5 — Spectra of plastic deformation forces (a – according to the method [13]; b – according to the method [7])

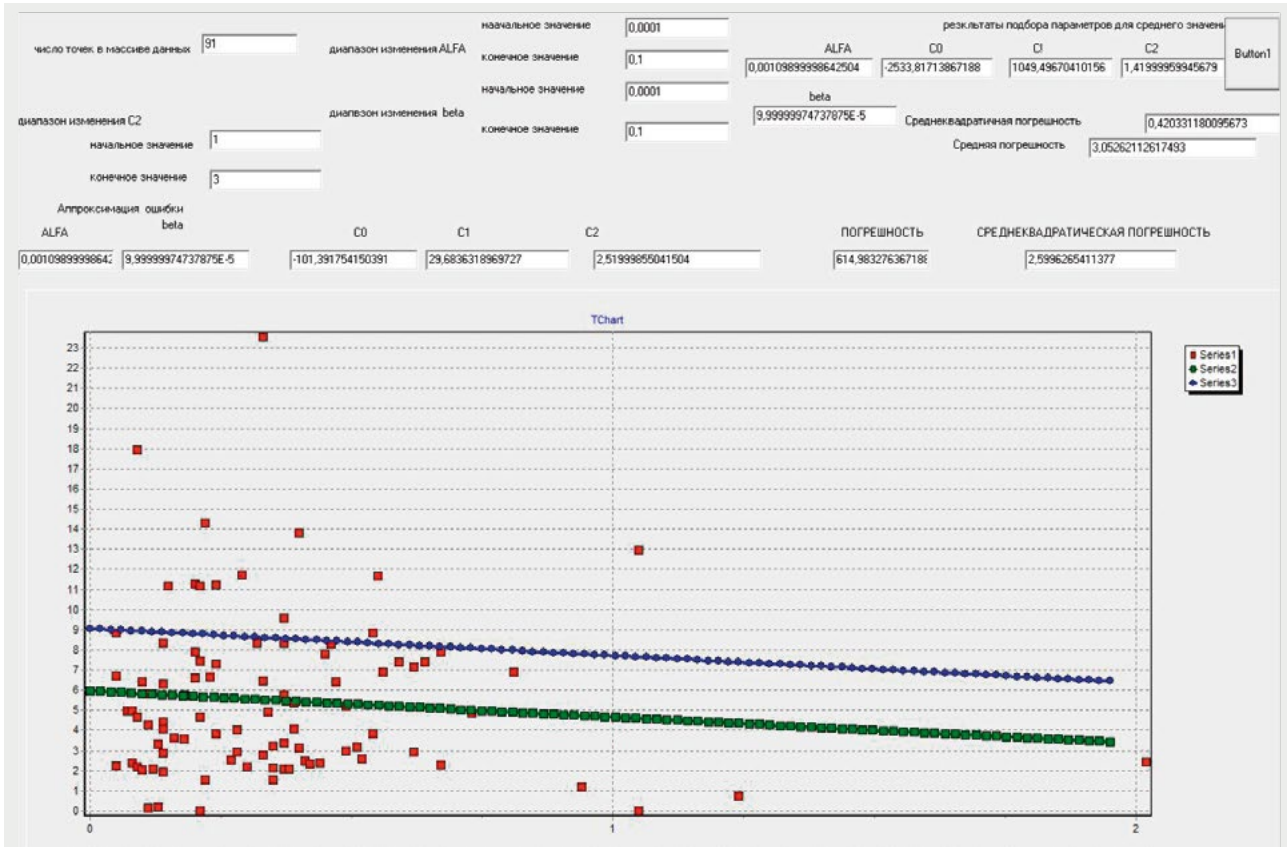


Рисунок 6 — Зависимость интенсивности по Ариасу от преобладающего периода воздействия

Figure 6 — Dependence of Arias intensity on the predominant input period

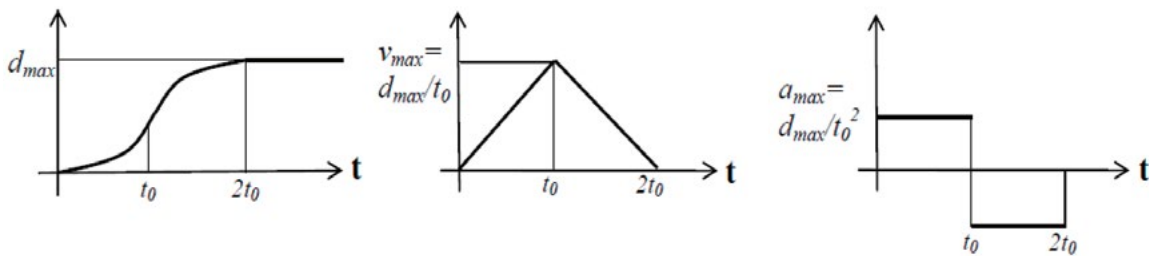


Рисунок 7 — Графики смещений, скоростей и ускорений для импульса скорости

Figure 7 — Graphs of displacement, velocity and acceleration of the input generated with the velocity pulse

ние d_{max} зависит от магнитуды M_w и гипоцентрального расстояния R .

$$t_0 = 10^{(-3.471+0.5 \cdot M_w)}; \quad d_{max} = 10^{(-6.3+M_w-\log(R))} \quad (13)$$

Таким образом, дополняя случайное воздействие случайным импульсом, мы добавляем в систему три параметра: магнитуду M_w , эпицентрального расстояние R и момент включения импульса. Варьирование этих параметров в заданных пределах позволяет регулировать дополнительные характеристики воздействия.

На рис. 8 приведен пример воздействия, сгенерированного с добавкой импульса скорости.

На рис. 9 приведены характеристики рассмотренного примера воздействия, а на рис. 10, 11 – спектры скоростей и смещений для рассматриваемого примера. На рис. 12

приведен спектр работ сил пластического деформирования. Как видно из рисунков, предлагаемая модель воздействия позволяет менять сейсмограмму, спектр смещений и спектр работ сил пластического деформирования, сохраняя характеристики акселерограммы модельного воздействия.

Заключение

Выполненные исследования позволяют заключить, что сложившаяся методика генерации расчетных воздействий вполне приемлема для расчета объектов массового строительства – зданий малой и средней этажности, для которых определяющими являются ускорения воздействия. Для расчета сейсмоизолированных систем, для которых важными являются не ускорения, а смещения следует применять бо-

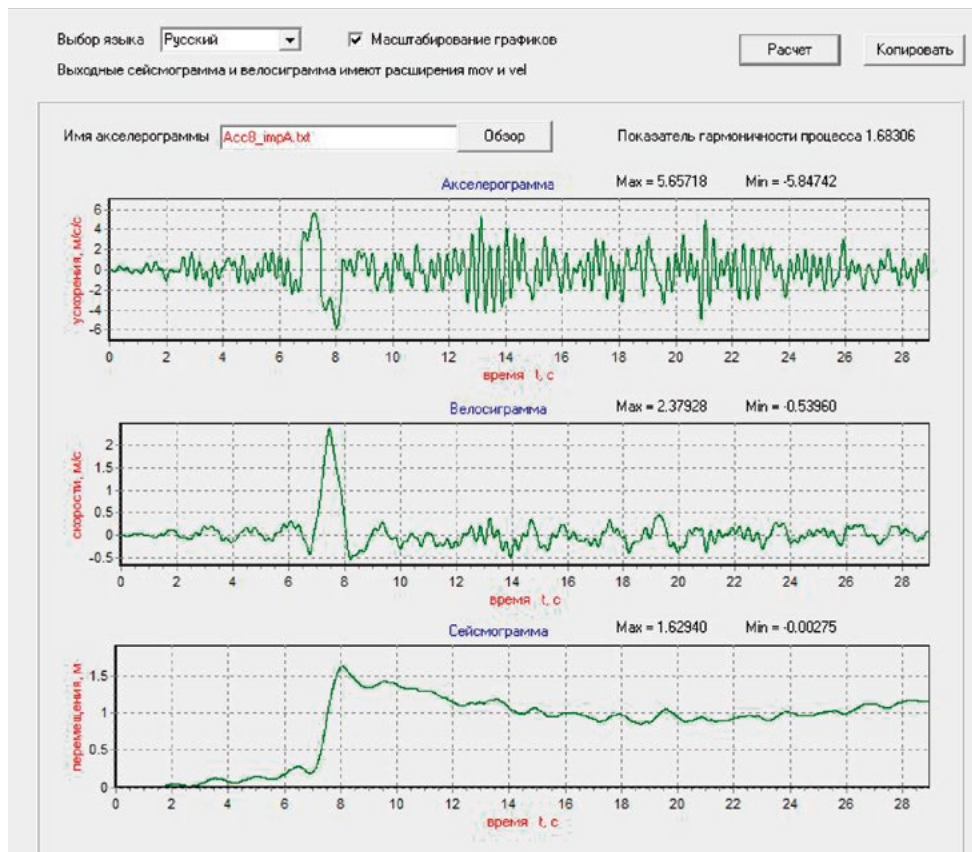


Рисунок 8 — Хронограммы воздействия, сгенерированного с импульсом скорости
Figure 8 — Seismogram, velocigram and accelerogram of the input generated with the velocity pulse

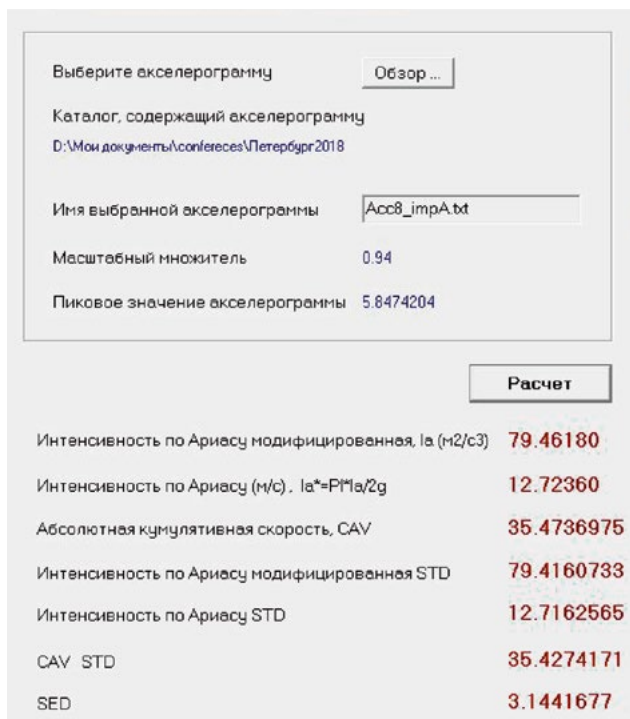


Рисунок 9 — Характеристики воздействия, сгенерированного с импульсом скорости
Figure 9 — Characteristics of the input generated with the velocity pulse

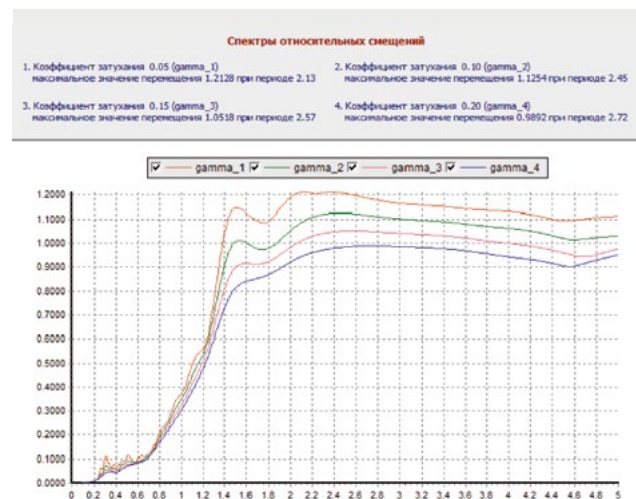


Рисунок 10 — Спектры смещений воздействия, сгенерированного с импульсом скорости
Figure 10 — Displacement spectra of the input generated with the velocity pulse

лее сложные модели, в частности, рассмотренную модель случайного воздействия с двумя преобладающими частотами. Наконец, для расчета повреждаемости сооружений возникает необходимость моделирования энергетических характеристик воздействия. Для этого предлагается усложнить двухчастотную модель добавлением случайного импульса.

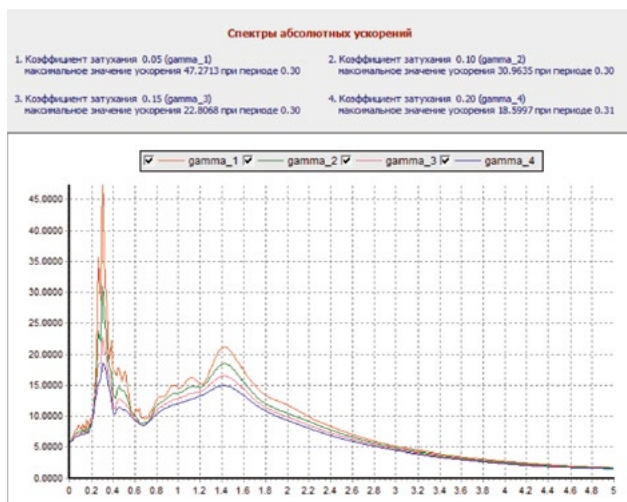


Рисунок 11 — Спектры смещений воздействия, сгенерированного с импульсом скорости

Figure 11 — Acceleration spectra of the input generated with the velocity pulse

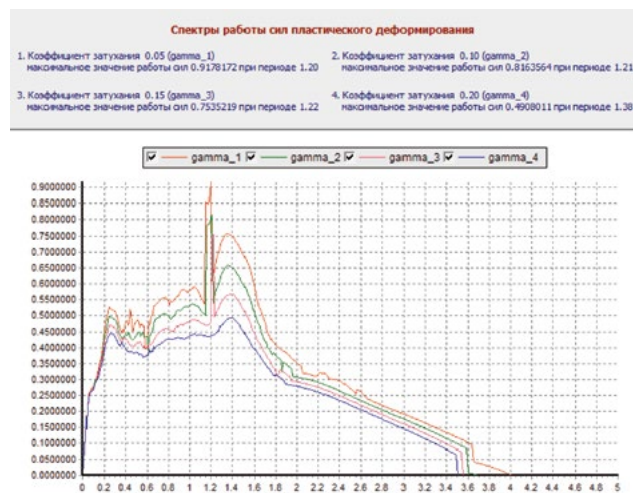


Рисунок 12 — Спектры работ сил пластического деформирования воздействия, сгенерированного с импульсом скорости

Figure 12 — Spectra of plastic deformation forces of the input generated with the velocity pulse

Литература

1. Болотин В.В. Статистические методы в строительной механике. М.: Госстройиздат, 1961. 202 с.
2. Салганик М.П. О моделировании сейсмических воздействий на строительные сооружения. Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 26. М.: Наука, 1967. С.157-153.
3. Айзенберг Я.М., Залилов К.Ю. Генерирование расчетного ансамбля синтетических акселерограмм и исследование влияния их параметров на сейсмическую реакцию сооружения // Расчет и проектирование зданий для сейсмоопасных районов. М.: Наука, 1988. С.5-14.
4. Абакаров А.Д. Исследование оптимальных параметров системы сейсмозащиты с выключающимися связями и ограничителем перемещений по критерию надежности на ЭВМ методом Монте-Карло // Расчет и проектирование зданий для сейсмостойких районов. М.: Наука, 1988. С.108-114.
5. Уздин А.М., Кузнецова И.О. Сейсмостойкость мостов. Саарбрюкен (Германия), Palmarium, 2014. 450 с.
6. Лапин Б.А. Реакция одноэтажного здания с учетом полиэкстремального характера сейсмического воздействия //

- Экспресс-информация ВНИИИС. Сер.14. Сейсмостойкое строительство. 1987. Вып.4. С.2-7.
7. Давыдова Г.В. Некоторые особенности задания сейсмического воздействия при статистическом моделировании колебаний сейсмоизолированных систем // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008. №6. С.29-31.
 8. Богданова А.М., Нестерова О.П., Никонина Н.В., Ткаченко А.С., Уздин А.М., Рахманова М., Азаев Т.М., Зайнулабидова Х.Р. Числовые характеристики сейсмических воздействий. Наука и мир. №3 (43). 2017. Том 1. С. 49-55.
 9. Уздин А.М., Нестерова О.П., Прокопович С.В., Долгая А.А., Чанг Юань, Гуань Юхай, Ван Хайбинь. Моделирование сейсмических воздействий для динамического расчета зданий и сооружений. Российско-китайский научный журнал «Содружество» Ежемесячный научный журнал научно-практической конференции. 2017. № 20, 1 часть. С. 59-66.
 10. Arias A. A measure of earthquake intensity. Seismic Design for Nuclear Power Plants. Hansen RJ (Ed.), MIT Press, Cambridge, 1970. P. 438-483.
 11. Kenneth W. Campbell, Yosef Bozorgnia. Cumulative Absolute Velocity (CAV) and

- Seismic Intensity Based on the PEER-NGA Database. Earthquake Spectra, Vol. 28, Number 2, pp. 457-485.
12. Рутман Ю.Л., Шивуа А. Дж. Энергетический метод оценки сейсмостойкости с помощью удельной энергетической плотности (УЭП) // Актуальные проблемы современного строительства: Сборник докладов «68-я Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых». СПбГАСУ. 2015. Ч. I. С. 6 – 11.
 13. Айзенберг Я.М., Залилов К.Ю. Методика генерирования расчетных ансамблей синтетических акселерограмм на основе региональной сейсмологической информации // Вопросы инженерной сейсмологии. М.: Наука. 1986. С.61-72.
 14. Айзенберг Я.М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. Москва: Стройиздат. 1976. 232 с.
 15. Faccioli E., Paolucci R., Rey Ju. Displacement spectra for long periods // Earthquake Spectra, Vol.20, No.2, p.347-376.
 16. Dmitrovskaya L.N., Uzdin A.M. Earthquake displacements setting for calculating structures and building earthquake scales. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, Paper Number: 32

References

1. Bolotin V.V. Statistical methods in structural mechanics. M.: Gosstroyizdat. 1961. 202 p. [In Russian].
2. Salganik M.P. On the modeling of seismic effects

- on buildings. Engineering seismology issues; Issue 2b. M.: Science. 1967. Pp.157-153. [In Russian].
3. Eisenberg J.M., Zalilov K.Yu. Generation of the calculated ensemble of synthetic accelerograms and the study of the influence of their parameters

- on the seismic response of the structure. Calculation and design of buildings for seismic areas. M.: Science. 1988, pp.5-14. [In Russian].
4. Abakarov A.D. Investigation of the optimal parameters of a seismic protection system with

switched off connections and a movement limiter according to the criterion of reliability on a computer using the Monte-Carlo method. Calculation and design of buildings for seismic resistant areas. M.: Nauka. 1988, pp. 108-114. [In Russian].

5. Uzdin A.M., Kuznetsova I.O. Seismic resistance of bridges. Saarbrücken (Germany), Palmarium, 2014. 450 p. [In Russian].

6. Lapin V.A. Reaction of a one-storey building taking into account the polyextremal nature of the seismic impact. Express information VNIIS. Ser. 14. Earthquake engineering, 1987, vol. 4, pp. 2-7. [In Russian].

7. Davydova G.V. Some features of the seismic impact setting in statistical modeling of oscillations of seismically isolated systems. Seismic resistant construction. Safety of buildings. Scientific. Technology. M., 2008, no. 6, pp. 29-31. [In Russian].

8. Bogdanova A.M., Nesterova O.P., Nikonova N.V., Tkachenko A.S., Uzdin A.M., Rakhmanova M., Azaev T.M., Zainulabidova Kh.R. Numerical

characteristics of seismic effects. Science and World, no. 3 (43), 2017, volume 1, pp. 49-55. [In Russian].

9. Uzdin A.M., Nesterova O.P., Prokopovich S.V., Dolgaya A.A., Chang Yuan, Guan Yuhai, Wang Haybin. Simulation of seismic effects for the dynamic calculation of buildings and structures. Russian-Chinese scientific magazine «Commonwealth» Monthly scientific journal of scientific-practical conference. 2017, no. 20, part 1, pp. 59-66. [In Russian].

10. Arias A. A. Measure of Earthquake Intensity. Seismic Design for Nuclear Power Plants. Hansen RJ (Ed.), MIT Press, Cambridge, 1970, pp. 438-483. [In English].

11. Kenneth W. Campbell, Yosef Bozorgnia. Cumulative Absolute Velocity (CAV) and Seismic Intensity Based on the PEER-NGA Database. Earthquake Spectra, vol. 28, no. 2, pp. 457-485. [In English].

12. Rutman Yu.L., Shivua A.J. Energy Method for Estimation of Seismic Resistance Using

Specific Energy Density (UEP). Actual Problems of Modern Construction: Collection of Reports "68th International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists «SPSUACE. 2015, part I, pp. 6-11. [In Russian].

13. Eisenberg J.M., Zalilov K.Yu. Method of generating computational ensembles of synthetic accelerograms based on regional seismological information. Issues of engineering seismology. M.: Science, 1986, pp. 61-72. [In Russian].

14. Eisenberg J. M. Facilities with disabled connections for seismic areas. Moscow: Stroyizdat, 1976. 232 p. [In Russian].

15. Faccioli E., Paolucci R., Rey Ju. Displacement spectra for long periods. Earthquake Spectra, vol. 20, no. 2, pp. 347-376. [In English].

16. Dmitrovskaya L.N., Uzdin A.M. Earthquake displacements setting for calculating structures and building earthquake scales. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, Paper Number: 32. [In Russian].

Для цитирования: Уздин А.М., Смирнова Л.Н., Сорокина Г.В., Абакаров А.Д., Зайнулабидова Х.Р., Прокопович С.В. Статистическое моделирование сейсмических воздействий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 5. С. 19-27.

For citation: Uzdin A.M., Smirnova L.N., Sorokina G.V., Abakarov A.D., Zaynulabidova H.R., Prokopovich S.V. Statistical Modeling of the Earthquake Input. Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 5, pp. 19-27. (In Russian).

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «СЕЙМОСТОЙКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ»

Текст:

1. **Объем статьи** не должен превышать **40 000** знаков.
2. **Количество авторов** статьи – не более 3-х.
3. **Сведения об авторе** должны содержать: ФИО, регалии, место работы и должность, почтовый и электронный адреса, контактный телефон **на русском и английском языках**. Необходима фотография в формате TIF, JPG.
4. **Ключевые слова** к статье* должны быть **на русском и английском языках**.
5. **Аннотация** к статье должна содержать 200–250 слов **на русском и английском языках**. Аннотация на английском языке не должна полностью повторять текст аннотации на русском языке. Статья должна содержать: введение, цели задачи, методы, результаты, заключение.
6. Обязательно наличие **библиографического списка** с ссылками по тексту на русском (ГОСТ Р 7.0.5–2008) и английском языках (или латиницей по правилам Scopus).
7. Обязательное приложение – **рекомендательное письмо** от организации, которую представляет автор, **рецензия** или **экспертное заключение** (для аспирантов или соискателей ученой степени кандидата наук).

Иллюстрации:

1. **Рисунки** должны быть представлены в форматах файлов (под PC): **PDF, EPS, AI**;
2. **Фото** должны быть представлены для публикации в форматах файлов (под PC): **TIFF, JPG**;
3. **Разрешение** файлов – не менее **300 dpi**;
4. **Таблицы, схемы и диаграммы** должны быть встроены в статью и иметь связи (быть доступными для редактирования) с программой, в которой они созданы (**Excel**);
5. Наличие **подписи к иллюстрациям и рисункам** на русском и английском языках, оформленных отдельным списком.
6. **Данные в таблицах** даются полностью **без сокращений**.
7. **Математические формулы и выражения** должны быть записаны в **Microsoft Word** или с помощью редактора **Microsoft Equation 3.0**.
8. **УДК статьи**.

Ждем ваши материалы по адресу:
109456, а/я 29, г. Москва
или по e-mail: **info@raee.su**,
т/ф.: **(499) 174-70-65**



Еманов А.Ф.
доктор технических наук, директор филиала

Бах А.А.
старший научный сотрудник

**Алтае-Саянский филиал Федерального Исследовательского Центра
«Единая Геофизическая служба» РАН, Новосибирск, Российская Федерация**

УДК 550.834

Развитие алгоритмов интерпретации метода стоячих волн для исследования зданий и сооружений сложных конструкций

Аннотация: По результатам исследований на сложных инженерных объектах получены результаты, демонстрирующие значительные отклонения от моделей зданий и сооружений, принятых в основу расчёта сейсмостойкости и устойчивости конструкций. Во-первых, это существование отражающих сейсмические колебания границ внутри здания, когда стоячие волны формируют общее поле для здания в целом и локальное поле для части объекта, во-вторых, блочное строение объекта, когда есть собственные колебания разной кратности с разной областью

охвата объекта, когда некоторые блоки то независимо колеблются, то объединяются в одну систему, в-третьих, существование стен с двойными отражающими свойствами, что меняет поле стоячих волн, в-четвёртых, сложная геометрия объекта вызывает поля стоячих волн, не описываемые двумя волновыми числами. Экспериментальные данные показывают, что в теории зданий необходимо переходить к моделям вложенных резонаторов, моделям связанных резонаторов, а верификацию моделей возложить на метод стоячих волн.

Ключевые слова: инженерная сейсмология, сейсмостойкость зданий, стоячие волны, когерентность во времени, микросейсмы.

Emanov A.F., Doctor of Technical Sciences, Branch Director, Altay-Sayan branch of Federal Research Center "United Geophysical Survey RAS", Novosibirsk, Russian Federation

Bakh A.A., Senior Engineer, Altay-Sayan branch of Federal Research Center "United Geophysical Survey RAS", Novosibirsk, Russian Federation

Development of Algorithms for Interpreting the Method of Standing Waves for the Study of Buildings and Structures of Complex Constructions

Abstract: According to the results of research on complex engineering objects, results were obtained that demonstrate significant deviations from the models of buildings and structures that are used as the basis for calculating seismic resistance and structural stability. Firstly, it is the existence of reflecting seismic oscillations of the boundaries inside the building, when standing waves form a common field for the building as a whole and a local field for a part of the object, secondly, a block structure of the object, when there are natural oscillations of different multiplicity

with a different area of the object's coverage, when some blocks independently oscillate, they unite into one system; thirdly, the existence of walls with double reflecting properties, which changes the field of standing waves; fourthly, the complex geometry of the object causes the fields of standing waves, It is described by two wave numbers. Experimental data show that in the theory of buildings it is necessary to move to the models of nested resonators, models of coupled resonators, and the verification of models should be entrusted to the standing wave method

Keywords: engineering seismology, seismic resistance of buildings, standing waves, coherence in time, microseisms.

Введение

В замкнутых объёмах формируются многократные отражения, и их интерференция приводит к формированию стоячих волн. Ещё в девятнадцатом веке была доказана общеизвестная теорема о независимости решения по стоячим волнам от начальных условий. Это означает, что стоячие волны, формирующиеся в инженерных сооружениях, не зависят от источника колебаний. Для поля стоячих волн не важно, где он размещён и какого типа источник используется.

В работах [5,7] обосновывается методика наблюдений за микросейсами, создаётся математическая модель волнового поля, строятся алгоритмы, позволяющие выделить стоячие волны в чистом виде и преобразовывать их из разновременных наблюдений в одновременные записи стоячих волн на плотной системе наблюдений, покрывающей заданную площадь или объём. Поскольку стоячие волны представляют из себя монохроматические колебания с некоторой добротностью, определяющей затухание колебаний во времени, то множество мод колебаний из обще-

го поля отфильтровываются друг от друга и строятся карты для каждой из мод: амплитуд колебаний, фаз колебаний, добротности, когерентности. Построенный набор карт является основой для качественной интерпретации физического состояния здания по стоячим волнам.

Всё просто, когда здание имеет внешние границы простого строения, и мы наблюдаем набор стоячих волн единый для всей конструкции. Иначе обстоит дело, когда здание имеет сложную конструкцию, и кроме общего для объекта поля стоячих волн возникают интенсивные локальные поля. В данной работе будут приведены экспериментальные данные по объектам сложных конструкций, и рассмотрены подходы развития метода стоячих волн для их изучения.

Под объектами сложных конструкций будем понимать:

- Здания и сооружения, имеющие внутри конструкции отражающие границы, создающие кроме общего поля стоячих волн локальные поля.
- Здания и сооружения с не прямоугольной конструкцией.

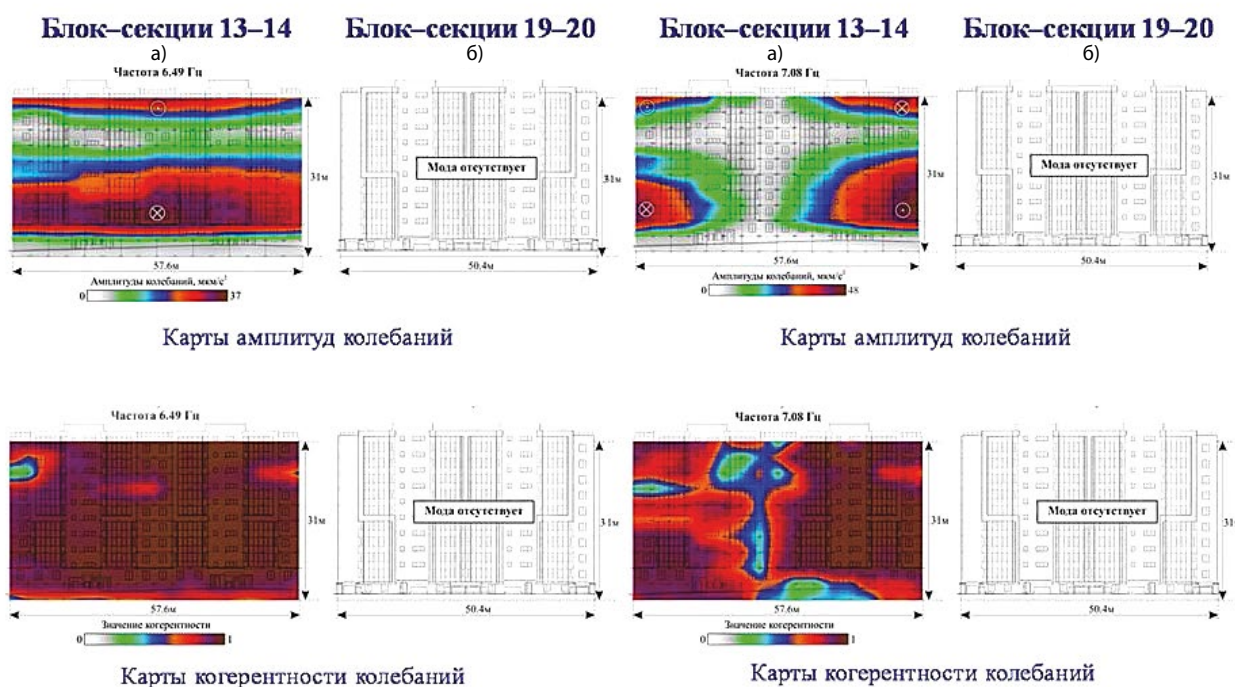


Рисунок 1 — Собственные колебания здания над гибким этажом [8] а) мода (1,2); б) мода (2,2)
Figure 1 — Own vibrations of the building above the flexible floor [8] a) mode (1,2); b) mode (2,2)

Таблица 1 — Собственные частоты колебаний блок-секций 13–14 и 19–20

Table 1 — Natural vibration frequencies of block sections 13–14 and 19–20

Блок-секции 13-14		Блок-секции 19-20	
Частота, Гц	Описание	Частота, Гц	Описание
2.15	Поперечная мода (1,1)	2.54	Поперечная мода (1,1)
2.34	Поперечная мода (2,1)	2.78	Поперечная мода (2,1)
2.69	Продольная мода (1,1)	3.08	Продольная мода (1,1)
6.49	Поперечная мода (1,2)	Мода отсутствует	
7.08	Поперечная мода (2,2)	Мода отсутствует	
7.81	Продольная мода (1,2)	9.57	Продольная мода (1,2)
8.06	Поперечная мода (3,1)	8.89	Поперечная мода (3,1)
10.89	Поперечная мода (3,2)	12.99	Поперечная мода (3,2)
12.99	Поперечная мода (4,2)	14.55	Поперечная мода (4,2)

- Здания и сооружения с несущими стенами комбинированной конструкции.
- Блочные конструкции зданий и сооружений.

Экспериментальные исследования зданий с явными нарушениями

В любом случае за методом стоячих волн при его детальности и разрешенности анализа всегда остаётся задача диагностики физического состояния.

Здания и сооружения, имеющие внутри конструкции отражающие границы, создающие кроме общего поля стоячих волн локальные

Наличие мощных локальных стоячих волн в здании весьма серьёзно может менять сейсмостойкость объекта. Примером являются здания с сейсмозащитой [1, 2, 13], в которых появляются элементы, разделяющие конструкцию и приводящие к образованию дополнительных мод стоячих волн в части здания [8]. Ярким примером является сравнение результатов обследования двух рядом стоящих зданий одной конструкции, но одно с гибким первым этажом, а другое без [8]. Большинство мод по кратности, разложенной по двум волновым числам, имеют соответствие друг другу и описывают колебания конструкции зданий в целом и только две моды присущи только одному зданию с гибким этажом. Это собственные колебания конструкции здания выше гибкого этажа.

На картах амплитуд видно, что собственные колебания начинаются над первым гибким этажом, а горизонтальные узловые линии проходят на уровне 2/3 высоты от начала второго этажа. Мы имеем дело с колебаниями, где закреплён низ и не закреплён верх и боковые грани здания.

В таблице 1 приведены собственные частоты колебаний блок-секций 13–14 и 19–20. В графе «Описание» приведены краткие характеристики собственных колебаний, содержащие информацию о направлении смещений, количестве пучностей и взаимном расположении узловых линий (линий смены фаз колебаний) [8]. Можно видеть, что для одинаковых конструк-

ций в зданиях существуют только однотипные моды, кроме двух мод, возникших из-за отражающей границы между гибким этажом и остальной частью здания. При одной и той же кратности отличия собственных частот однотипных мод здания вызваны двумя причинами, во-первых, гибкий этаж вводится в здание с целью изменить собственные частоты, во-вторых, даже в однотипных зданиях существуют некоторые отличия по причине реального исполнения строительства.

На рис. 2 представлены карты амплитуд и фаз стоячих волн двух из ряда наблюдавшихся стоячих волн в здании. По фото здания можно видеть, что чердачный этаж отличается по конструкции от основных этажей здания, а также имеется подвальный этаж со своей конструкцией. Область существования представленных на рис. 2 стоячих волн хорошо видна на картах фаз. Видно, что фазовая картина для верхнего этажа и подвала иная, чем для центральной части здания, а по картам амплитуд ясно, что мы имеем дело с собственными колебаниями между двух отражающих границ внутри здания. При этом внутренние границы характеризуются как зажатые. По данным стоячих волн свободно колеблются только боковые стены здания. В этом же здании существуют стоячие волны для здания в целом, как бы не замечающие существование промежуточных границ. Для полного анализа физического состояния здания с отражающими границами необходимо получать полную информацию о собственных колебаниях объекта.

Здания и сооружения с не прямоугольной конструкцией

Простыми для понимания являются стоячие волны в зданиях прямоугольной формы, но далеко не все объекты являются такими. Ещё одним вариантом сложных объектов являются геометрически сложные конструкции и блочные конструкции. К таким конструкциям относятся, прежде всего, плотины ГЭС. Строение в виде трапеции, когда верх шире, чем низ, создают уникальные условия для формирования полей собственных колебаний. Плотина Саяно-Шушенской ГЭС [6] по ряду мод имеет картину изменения

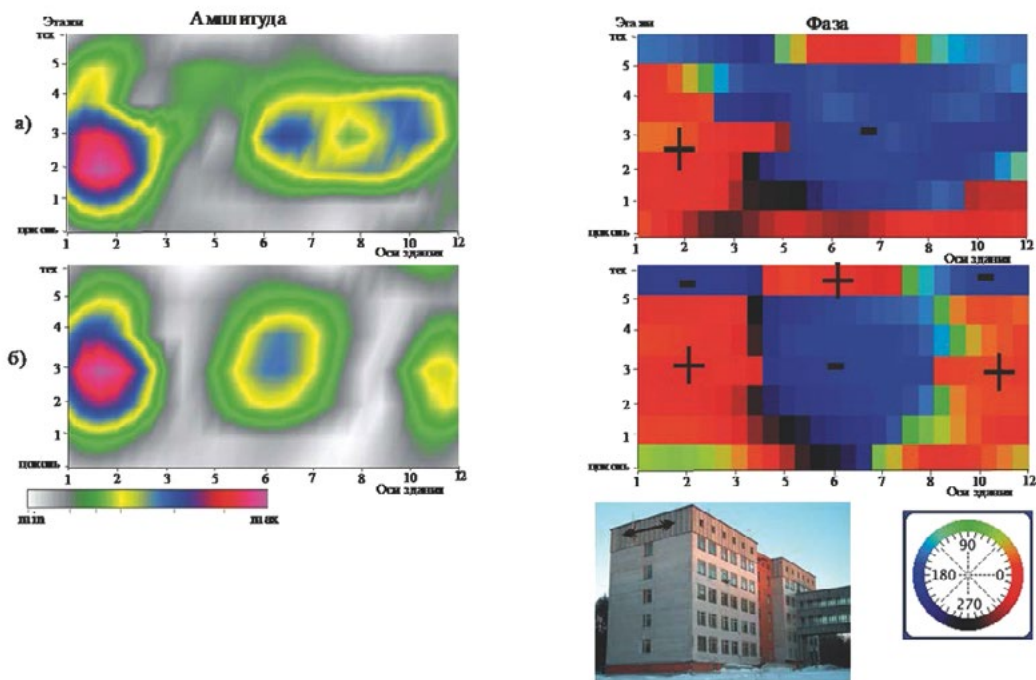


Рисунок 2 — Карты амплитуд и фаз колебаний для мод центральной части здания а) мода поперечных колебаний (2,1) и б) (3,1)
Figure 2 — Maps of amplitudes and phases of oscillations for the modes of the central part of the building a) the mode of transverse vibrations (2,1) and b) (3,1)

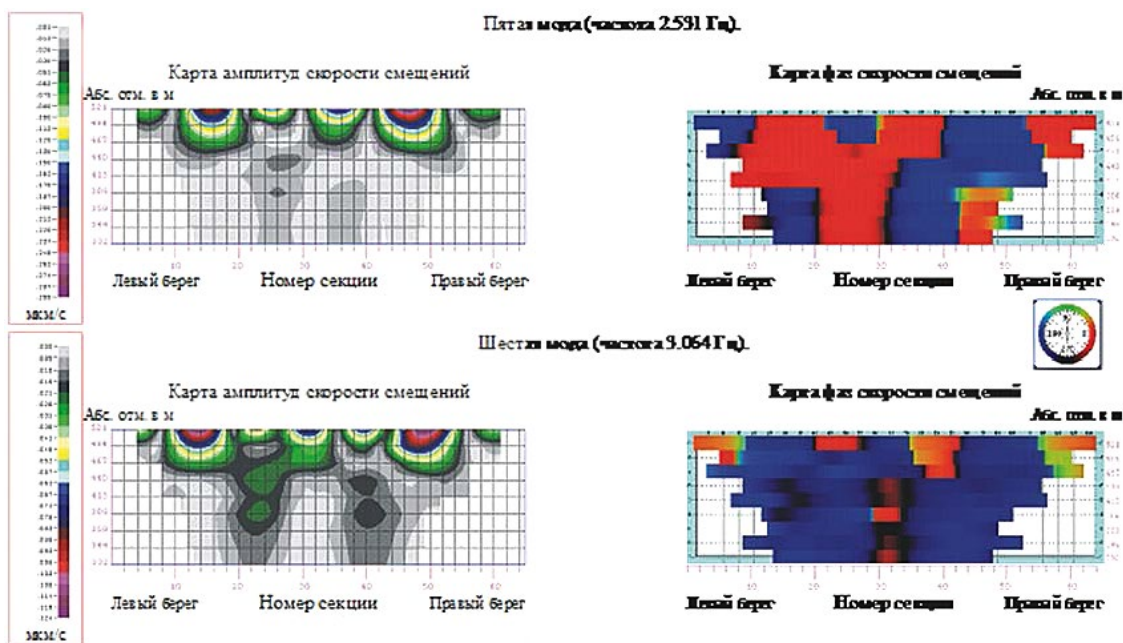


Рисунок 3 — Карты амплитуд и фаз стоячих волн в плотине Саяно-Шушенской ГЭС
Figure 3 — Maps of amplitudes and phases of standing waves in the dam of the Sayano-Shushenskaya hydroelectric power station

кратности по горизонтали с высотой плотины. Для описания такого эффекта не достаточно двух волновых чисел (кратность по вертикали, кратность по горизонтали).

На рис. 3 приведены данные по амплитудам и фазам двух мод стоячих волн в теле плотины Саяно-Шушенской ГЭС. Именно для этих мод ярко проявляется эффект смены горизонтальной кратности по вертикали. Гораздо ярче этот

эффект прослеживается на картах фаз стоячих волн. Следует отметить, что большие здания и плотины ГЭС являются уникальными объектами, для каждого из которых метод стоячих волн позволяет видеть неповторимые картины собственных колебаний (стоячих волн).

На рис. 3 даны названия мод, установленные как собственные частоты по порядку. На самом деле все гораздо

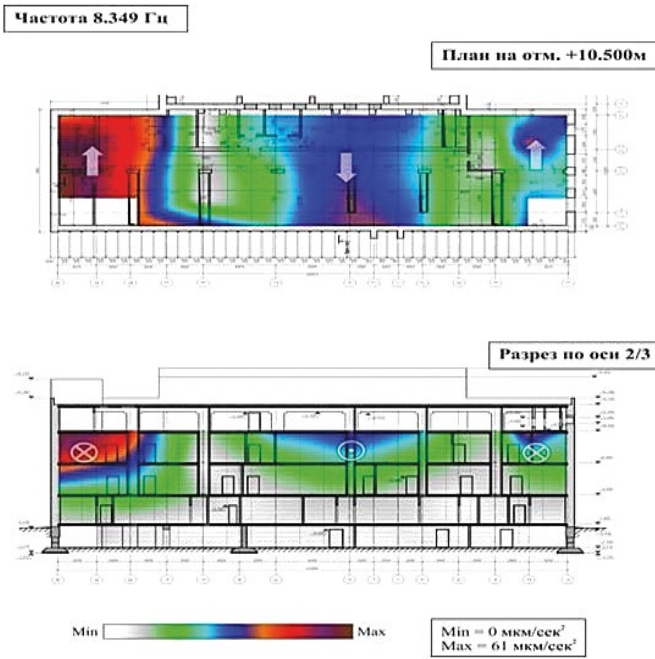


Рисунок 4 — Мода (3,1) для здания в г. Томске
Figure 4 — Mode (3,1) for a building in Tomsk

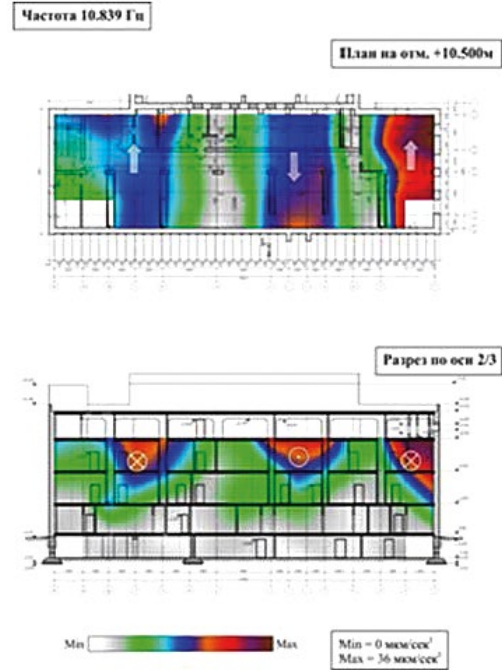


Рисунок 5 — Мода (3,1) для здания в г. Томске (того же, что на рис.4)
Figure 5 — Mode (3,1) for a building in Tomsk (the same as in Fig. 4)

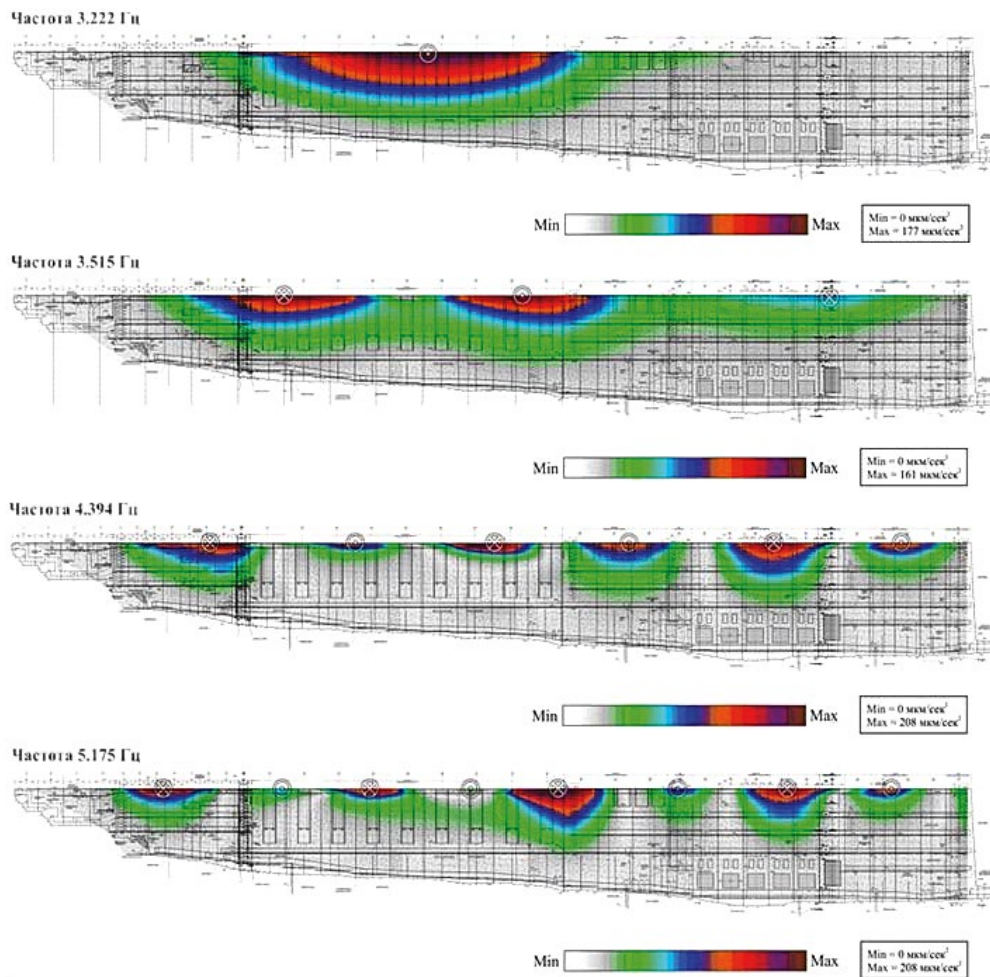


Рисунок 6 — Стоячие волны в плотине Богучанской ГЭС, блочный объект
Figure 6 — Standing waves in the dam of the Boguchanskaya HPP, block object

Таблица 2 — Собственные частоты колебаний бетонной плотины Богучанской ГЭС

Table 2 — Natural vibration frequencies of the concrete dam of the Boguchanskaya HPP

Номер моды по порядку	Номер моды	Значение частоты, Гц	Направленность колебаний
1	1	3.222	Горизонтальные X, по потоку
2	3	3.515	Горизонтальные X, по потоку
3	6	4.394	Горизонтальные X, по потоку
4	8	5.175	Горизонтальные X, по потоку

сложнее и моды представленных стоячих волн не описываются даже двумя волновыми числами по вертикали и горизонтали. Вмешивается различие ширины верха и низа сооружения. Мода стоячей волны, названная пятой, по верху имеет кратность шесть, по низу – четыре и по вертикали кратность два. Мода стоячей волны, представленная как шестая, по верху имеет кратность семь, по низу – кратность три и по вертикали – четыре. Вопрос о правильной интерпретации кратности мод стоячих волн является необходимым условием дальнейшей количественной интерпретации.

Здания и сооружения с несущими стенами комбинированной конструкции

Другим примером сложного объекта являются здания со сложным строением стен. Для одного из служебных зданий технического университета в Томске фиксируются две моды одного порядка (3.1).

На рис. 4 мы видим в двух измерениях данные о стоячей волне в здании с той особенностью, что свободные колебания испытывает не только верх здания, но и левая вертикальная стена здания. Низ и правая стена – закреплены. Интересным является то, что для теоретических расчётов невозможным является обоснование таких граничных условий.

На рис. 5 представлены данные о стоячей волне в этом же здании, с той же кратностью, но картина иная. В данном случае свободные колебания у верха здания и правой стены,

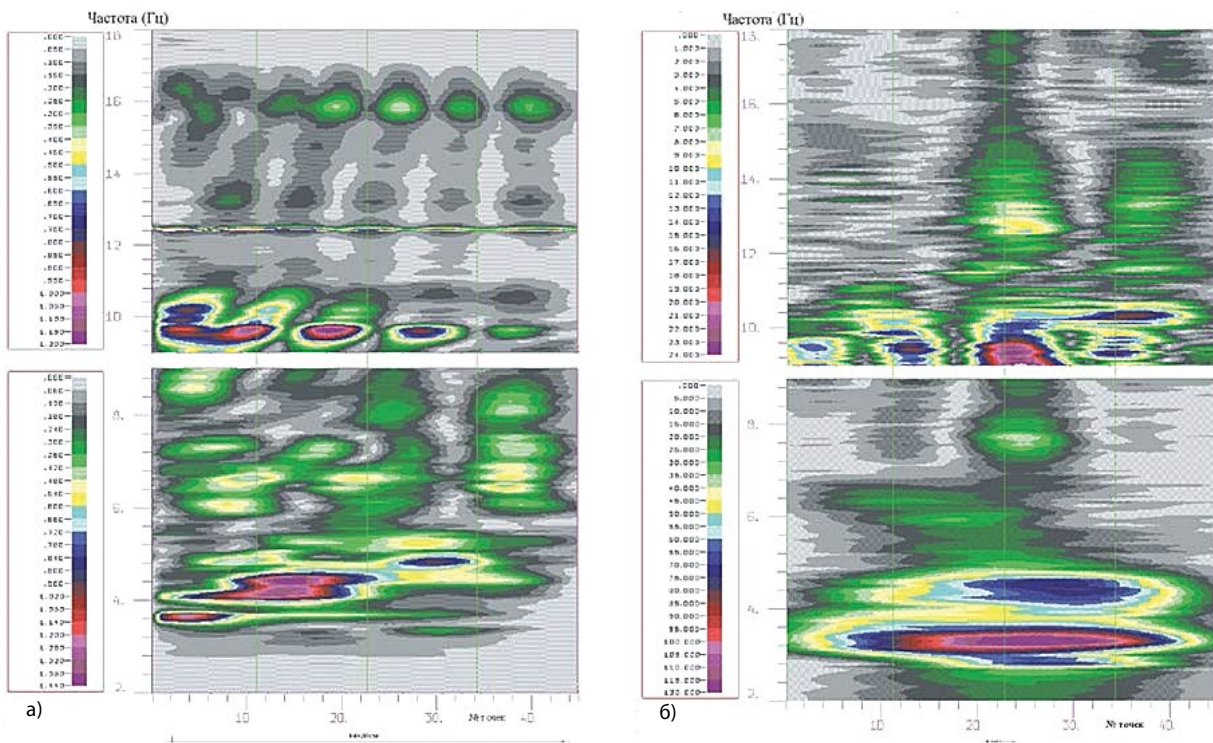


Рисунок 7 — Спектры стоячих волн моста через р. Иня, г. Новосибирск
 а) измерение на малых амплитудах колебаний (отсутствие движения транспорта)
 б) измерение на больших амплитудах колебаний (интенсивное движение)

Figure 7 — Spectra of the standing waves of the bridge across the Inya River, Novosibirsk
 a) measurement on small magnitudes of oscillations (lack of traffic)
 b) measurement at large amplitudes of oscillations (heavy traffic)

а левая стена и низ зажаты. Представленные данные говорят, что сложно построенные стены могут вести себя двояко. Отражать колебания внешней гранью и внутренней. В этом случае, вероятно, внешние отражения имеют свободу колебаний, а внутренние ведут себя как зажатые. В результате мы имеем резонансы в здании, которые не описываются теоретическими расчётами.

Блочные конструкции зданий и сооружений

Одним из примеров формирования стоячих волн в блочной конструкции являются результаты, полученные на плотине Богучанской ГЭС [9].

Плотина Богучанской ГЭС состоит из каменно-набросной части и бетонной. Представленные результаты относятся только к бетонной части плотины. В ней обнаружено четыре собственных частоты (табл. 2). При этом кратность прослеживается только по одному измерению, по-видимому, по вертикали мы имеем дело с кратностью один и в данной конструкции более высокие моды по вертикали не формируются. По картам амплитуд определяется, что стоячие волны сформированы между разными вертикальными границами. Так, первая мода колебаний пространственно ограничена в стационарной части плотины. Третья мода своей третьей пучностью выходит в глухую часть бетонной плотины. Шестая и восьмая моды сформированы в бетонной плотине в целом. Такая особенность формирования поля стоячих волн указывает на блочное строение бетонной плотины. Если первая мода представляет из себя собственные колебания одного блока плотины, то более высокие моды являются собственными колебаниями нескольких блоков.

Ещё более сложными объектами с блочным строением могут быть мосты.

На рис. 7 приведены спектры стоячих волн моста для малых амплитуд колебаний, когда каждый пролёт имеет отдельные собственные колебания и для больших амплитуд колебаний, когда колебания пролётов соединяются в общем колебательном процессе. Это тот случай, когда требуется применять нелинейную модель инженерного сооружения [12].

Заключение

На сегодняшний день метод стоячих волн с успехом восстанавливает полное волновое поле стоячих волн в объектах любой сложности и важным является разработка принципов интерпретации стоячих волн в инженерных объектах. Для простых конструкций зданий интерпретация велась всегда и применялась для верификации расчётных моделей [3, 4, 10, 11], а для сложных выполнялась частичная интерпретация по части набора стоячих волн.

Полная интерпретация полей стоячих волн должна выполняться по следующей схеме:

- Выделение собственных частот и построение карт амплитуд стоячих волн, карт фаз, карт когерентности для каждой собственной частоты.
- Определение объёмов, в которых существуют группы стоячих волн. Фактически нахождение в объекте отражающих границ или выявление блочного строения.
- Обнаружение эффектов, связанных с изменениями кратности, вызванными сложной геометрией объекта.
- Раздельная интерпретация по каждой стоячей волне с определением граничных условий по области её существования и волновых чисел.
- Переход к качественной интерпретации по каждой из стоячих волн на основе интерпретации карт по стоячим волнам и количественной на основе решения волнового уравнения.

Литература

1. Айзенберг Я.М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. М.: Стройиздат, 1976. 229 с.
2. Айзенберг Я.М. Некоторые проблемы обеспечения сейсмической надежности современных ответственных и сложных конструкций // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2005. № 4. С. 23-25.
3. Бах А.А., Красников А.А. Использование метода стоячих волн для анализа динамических характеристик высотных зданий на примере 40-этажного комплекса «Дирижабль», г. Москва // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2014. № 1. С. 26-30.
4. Белостоцкий А.М., Каличава Д.К. Адаптируемые конечно-элементные модели в основе динамического мониторинга несущих конструкций высотных зданий. Ч. 1: Основы разработанной расчётно-экспериментальной методики // International Journal for Computation Civil and Structural Engineering [Международный журнал по расчёту гражданских и строительных конструкций]. Т.8. №4. С.19-27.
5. Еманов А.Ф., Селезнёв В.С., Бах А.А. и др. Пересчёт стоячих волн при детальном инженерно-сейсмологическом исследовании // Геология и геофизика. 2002. № 2. С. 192 – 207.
6. Еманов А.Ф., Бах А.А., Данилов И.А., Дергачёв А.А., Селезнёв В.С., Толошинов А.В., Булатов В.А. Детальные инженерно-сейсмологические исследования плотины Саяно-Шушенской ГЭС // Вестник Красноярской государственной архитектурно-строительной академии: Сб. науч. тр. Вып.6 / Под ред. В.Д. Надеяева. Красноярск: КрасГАСА, 2003. С. 86-108.
7. Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Бах А.А. Когерентное восстановление полей стоячих волн как основа детального сейсмологического обследования инженерных сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2007. № 3. С. 20-24.
8. Еманов А.Ф., Красников А.А. Применение метода стоячих волн для исследования сейсмоизолированных зданий // Вопросы инженерной сейсмологии. 2015. Т. 42. № 4. С. 37-64.
9. Еманов А.Ф., Бах А.А., Клецин В.И. Стоячие волны в плотинах Богучанской и Чиркейской ГЭС // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2018. № 4. С. 28-33.
10. Красников А.А. Стоячие волны в куполах: экспериментальные исследования и математическое моделирование // В сборнике: Трофимукские чтения. Труды научной конференции молодых ученых, аспирантов, студентов. 2007. С. 241-243.
11. Красников А.А., Еманов А.Ф., Бах А.А. Оценка полноты конечно-элементных моделей инженерных сооружений по экспериментальным данным метода стоячих волн // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. Т. 2. № 4. С. 179-184.
12. Мкртычев О.В., Джинчелашвили Г.А. Проблемы учета нелинейностей в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения). М.: МГСУ, 2012. 92 с.
13. Смирнов В.И. Сейсмоизоляция – современная антисейсмическая защита зданий в России // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. № 4. С. 41-54.

References

1. Eizenberg J.M. Sooruzheniya s vyklyuchayushhimisya svyazyami dlya sejsmicheskikh rajonov. M.: Strojizdat, 1976. 229 p. (In Russian).
2. Eizenberg J.M. Nekotorye problemy obespecheniya sejsmicheskoy nadezhnosti sovremennykh otvetstvennykh i slozhnykh konstruksij. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Constructions safety], 2005, no. 4, pp. 23-25. (In Russian).
3. Bakh A.A., Krasnikov A.A. Ispol'zovanie metoda stoyachikh voln dlya analiza dinamicheskikh kharakteristik vysoznykh zdaniy na primere 40-eh tazhnogo kompleksa «Dirizhabl'», g. Moskva. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Constructions safety], 2014, no. 1, pp. 26-30. (In Russian).
4. Belostotskiy A.M., Kalichava D.K. Adaptiruemye konechno-ehlementnye modeli v osnove dinamicheskogo monitoringa nesushhikh konstruksij vysoznykh zdaniy. CH. 1: Osnovy razrabotannoy raschyotno-ehksperimental'noy metodiki. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2012, vol. 8, no. 4, pp. 19-27. (In Russian).
5. Emanov A.F., Seleznyov V.S., Bakh A.A. i dr. Pereschyot stoyachikh voln pri detal'nykh inzhenerno-sejsmologicheskikh issledovaniyakh. Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics], 2002, no. 2, pp. 192-207. (In Russian).
6. Emanov A.F., Bakh A.A., Danilov I.A., Dergachyov A.A., Seleznyov V.S., Toloshinov A.V., Bulatov V.A. Detal'nye inzhenerno-sejsmologicheskie issledovaniya plotiny Sayano-SHushenskoj GEHS. Vestnik Krasnoyarskoj gosudarstvennoj arkhitekturno-stroitel'noj akademii: Sb. nauch. tr. Vyp.6 / Pod red. V.D. Nadelyaeva. Krasnoyarsk: KrasGASA, 2003. Pp. 86-108. (In Russian).
7. Emanov A.F., Seleznev V.S., Bakh A.A. Kogerentnoe vosstanovlenie polej stoyachikh voln kak osnova detal'nogo sejsmologicheskogo obsledovaniya inzhenernykh sooruzhenij. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Constructions safety], 2007, no. 3, pp. 20-24. (In Russian).
8. Emanov A.F., Krasnikov A.A. Primenenie metoda stoyachikh voln dlya issledovaniya sejsmoizolirovannykh zdaniy. Voprosy inzhenernoj sejsmologii [Problems of engineering seismology], 2015, vol. 42, no. 4, pp. 37-64.
9. Emanov A.F., Bakh A.A., Kletsin V.I. Stoyachie volny v plotinakh Boguchanskoj i CHirkejskoj GEHS. Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzhenij [Natural and Technological Risks. Building Safety], 2018, no. 4, pp. 28-33. (In Russian).
10. Krasnikov A.A. Stoyachie volny v kupolakh: ehksperimental'nye issledovaniya i matematicheskoe modelirovanie. V sbornike: Trofimukovskie chteniya. Trudy nauchnoj konferentsii molodykh uchennykh, aspirantov, studentov. 2007, pp. 241-243. (In Russian).
11. Krasnikov A.A., Emanov A.F., Bakh A.A. Ot-senka polnoty konechno-ehlementnykh modelej inzhenernykh sooruzhenij po ehksperimental'nym dannym metoda stoyachikh voln. Interekspo Geo-Sibir'. 2017, vol. 2, no 4, pp. 179-184. (In Russian).
12. Mkrtychev O.V., Dzhinchvelashvili G.A. Problemy ucheta nelinejnostej v teorii sejsmostojkosti (gipotezy i zabluzhdeniya). M.: MGSU, 2012. 92 p. (In Russian).
13. Smirnov V.I. Sejsmoizolyatsiya - sovremennaya antisejsmicheskaya zashhita zdaniy v Rossii. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2013, no. 4, pp. 41-54. (In Russian).

Для цитирования: Emanov A.F., Bakh A.A. Развитие алгоритмов интерпретации метода стоячих волн для исследования зданий и сооружений сложных конструкций // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 5. С. 28-35.

For citation: Emanov A.F., Bakh A.A. Development of Algorithms for Interpreting the Method of Standing Waves for the Study of Buildings and Structures of Complex Constructions. Sejsmostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 5, pp. 28-35. (In Russian).

РАЗМЕЩЕНИЕ РЕКЛАМНО-ИНФОРМАЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА СТРАНИЦАХ ЖУРНАЛА «СЕЙСМОСТОЙКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ»

Реклама на обложке журнала

Размер в мм (+ по 5 мм вылет)		стоимость (в рублях)
2-я обложка	210x297	50 000
3-я обложка	210x297	40 000
4-я обложка	210x297	60 000
Первый разворот		75 000
Второй разворот		68 000

Горизонтальные модульные рекламные блоки на внутренних полосах журнала

1 полоса	210x297	25 000
1/2	210x145	15 000
1/3	210x98	8 000

Условия размещения

Предоплата – 100%. Рекламный макет и документ, подтверждающий оплату, предоставляются не позднее 10 рабочих дней до даты сдачи номера в печать.

Иллюстративный материал необходимо предоставить в следующих форматах: рисунки – в EPS, AI, CDR; фотографии – в TIF, JPG; таблицы, схемы, диаграммы – в Excel, Corel Draw; разрешение файлов – не менее 300 dpi.

Более подробную информацию можно найти на сайте www.seismic-safety.ru

Телефон: 8 (499) 174-70-65 e-mail: info@raee.su

Для тематических номеров действуют специальные условия. При заказе тематического выпуска

Вы получаете 100 экз. журнала в подарок! Дополнительные экземпляры можно приобрести по 1 600 руб/экз.

Статья информационного характера

1 полоса	210x297	16 000
25 полос	210x297	160 000

Размещение баннера на сайте журнала (в течение двух месяцев)

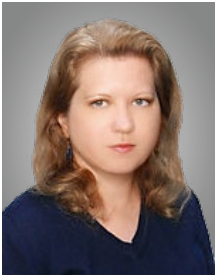
88x31 пикс.	31x11	4 000
100x100 пикс.	35x35	4 500
468x60 пикс.	165x21	5 000

Расценки действительны с 1 января 2019 года, НДС не облагается.

СКИДКИ

Для рекламных агентств, членов РАСС – 15%.

За кратность: 2 публикации – 10%, 3 – 15%, 4 – 20%.



Харланова С.В.

кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика и информатика»

Харланов В.Л.

доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции, основания и надежность сооружений»

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Российская Федерация

УДК 624.042.8

Определение эффективной длины акселерограммы на примере Маккензинского землетрясения 2018 года

Аннотация: Для детерминированного анализа строительных конструкций необходимо в качестве исходных данных задавать реальные или синтезированные акселерограммы. Такой анализ требует значительных временных затрат, так как выполняется шаговым методом. Реальные акселерограммы могут быть значительной длины и требуют большого количества вычислений. Как правило, акселерограммы имеют максимальные значения амплитуд

на небольшом временном участке. В статье рассматривается возможность применения только части акселерограммы без потери адекватности вычисления сейсмических реакций неупругих систем.

Определена методика усечения протяженных акселерограмм землетрясения для анализа нелинейных систем. Показана необходимость применения энергетического критерия. Рассмотрены нелинейные осцилляторы для различных материалов.

Ключевые слова: интенсивность землетрясения, энергетические критерии, линейный осциллятор, нелинейный осциллятор, малоцикловая усталость.

Kharlanova S., candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of Mathematics and Informatics, Volgograd state technical University, Volgograd, Russian Federation

Kharlanov V., doctor of technical Sciences, Professor of the Department «Building constructions, bases and reliability of structures», of the «Volgograd state technical University», Volgograd, Russian Federation

The Definition of the Effective Length of the Accelerogram at the MacKenzie Earthquake Example in 2018

Abstract: For deterministic analysis of building structures it is necessary to set real or synthesized accelerograms as input data. This analysis requires considerable time, as it is performed by a step-by-

step method. Real accelerograms can be of considerable length and require a lot of calculations. As a rule, accelerograms have maximum values of amplitudes on a small temporal site. The article considers

the possibility of using only a part of the accelerogram without loss of adequacy of calculation of seismic reactions of inelastic systems. The method of truncation of extended earthquake accelerograms

for the analysis of nonlinear systems is defined. The necessity of application of the energy criterion is shown. Nonlinear oscillators for different materials are considered.

Keywords: earthquake intensity, energy criteria, linear oscillator, non-linear oscillator, low-cycle fatigue.

Действующие нормы РФ предписывают выполнять расчёты сооружений с учетом сейсмических воздействий на две расчетные ситуации: а) соответствующие уровню ПЗ (проектное землетрясение) и б) уровню МРЗ (максимальному расчётному землетрясению). Расчёты по пункту «а», как правило, выполняются в частотной области линейно-спектральным методом. Для определения сейсмических нагрузок линейно-спектральным методом достаточно двух параметров: частотного состава акселерограммы и её максимальной амплитуды. Частотный состав акселерограмм отражён в коэффициенте динамичности β , который обобщает спектры реакций линейных осцилляторов ансамбля презентативной выборки акселерограмм для конкретных грунтовых условий. Для учёта величины амплитуды акселерограммы, предлагается умножать значения нормативного коэффициента динамичности на соответствующие амплитуды.

Расчёт на сейсмическое воздействие по пункту «б» предполагает анализ конструкций во временной области на воздействия реальных или синтезированных акселерограмм. Эти расчёты могут быть выполнены детерминированными методами.

При детерминированном анализе строительных конструкций на реальные акселерограммы, как правило, применяются методы прямого интегрирования. Эти методы требуют разбиения всего процесса воздействия на малые участки – шаги интегрирования. На каждом шаге интегрирования проводится полный анализ строительной системы с учётом различных нелинейностей. Наиболее часто рассматривается физическая нелинейность, связанная с неупругими деформациями материала конструкций. В процессе воздействия в материале возникают пластические полуциклы гистерезисного типа, приводящие к разрушению конструк-

ций в результате малоциклового усталости. Эти полуциклы группируются на небольшом участке воздействия. Вне этого участка колебания практически упругие. Учитывая влияние переходных процессов, для адекватного анализа состояния строительных конструкций, необходимо к участкам максимального поглощения энергии добавить участки входа в критическую полосу и выхода из неё.

Как правило, записи сильных землетрясений не превышают 20 с, на некоторых станциях записи землетрясений достигают длины в 60 с. Но иногда имеются записи длиной до 200 с. Для временного анализа нелинейных систем такая запись слишком длинна. Встает вопрос об эффективной длине акселерограммы. Так как спектры реакций для линейных и нелинейных осцилляторов практически совпадают для акселерограмм малой интенсивности, то такие участки могут быть удалены из акселерограммы без ущерба нелинейного анализа строительных систем.

Процедура определения эффективной длины акселерограммы состоит из следующих этапов:

1. строятся спектры реакций линейных и нелинейных осцилляторов для полной акселерограммы;
2. последовательно строятся спектры упругих отпоров на участках с малыми амплитудами акселерограммы (в основном в начале и в конце);
3. участки, для которых амплитуды линейных осцилляторов не превосходят амплитуды нелинейных отбрасываются;
4. строятся спектры коэффициентов малоциклового усталости для усечённой акселерограммы и сравниваются с аналогичными спектрами исходной;
5. дальнейшее «усечение» проводят до тех пор, пока спектры коэффициентов малоциклового усталости

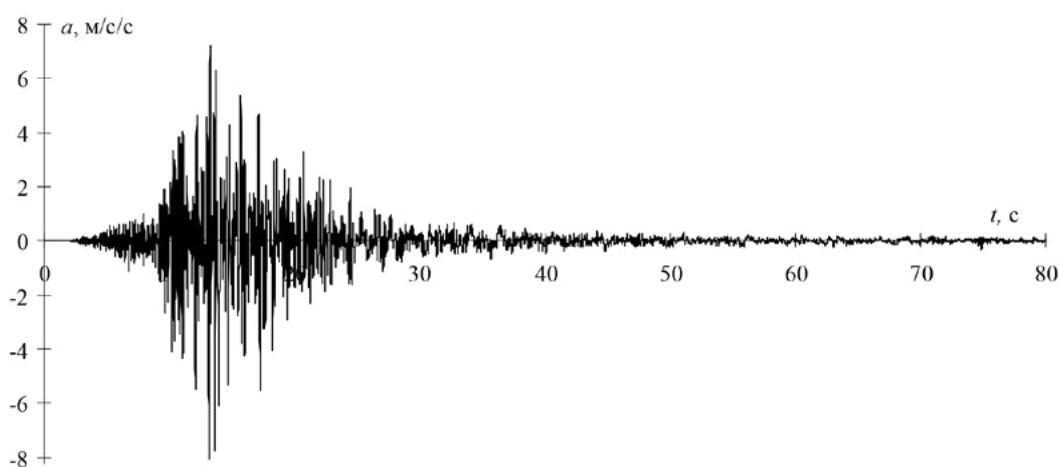


Рисунок 1 — Исходная акселерограмма. Представлен участок диаграммы длиной 80 с ввиду малой информативности остального участка
Figure 1 — The original accelerogram. The section of the diagram with the length of 80 seconds is presented due to the low information content of the rest of the section

Таблица 1

Table 1

Материал	η	μ	ξ	$[n]$
Бетон класса В25	6,24	7,95	5%	2
Бетон класса В100	2,17	11,38	5%	2
Сталь класса С235	130	8	2,5%	3
Сталь класса С345	70,88	6,96	2,5%	3

усечённой акселерограммы не будут меньше исходных спектров.

В качестве примера рассмотрена акселерограмма землетрясения, произошедшего 30 ноября 2018 г. в окрестности Пойнт-Маккензи (штат Аляска) магнитудой 7 по шкале MW, длиной 180 с [1] (рис. 1).

Акселерограмма разбивается на 3 участка: 1) 0 – 5с максимальная амплитуда 0,4 м/с², 2) 25 – 40с максимальная амплитуда 1,14 м/с², 3) 40–80с максимальная амплитуда 0,48 м/с². Для каждого участка построены спектры линейных и нелинейных осцилляторов.

Уравнение линейного осциллятора имеет вид [2]:

$$\ddot{y}(t) + 2\xi\omega\dot{y}(t) + \omega^2 y(t) = \ddot{y}_0(t) \quad (1)$$

где $y(t)$ – вектор перемещения линейного осциллятора, $\dot{y}(t)$ – вектор скорости осциллятора, $\ddot{y}(t)$ – вектор ускорения осциллятора, ω – круговая частота собственных колебаний, ξ – коэффициент затухания, $\ddot{y}_0(t)$ – акселерограмма землетрясения.

Спектр реакции линейного осциллятора S_B [3]:

$$S_B(\omega) = \omega^2 y \quad (2)$$

Уравнение нелинейного осциллятора без учета продольного изгиба [3]

$$\ddot{y}(t) + 2\xi\omega\dot{y}(t) + \omega^2 \int_0^{y(t)} \left(1 + \eta(\mu + 1) \left(\frac{S_B}{S_d} \right)^\mu \right)^{-1} dy = \ddot{y}_0(t), \quad (3)$$

где η – отношение пластической деформации к упругой в момент разрушения, μ – показатель нелинейности, S_d – предельный отпор нелинейного осциллятора.

Предельный отпор нелинейного осциллятора определяется из следующих условий разрушения [4]:

1) удельная энергия в пластическом полуцикле (W_{nc}) превышает удельную энергию разрушения (W_p);

2) разрушение в результате малоциклового усталости.

Удельная энергия разрушения для принятого характера физической нелинейности определяется соотношением

$$W_p = S_d^2 \{0,5 + \eta(\mu + 1)/(\mu + 2)\}/\omega^2 \quad (4)$$

Малоцикловая усталость определяется отношением полной энергии пластических деформаций к энергии разрушения

$$[n] = W_{tot} / W_p, \quad (5)$$

где $[n]$ – количество пластических полуциклов, W_{tot} – энергия пластических деформаций за всё время воздействия.

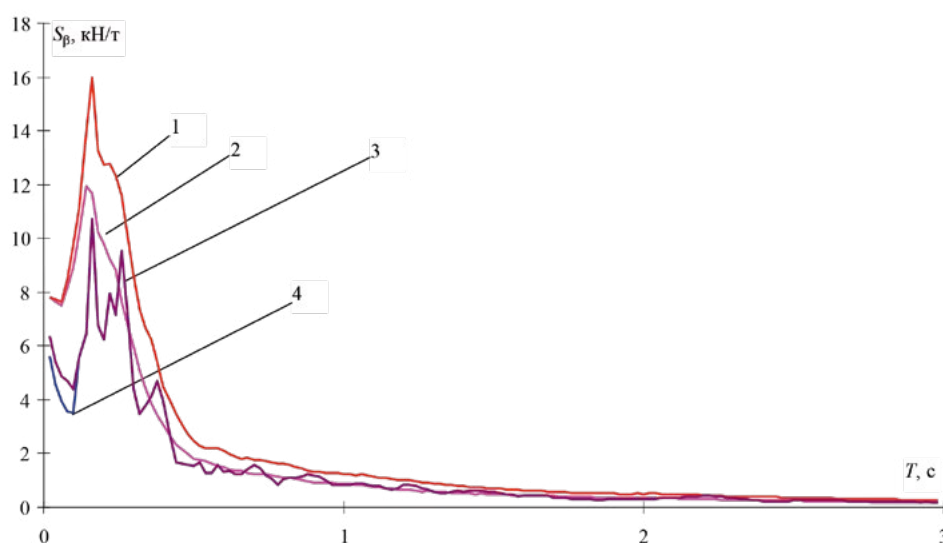


Рисунок 2 — Спектр упругого отпора нелинейных осцилляторов для различных материалов: 1 – бетон В100, 2 – бетон В25, 3 – сталь С345, 4 – сталь С235

Figure 2 — Spectrum of elastic resistance nonlinear oscillators for various materials: 1 – concrete 100, 2 – Beton B25, 3 – steel S345, 4 – steel S235

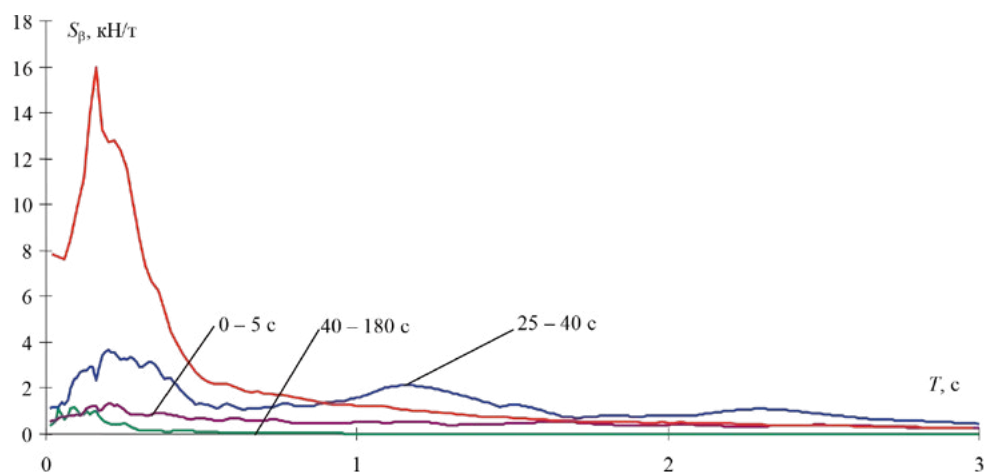


Рисунок 3 — Спектры реакций линейных осцилляторов на участках 0 – 5 с, 25 – 40 с, 40 – 180 с и спектр реакций нелинейного осциллятора полной акселерограммы

Figure 3 — Response spectra of the linear oscillators at the sites 0 – 5 s, 25 – 40 s, 40 – 180 s. and the range of responses of a nonlinear oscillator full accelerograms

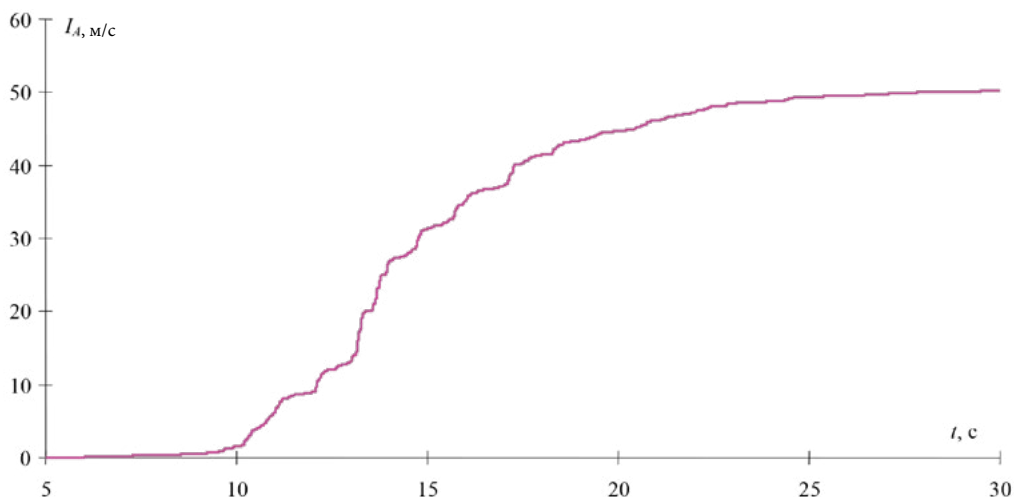


Рисунок 4 — Изменение критерия Ариаса на участке 5 – 30 с.

Figure 4 — Changing criterion Arias at the site 5 – 30 s.

Рассмотрено влияние различных материалов (бетон класса В25, бетон класса В100, сталь класса С235, сталь класса С345) на спектры упругого отпора нелинейных осцилляторов на участках с малой интенсивностью. В таблице приведены коэффициенты η и μ , полученные В.М. Бондаренко [5] для некоторых материалов, а также коэффициенты затухания, используемые в уравнении (3). Коэффициент затухания принят нормируемый для соответствующих материалов.

Редуцирование сейсмической реакции составляет от 2 для бетона В100 до 4 для стали С235. Для дальнейшего исследования принят бетон В100.

Далее сравнивались спектры линейного осциллятора на участках с малой интенсивностью и нелинейного осциллятора для бетона класса В100 полной акселерограммы. На рис. 3 представлены спектры линейных осцилляторов на участках акселерограммы с малой интен-

сивностью. Так как амплитуды линейных осцилляторов на этих участках меньше спектра реакций нелинейного осциллятора, то эти участки можно исключить из детерминированного анализа.

Таким образом, остается участок 5 – 25с с наибольшей интенсивностью. Если рассматривать только линейные осцилляторы, то спектр на участке 9,5 – 18с полностью идентичен спектру полной акселерограммы. Однако амплитуды спектра нелинейного осциллятора на этом участке меньше амплитуд спектра нелинейного осциллятора всей акселерограммы.

При дальнейшем усечении данного участка применен критерий Ариаса [6]:

$$I_A = \int_0^t \ddot{y}_o(t)^2 dt \quad (6)$$

Интенсивность Ариаса для исходной акселерограммы составляет $I_A = 51,1$ м/с; для усеченной акселерограммы

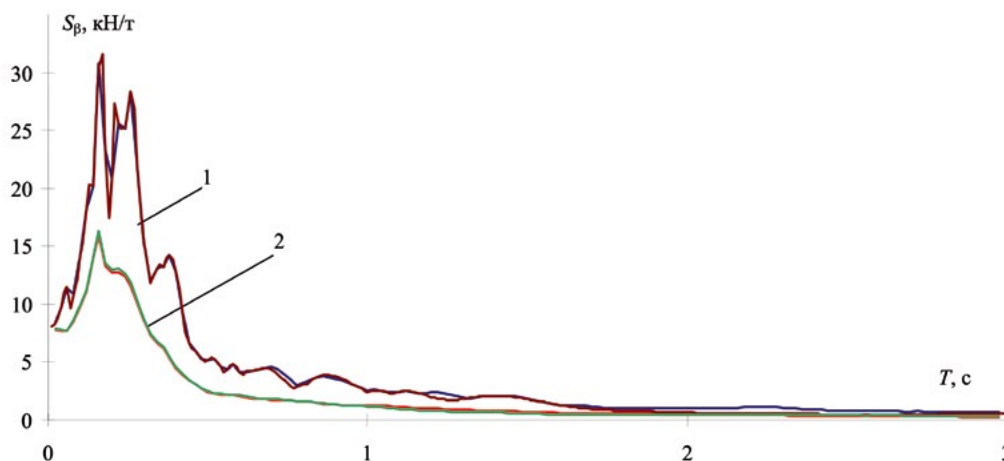


Рисунок 5 — Спектры реакций: 1 — линейного осциллятора, 2 — нелинейного осциллятора для исходной (сплошная) и усеченной (штрих-пунктир) акселерограмм
Figure 5 — Reaction spectra: 1-linear oscillator, 2-nonlinear oscillator for initial (solid) and truncated (dashed) accelerograms

на участке 5 – 25 с — $I_A = 49,4$ м/с; для усеченной акселерограммы на участке 9 – 25 с — $I_A = 48,9$ м/с; для усеченной акселерограммы на участке 9 – 20 с — $I_A = 44,2$ м/с.

На рис. 4 отчетливо видно, что интенсивный рост критерия происходит на участке 9 – 25 с.

Спектры реакций линейного и нелинейного осцилляторов для исходной и усеченной акселерограммы также совпадают.

Итак, учитывая энергетический критерий, спектры коэффициента малоциклового усталости и спектры реакций линейного и нелинейного осцилляторов, исходная длина акселерограммы сократилась более чем в 11 раз со 180 с до 16 с.

Выводы

1. Максимальная амплитуда спектра нелинейного осциллятора наблюдается у бетона класса В100. В этом случае пик нелинейного осциллятора меньше пика линейного осциллятора не менее чем в 2 раза на участках с наименьшей интенсивностью и не более чем в 3 раза на участках с наибольшей интенсивностью.

2. Пики спектров реакций линейных и нелинейных осцилляторов лежат в одном диапазоне частот для участков с наименьшей и наибольшей интенсивностью.

3. Применяя спектры нелинейных осцилляторов, можно существенно сократить время воздействия при детерминированном анализе строительных конструкций.

Литература

1. Anchorage, Alaska. Earthquake of 30 Nov. 2018// <http://www.strongmotioncenter.org/cgi-bin/CESMD>
2. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений. М.: Стройиздат, 1979. 320 с.
3. Харланов, В.Л. Редуцирование реакций неупругих систем при сейсмических воз-

действиях/В.Л. Харланов// *Строительная механика и расчёт сооружений*. 2012. № 1. С. 63-65.

4. Харланов В.Л., Харланова С.В. Спектры реакций нелинейных осцилляторов на акселерограммы землетрясений // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2013. № 4. С. 67-70.

5. Бондаренко В. М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона. Харьков: Изд-во Харьковского ун-та, 1968. 323 с.

6. Arias A. A Measure of Earthquake Intensity/ A Arias // *Seismic Design for Nuclear Power Points* (ed. R.J. Hansen). MIT Press. Cambridge, Massachusetts, 1970, pp. 438-483.

References

1. Anchorage, Alaska. Earthquake of 30 Nov. 2018// <http://www.strongmotioncenter.org/cgi-bin/CESMD>
2. Clough Ray W., Penzien J. *Dinamika sooruzhenii [Dynamics of Structures]*. М.: Stroizdat, 1979, 320 p. [In Russian].
3. Harlanov V.L. *Redutsirovanye reakzii neuprugih system pri seismicheskikh vozdeystviyakh*.

Stroitel'naja mekhanika i raschet sooruzhenii [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2012, no 1, pp. 63-65. [In Russian].

4. Harlanov V.L., Harlanova S.V. *Spektry reakzii nelinejnyh ostillatorov na akselerogrammy zemletrjasenii. Stroitel'naja mekhanika i rastshet sooruzhenii [Structural Mechanics and Analysis of*

Constructions]. 2013, no. 4, pp. 67-70. [In Russian].

5. Bondarenko M. *Nekotorye voprosy nelinejnoj teorii zhelezobetona*. Kharkov: Izd. Kharkovskogo un-ta, 1968, 323 p. [In Russian].

6. Arias A. A Measure of Earthquake Intensity. *Seismic Design for Nuclear Power Points* (ed. R.J. Hansen). MIT Press. Cambridge, Massachusetts, 1970, pp. 438-483. [In English].

Для цитирования: Харланова С.В., Харланов В.Л. Определение эффективной длины акселерограммы на примере Маккензинского землетрясения 2018 года // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2019. № 5. С. 36-40.

For citation: Kharlanova S.V., Kharlanov V.L. The Definition of the Effective Length of the Accelerogram at the MacKenzie Earthquake Example in 2018. *Seismostoiкое stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety]*, 2019, no. 5, pp. 36-40. (In Russian).



Прокопович С.В.
аспирант

ФГБОУ ВО Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Российская Федерация

УДК 624.042.7

Абсолютная кумулятивная скорость как показатель силы землетрясения

Аннотация: В статье рассматриваются особенности задания энергетических характеристик сейсмических воздействий. Оценивается разброс тех или иных энергетических характеристик. Показано, что по показателю разброса статистических данных использование абсо-

лютной кумулятивной скорости предпочтительнее, чем использование интенсивности по Ариасу. Приводятся параметры распределения величины абсолютной кумулятивной скорости, постоянные в рамках заданной балльности.

Ключевые слова: энергетические характеристики, интенсивность по Ариасу, плотность сейсмической энергии, абсолютная кумулятивная скорость, работа сил пластического деформирования, разброс величин энергетических характеристик.

Prokopovich S., postgraduate, department «Strength of Materials and Structures», Emperor Alexander I Saint Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russian Federation

Absolute Cumulative Velocity as a Measurement of Earthquake Strength

Abstract: In this paper the aspects of determination of energy characteristics of seismic input are studied. The range of various energy characteristics is estimated. The index of range of statistical data shows that using cumulative absolute velocity

is preferable to using Arias intensity. The parameters of distribution of absolute cumulative velocity values are described. Each mark on the Richter scale corresponds to one constant velocity value.

Keywords: energy characteristics of seismic input, Arias intensity, seismic energy density, absolute cumulative velocity, plastic forces' work, range of energy characteristics.

Введение

В настоящее время идёт поиск универсальных характеристик сейсмических воздействий. Как известно, в нормах большинства стран, в том числе и в России, в качестве

характеристики силы землетрясения используется макросейсмический балл и соответствующее ему пиковое ускорение основания (PGA). В литературе [1-3] неоднократно отмечалось, что PGA плохо коррелирует с силой земле-

Таблица 1 — Параметры распределения для энергетических характеристик

Table 1 — Distribution parameters of energy characteristics

Характеристика	Среднее значение	Среднеквадратическое отклонение	Коэффициент вариации	Параметр распределения β
Интенсивность по Ариасу I_A	5.44	4.03	0.74	1.365
Плотность сейсмической энергии SED	0.752	0.779	1.04	0.966
Абсолютная кумулятивная скорость CAV	19.096	10.502	0.55	1.89

трясения, определенной на основе макросейсмических данных. Многие авторы [4,5] указывают на необходимость использовать для определения силы землетрясения энергетические характеристики. К энергетическим характеристикам, в частности, относятся

интенсивность по Ариасу:

$$I_A = \frac{\pi}{2 \cdot g} \int_0^{eq} \ddot{y}_0(t)^2 dt,$$

плотность сейсмической энергии:

$$SED = \int_0^{eq} \dot{y}(t)^2 dt,$$

абсолютная кумулятивная скорость:

$$CAV = \int_0^{eq} |\dot{y}_0(t)| dt,$$

работа сил пластического деформирования:

$$PFW = \int_0^{eq} R(y, \dot{y}) \cdot \dot{y} dt,$$

где $R(y, \dot{y})$ – упругопластическая реакция при переходе в пластическую стадию работы сооружения, t_{eq} – продолжительность воздействия, \dot{y} – скорости основания.

Состояние вопроса

Указанные показатели позволяют, в той или иной мере определить разрушительность сейсмического воздействия [6,7]. За рубежом, особенно в США, вопросу выбора энергетических характеристик уделяется большое внимание. В частности, в работе [5] исследованы интенсивность по Ариасу и CAV для более чем 600 калифорнийских землетрясений. На основе этих исследований авторами рекомендуется использовать CAV ввиду ее наименьшего разброса, однако, так как такие выводы были получены в результате анализа только лишь калифорнийских землетрясений, эта рекомендация требует дальнейшего обоснования.

В работах Ю.Л. Рутмана [4,6,7] сравниваются показатели I_A , CAV и SED и предпочтение отдается величине SED.

При выборе той или иной характеристики важным является ее зависимость от преобладающего периода воздей-

ствия. В случаях, когда такой зависимости не наблюдается, есть возможность говорить о величине рассматриваемой характеристики для заданной силы землетрясения. Если такая зависимость выявлена, то в рамках одной силы землетрясения (одного балла) рассматриваемая величина будет зависеть от преобладающего периода воздействия, и сама по себе не может определять силу воздействия.

Метод исследования

В статье [8] было отмечено, что основные энергетические характеристики, такие, как интенсивность по Ариасу, плотность сейсмической энергии и абсолютную кумулятивную скорость (что является достаточно грубым, так как в этой же статье отмечено, что SED возрастает с ростом преобладающего периода воздействия T_{eq}) допустимо принимать не зависящими от преобладающего периода воздействия и постоянными в рамках одного и того же балла. Это позволяет задавать их математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение, а также строить функцию плотности распределения (ф.п.р.) в рамках одного балла. При наличии ф.п.р. можно рассматривать задачу превышения с заданной вероятностью рассматриваемой величиной ее расчетного значения.

В отечественном литературе [9] в качестве ф.п.р. использована функция распределения Вейбулла, имеющая вид:

$$P(Q) = 1 - e^{-\left(\frac{Q}{\theta}\right)^\beta},$$

где $P(Q)$ – вероятность превышения расчётной величины;

Q – математическое ожидание, в данном случае равное среднему значению из опытных данных;

θ – параметр масштаба;

β – параметр формы.

Параметры масштаба и формы связаны с математическим ожиданием μ и дисперсией σ^2 следующим соотношением [10]

$$\begin{cases} \bar{Q} = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \\ \sigma_Q^2 = \theta^2 \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]^2 \right\}, \end{cases}$$

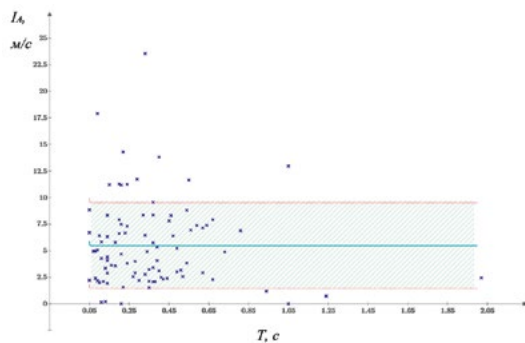


Рисунок 1 — Разброс для постоянной величины I_A
Figure 1 — I_A constant value range

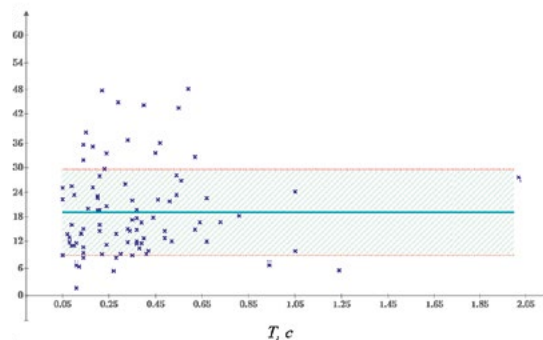


Рисунок 2 — Разброс для постоянной величины CAV
Figure 2 — CAV constant value range

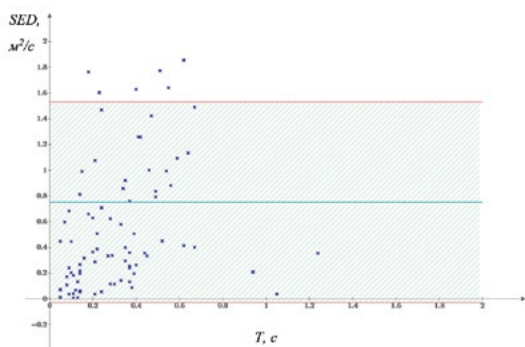


Рисунок 3 — Разброс для постоянной величины SED
Figure 3 — SED constant value range

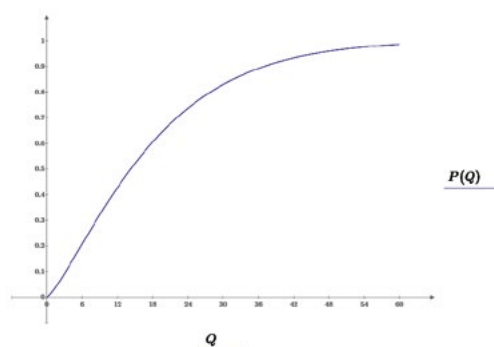


Рисунок 4 — Вероятность превышения расчётной величины для CAV
Figure 4 — Probability of CAV design value exceedance

где Q – математическое ожидание случайной величины;
 σ_Q – среднеквадратичное отклонение случайной величины;
 Γ – гамма функция.

Для проведения дальнейших расчетов автор использовал базу из 91 акселерограммы 9-балльных воздействий, собранную китайскими и российскими специалистами [11].

Результаты исследования

Ниже приведена таблица значений, используемых при определении параметра β величин и непосредственно сам параметр β для различных энергетических характеристик воздействия.

Разброс величин показан на графиках зависимости энергетических характеристик от преобладающего периода воздействия ниже (рис. 1, 2, 3). Чем меньше коэффициент вариации, тем уже полоса отклонения от средней величины.

Так как величина CAV имеет наименьший коэффициент вариации, в качестве примера приведён процесс определения вероятности превышения расчётной величины именно этой характеристики (рис. 4, таблица 2).

Выводы

Величина SED показала наибольший разброс натуральных данных. Можно утверждать, что его использование в качестве постоянной характеристики силы землетрясения требует дальнейших исследований и модификации этого параметра.

При сопоставимых коэффициентах вариации интенсивности по Ариасу и кумулятивной скорости CAV последняя является более устойчивой энергетической характеристикой. Этот результат совпадает с выводами американских специалистов [5], хотя они получены на основе совершенно разных баз данных.

Таблица 2 — Обеспеченность величин CAV

Table 2 — Probability of CAV value

Обеспеченность, %	Величина CAV, м/с
40	20.543
30	23.736
20	27.677
10	33.451

Литература

1. Долгая А.А. Моделирование сейсмического воздействия коротким временным процессом // Э-И. ВНИИТПИ. Сер. "Сейсмостойкое строительство". Вып. 5-6. 1994. С. 56-63.
2. Уздин А.М. Задание сейсмического воздействия. Взгляд инженера-строителя. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2005. №1. С. 27-31.
3. Уздин А.М. Что скрывается за линейно-спектральной теорией сейсмостойкости. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2009. №2. С. 18-23.
4. Рутман Ю.Л. Анализ нагруженности сооружения на основе величины энергетического критерия интенсивности землетрясения // Строительная механика и расчет сооружений. 2012. №2. С. 61–63.
5. Kenneth W. Campbell, Yosef Bozorgnia. Cumulative Absolute Velocity (CAV) and

- Seismic Intensity Based on the PEER-NGA Database. *Earthquake Spectra*, vol. 28, Number 2, pp. 457-485.
6. Рутман, Ю.Л., Симборт Э. Анализ возможностей применения энергетического критерия CAV для расчета сейсмостойкости сооружения / IX Всеукраинская науч.-техн. конф. «Строительство в сейсмических районах Украины». Киев: ДП НДІБК, 2012. С. 618–625.
 7. Шивуа А. Дж., Ю.Л. Рутман. Энергетический метод оценки сейсмостойкости с помощью удельной энергетической плотности (УЭП) // Актуальные проблемы современного строительства: Сборник докладов «68-я Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых». СПбГАСУ. 2015. Ч. I. С. 6–11.
 8. Прокопович С.В. Оценка зависимости энергетических характеристик сейсмического воздействия от его преобладающего периода // Сейсмостойкое стро-

- ительство. Безопасность сооружений. 2018. №4. С. 50-55.
9. Dolgaya A.A., Indeykin A.V., Uzdin A.M. Earthquake accelerations for construction calculating with different responsibility degrees. *Structural Dynamics – EURODYN'96/1996 Balkema, Rotterdam*. ISBN 9054108134. Pp.143-147.
 10. Уздин А.М., Воробьев В.А., Богданова М.А., Сигидов В.В., Ваничева С.С. Экономика сейсмостойкого строительства. М.: ФГПУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». 2017. 176 с.
 11. Уздин А.М., Нестерова О.П., Прокопович С.В., Долгая А.А., Чанг Юань, Гуань Юхай, Ван Хайбинь. Моделирование сейсмических воздействий для динамического расчета зданий и сооружений. Российско-китайский научный журнал «Содружество» Ежемесячный научный журнал научно-практической конференции. 2017. № 20. I часть. С. 59-66.

References

1. Dolgaya A.A. Modelirovanie seismicheskogo vozdeistviya korotkim vremennim processom. E-I. VNIITPI. Ser. "Seismostokoe stroitelstvo". Vyp. 5-6. 1994, pp. 56-63. [In Russian].
2. Uzdin A.M. Zadanie seismicheskogo vozdeistviya. Vzgliad inzhenera-stroitelia. Seismostokoe stroitelstvo. Bezopasnost sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2005, no.1, pp. 27-31. [In Russian].
3. Uzdin A.M. Chto skryvaetsia za lineino-spektralnoi teoriei seismostokosti. Seismostokoe stroitelstvo. Bezopasnost sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2009, no 2, pp. 18-23. [In Russian].
4. Rutman Yu.L. Analiz nagrujennosti sooruzheniya na osnove velichini energeticheskogo kriteriya intensivnosti zemletryaseniya. Stroitel'naya mehanika i raschet sooruzhenii [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2012, no.2, pp.61-63. [In Russian].
5. Kenneth W. Campbell, Yosef Bozorgnia. Cu-

- mulative Absolute Velocity (CAV) and Seismic Intensity Based on the PEER-NGA Database. *Earthquake Spectra*, vol. 28, Number 2, pp. 457-485. [In English].
6. Rutman Yu.L., Simbort E. Analiz vozmozhnostei primeneniia energeticheskogo kriteriia CAV dlia rascheta seismostokosti sooruzheniia. IX Vseukrainskaia nauch.-tehn. konf. «Stroitelstvo v seismicheskikh raionah Ukrainy». Kiev. DP NDIBK. 2012, pp. 618–625. [In Russian].
 7. Shivua A. Dj., Rutman Yu.L. Energeticheskii metod otsenki seismostokosti s pomoschiu udelnoi energeticheskoi plotnosti (UEP). Aktualnye problemy sovremennogo stroitelstva. Sbornik dokladov «68-a mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaya konferenciya studentov, aspirantov i molodyh uchenykh». SPbGASU. 2015. Ch. I. Pp. 6–11. [In Russian].
 8. Prokopovich S.V. Otsenka zavisimosti energeticheskikh harakteristik seismicheskogo vozdeistviya ot ego preobladayushchego perioda. Seismostokoe stroitelstvo. Bezopasnost sooruzhenii

- [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2018, no.4, pp. 50-55. [In Russian].
9. Dolgaya A.A., Indeykin A.V., Uzdin A.M. Earthquake accelerations for construction calculating with different responsibility degrees. *Structural Dynamics – EURODYN'96*. 1996 Balkema, Rotterdam. ISBN 9054108134. Pp.143-147. [In Russian].
 10. Uzdin A.M., Vorobev V.A. Bogdanova M.A., Sigidov V.V., Vanicheva S.S. Ekonomika seismostokogo stroitelstva. M., FGPU DPO «Uchebno-metodicheskii tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte». 2017.176 p. [In Russian].
 11. Uzdin A.M., Nesterova O.P., Prokopovich S.V., Dolgaya A.A., Chang Yuan, Guan Yuhai, Van Haibin. Modelirovanie seismicheskikh vozdeistvii dlia dinamicheskogo rascheta zdaniy i sooruzhenii. Rossiisko-kitaitskii nauchnyi zhurnal «Sodruzhestvo». Ezhemesiachnyi nauchnyi zhurnal nauchno-prakticheskoi konferencii. 2017, no. 20. I chast. Pp. 59-66. [In Russian].

Для цитирования: Прокопович С.В. Абсолютная кумулятивная скорость как показатель силы землетрясения // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 5. С. 41-44.

For citation: Prokopovich S.V. Absolute Cumulative Velocity as a Measurement of Earthquake Strength. *Seismostokoe stroitelstvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 5, pp. 41-44. (In Russian).



Абдрахимов В.З.
доктор технических наук, профессор

Самарский государственный экономический университет, Самара, Российская Федерация

УДК 666.691:669.86.002.3

Использование обожженного солевого алюминиевого шлака для получения высокопрочного сейсмостойкого кирпича

Аннотация: С учетом сокращения запасов традиционного природного сырья необходимо найти новые способы его замещения различными видами отходов. Опыт передовых зарубежных стран показал техническую осуществимость этого направления и применения еще и как инструмента защиты природной среды от загрязнения. В настоящей работе взамен дегидратированной глины предлагается использовать в качестве отощителя обожженный солевой алюминиевый шлак. На основе межсланцевой глины и обожженного солевого алюминиевого шлака получен высокопрочный сейсмостойкий кирпич М200 без применения природного традиционного сырья. Предложен запатентованный способ обогащения оксидом алюминия солевого алюминиевого шлака. Солевые алюминиевые шлаки обжигают при температуре 900-920°C до содержания потерь при прокаливании не более 4%. После обжига солевых алюминиевых шлаков в интервале температур 900-920°C химический состав их значительно обогатился оксидом алюми-

ния. Полученный керамический кирпич соответствовал марке 200, из которого благодаря использованию обожженных солевых алюминиевых шлаков возможно возводить несущие стены нижних этажей зданий повышенной этажности (15 этажей и более). Разработаны инновационные предложения по использованию отходов производств: межсланцевой глины и обожженных солевых алюминиевых шлаков в производстве керамического высокопрочного сейсмостойкого кирпича.

На основе межсланцевой глины и обожженного солевого алюминиевого шлака получен высокопрочный сейсмостойкий кирпич М175-200 без применения природного традиционного сырья. Обожженный солевой алюминиевый шлак, содержащий более 70% Al_2O_3 повышает прочность и морозостойкость изделий керамического кирпича. Безусловным достоинством использования многотоннажных отходов солевых алюминиевых шлаков и межсланцевой глины – отходов горючих сланцев, является разгрузка экологической обстановки.

Ключевые слова: межсланцевая глина, обожженный солевой алюминиевый шлак, сейсмостойкий керамический кирпич.

Abdrakhimov V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Samara State University of Economics, Samara, Russian Federation

The Use of Annealed Aluminum Salt Slag to Obtain a High Strength Antiseismic Brick

Abstract: Taking into account the reduction of reserves of traditional natural raw materials, it is necessary to find new

ways to replace it with different types of waste. The experience of advanced foreign countries has shown the technical feasibility of

this area and the use of more as a tool to protect the environment from pollution. In the present work, instead of dehydrated clay, it is proposed to use burnt salt aluminum slag as a otoschitel. High-strength earthquake-resistant brick M200 was obtained on the basis of inter-shale clay and burnt salt aluminum slag without the use of natural traditional raw materials. Proposed zaparovanny way of dressing aluminum oxide aluminum salt slag. Salt aluminum slags are fired at a temperature of 900-920 °C to the content of losses during calcination not more than 4%. After firing of salt aluminum slags in the temperature range 900-920 °C, their chemical composition was significantly enriched with aluminum oxide. The resulting ceramic brick corresponded to the brand 200, from which, thanks to the use of burnt salt aluminum slags, it is

possible to erect bearing walls of the lower floors of buildings of higher floors (15 floors or more). Innovative proposals have been developed for the use of waste products: inter-shale clay and burnt salt aluminum slag in the production of high-strength ceramic earthquake-resistant bricks.

High-strength earthquake-resistant brick M175-200 was obtained on the basis of inter-shale clay and burnt salt aluminum slag without the use of natural traditional raw materials. The burnt salt aluminum slag containing more than 70% Al_2O_3 increases durability and frost resistance of products of a ceramic brick. The absolute advantage of the use of multi-tonnage waste of salt aluminum slag and inter-shale clay – waste oil shale is unloading the environmental situation.

Keywords: inter-shale clay, burnt salt aluminum slag, earthquake-resistant ceramic brick.

Введение

Большинство легкоплавких (кирпично-черепичных) глин Российской Федерации классифицируются как полукислые и кислые, причем неспекающиеся с высоким содержанием красящих оксидов ($Fe_2O_3 > 3\%$) и низким содержанием оксида алюминия ($Al_2O_3=12-18\%$). При таком содержании оксида алюминия в глинистых компонентах из них невозможно получить кирпич марок М150 и более. Для возведения несущих стен нижних этажей зданий повышенной этажности (15 этажей и более) требуется керамический кирпич марок М150-М300.

В соответствии с п.6.14.4 СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах», для кладки несущих и самонесущих стен или заполнения участвующего в работе каркаса следует применять керамический кирпич и камни марки не ниже М125 при сейсмичности площадки строительства 8 и 9 баллов.

Основным резервом для получения высокомарочных керамических кирпичей и камней является использование в качестве отощителей высокоглиноземистых отходов цветной металлургии.

Для улучшения природных свойств глиняного сырья – уменьшения общей усадки, чувствительности к сушке и обжигу, улучшения формовочных свойств и снижения деформационных искривлений широко используют и применяют отощающие добавки, такие как, например, песок, шамот, дегидратированную глину и другие минеральные невыгорающие добавки [1-3].

Применение в качестве отощителя кварцевого песка не всегда дает желаемый результат, потому что наиболее подходящий для отощения зерновой состав песка должен быть от 0,5 до 1,5 мм, так как более мелкий песок не улучшает сушильные свойства полуфабрикатов (кирпича-сырца). Для повышения качества керамического материала, улучшения сушильных свойств и снижения деформационных искривлений кирпича-сырца, из имеющих природных материалов во многих регионах России остается применять только дегидратированную глину. Эта глина представляет собой обожженную до 600-800°C, из которой удалена значительная часть химически связанной воды. Благодаря этому дегидрати-

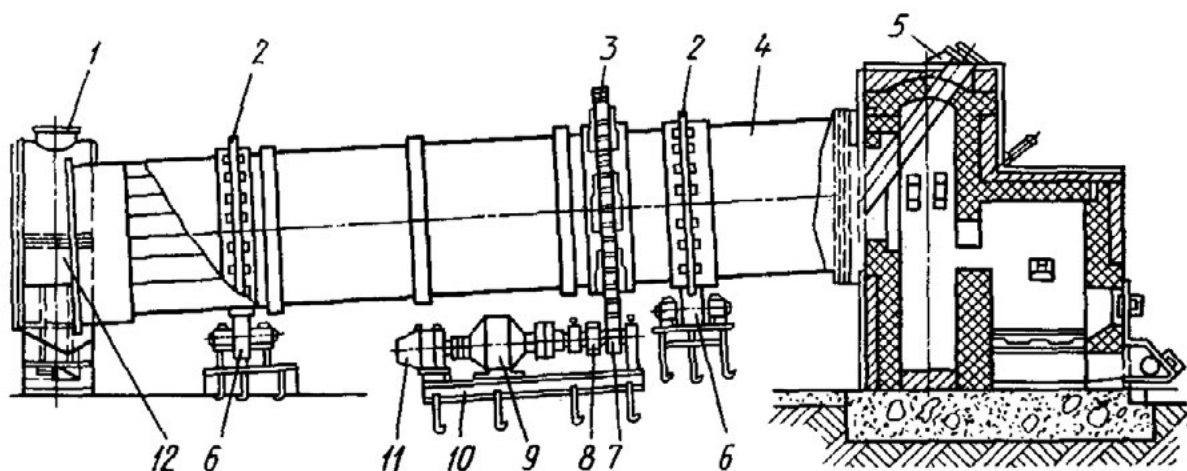


Рисунок 1 — Вращающаяся печь: 1 – патрубок; 2 – бандаж; 3 – венцовая шестерня; 4 – сварной стальной цилиндр; 5 – загрузочная течка; 6 – опорный ролик; 7 – подвенцовая шестерня; 8 – зубчатая пара; 9 – редуктор; 10 – сварная плита; 11 – электродвигатель; 12 – разгрузочная камера

Figure 1 — Rotating furnace: 1 – branch pipe; 2 – bandage; 3 – gear pair; 4 – welded steel cylinder; 5 – loading heat; 6 – support roller; 7 – podventsovaya gear; 8 – gear pair; 9 – reducer; 10 – welded plate; 11 – electric motor; 12 – unloading chamber

Таблица 1 — Поэлементные химические составы используемых отходов**Table 1** — Element chemical compositions of waste used

Компонент	Концентрация, % масс								
	O	Al	Mg	K	Ca	Cl	Fe	Si	S
Необожженный солевой алюминиевый шлак	67,95	13,93	1,55	2,77	0,98	11,75	1,07	—	—
Обоженный солевой алюминиевый шлак	66,44	21,16	0,35	1,56	2,55	7,86	-	0,07	—
Межсланцевая глина	51,06	9,20	1,04	K- 1,75 +Na-0,46	8,53	—	3,35	18,66	1,83

Таблица 2 — Оксидные химические составы отходов цветной металлургии**Table 2** — Oxide chemical compositions of non-ferrous metallurgy wastes

Отход	Содержание оксидов, масс %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	П.п.п.
Обоженные солевые алюминиевые шлаки	4-5	75-76	—	1-2	2-3	7-8	5-5.5	3-3,5
Межсланцевая глина	45-47	13-14	—	5-6	11-13	2-3	3-4	9-20

Примечание: п.п.п. – потери при прокаливании; R₂O = Na₂O+K₂O

рованная глина резко снижает усадку керамического материала, пластичность и чувствительность к сушке. Дегидратированную глину можно вводить в пределах 30-50 % от общего объема шихты [1-3]. При таком количестве резко уменьшается количество трещин в изделиях или же они полностью ликвидируются. В настоящей работе взамен дегидратированной глины предлагается использовать в качестве отощителя обоженный солевой алюминиевый шлак.

Постановка задачи. С учетом сокращения запасов традиционного природного сырья необходимо найти новые способы его замещения различными видами отходов. Опыт передовых зарубежных стран показал техническую осуществимость этого направления и применения еще и как инструмента защиты природной среды от загрязнения.

Цель. На основе межсланцевой глины и обоженного солевого алюминиевого шлака получить высокопрочный сейсмостойкий кирпич без применения природного традиционного сырья.

Экспериментальная часть

Сырьевые материалы

Солевые алюминиевые шлаки. Солевые алюминиевые шлаки являются отходами алюминиевого производства. По показателям острой токсичности в эксперименте на теплокровных животных (мыши) и двух видов гидробионтов (ветвистоусые рачки *Daphnia magna* Straus и зеленые про-

тококковые водоросли *Scenedesmus quadricauda*) солевые отходы относятся к III классу опасности по степени воздействия на организм и к IV классу опасности для окружающей среды.

Солевые алюминиевые шлаки имеют следующий химический состав, мас. %: NaCl – 10,25; CaO+CaCO₃ – 14,28; MgO+MgCO₃ – 15,30; FeCl₃ – 0,001; SiO₂ – 3,10; Al₂O₃ – 41,282; KCl – 5,35; CuCl₂ – 0,001; алкилмеркаптита Al – 0,545; предельные углеводороды – 0,001; Al (металлический) – 9,89.

Поэлементный химический анализ исследуемых солевых алюминиевых шлаков представлен в табл. 1.

Предложен запатентованный способ обогащения оксидом алюминия солевого алюминиевого шлака [4]. Солевые алюминиевые шлаки обжигают при температуре 900-920°C до содержания потерь при прокаливании не более 4%. После обжига солевых алюминиевых шлаков в интервале температур 900-920°C химический состав их значительно обогатился оксидом алюминия (табл. 1 и 2). Обжиг солевых алюминиевых шлаков целесообразно производить во вращающихся печах (рис.1). Топливом для вращающейся цилиндрической печи может служить мазут или газ.

Как видно из табл. 1 и 2 обоженный солевой алюминиевый шлак при 900-920°C обогащается оксидом алюминия до 75-76%. С повышением содержания в керамических массах Al₂O₃, как правило, повышается прочность сформованных, сухих и обоженных изделий, увеличивается их огнеупорность и термостойкость [5-7].

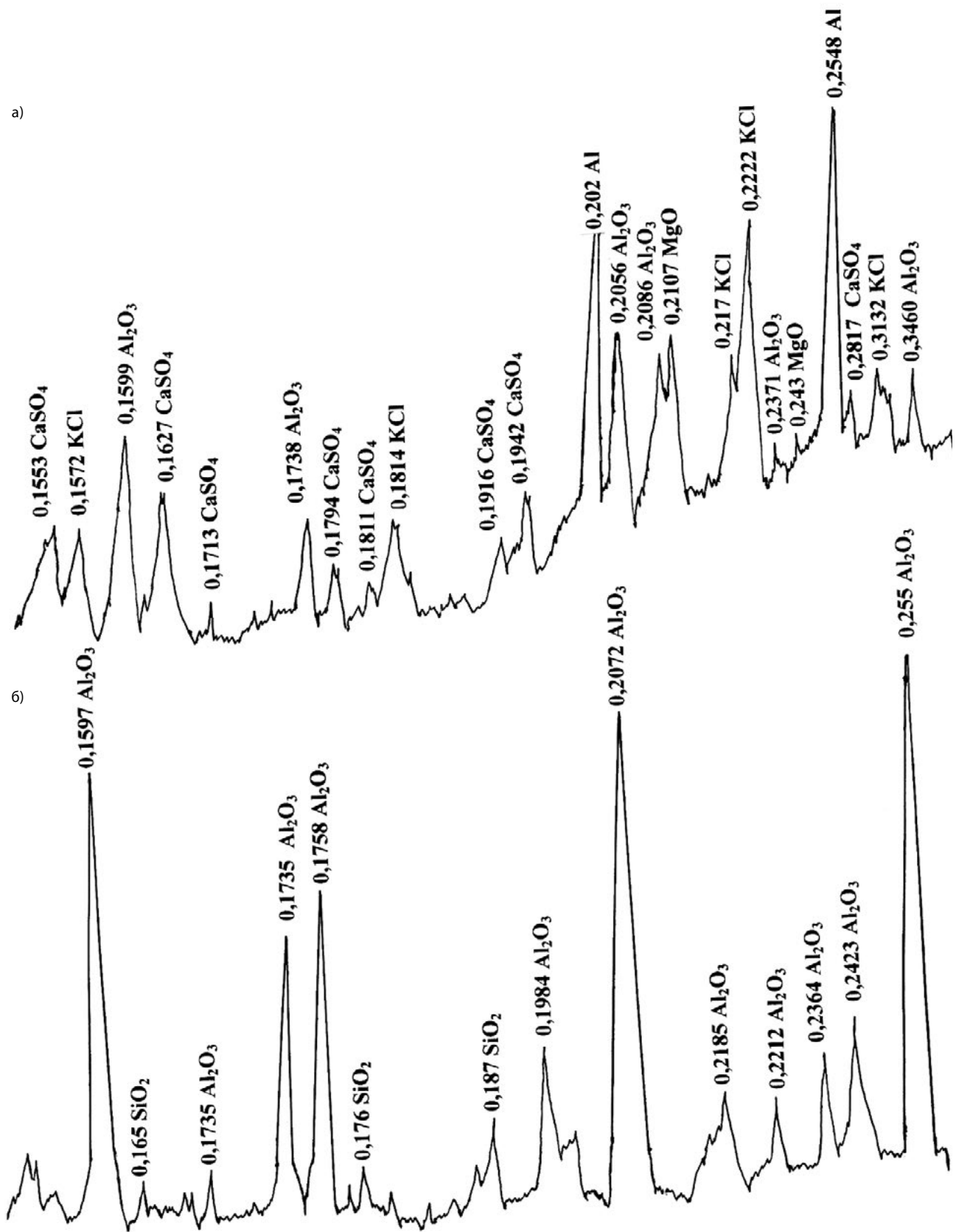


Рисунок 2 — Рентнограммы солевых алюминиевых шлаков: а – необожженных, б – обожженных

Figure 2 — Radiographs of aluminum salt slags: a-unbaked, b-fired

Таблица 3 — Составы керамических масс**Table 3** — Compositions of ceramic masses

Отходы цветной металлургии	Концентрация, % масс		
	1	2	3
1. Межсланцевая глина	80	70	60
2. Обожженные солевые алюминиевые шлаки	20	30	40

Таблица 4 — Физико-механические показатели кирпича**Table 4** — Physical and mechanical properties of bricks

Показатели	Составы		
	1	2	3
Механическая прочность на сжатие, МПа	20,0	20,7	21,2
Механическая прочность при изгибе, МПа	27,2	28,1	29,3
Морозостойкость, циклы	51	57	60
Термостойкость, циклы (350оС – вода 20°С)	3	5	7

На рис. 2 представлены рентгенограммы необожженных солевых алюминиевых шлаков (рис. 2, А) и обожженных (рис. 2, Б). Как видно из рис. 2, Б минералогический состав обожженного алюминиевого шлака в основном представлен оксидом алюминия.

Несмотря на то, что в литературе было описано большое количество полиморфных модификаций оксида алюминия, в настоящее время достоверно доказано существование только двух: α - и γ - модификаций [8]. В составе неметаллических включений присутствует обычно высокотемпературная α -модификация, которая является аналогом природного минерала – корунда.

Как видно из табл. 2 и рис. 2, обжиг даже при относительно низкой температуре (менее 1000°С) солевых алюминиевых шлаков значительно обогащает их оксидом алюминия, что позволит при использовании шлаков кислотоупорных плиток значительно повысить прочность при изгибе, кислотостойкость, термостойкость и морозостойкость изделий.

Межсланцевая глина. В качестве глинистой связующей для получения керамического кирпича использовалась сланцевая глина, которая образуется при добыче горючих сланцев на сланцеперерабатывающих заводах (на шахтах) и является отходом горючих сланцев. По числу пластичности межсланцевая глина относится к среднепластичному глинистому сырью (число пластичности 16-19), по огнеупорности – к легкоплавким (огнеупорность 1280-1320°С) с истинной плотностью 2,55-2,62 г/см³ [9-11].

Химический оксидный состав межсланцевой глины представлен в табл. 2, а поэлементный в табл. 1. Глинистые минералы в межсланцевой глине в основном представлены гидрослюдой с примесью монтмориллонита.

Технология производства керамического кирпича.

Сырьевые материалы, межсланцевую глину и обожженные солевые шлаки, высушивали до влажности не более 3%, затем измельчали до прохождения сквозь сито с размером ячейки не более 1 мм, после чего тщательно перемешивали, согласно составам, представленным в табл. 3.

Керамическую массу готовили пластическим способом при влажности 20-24%, в зависимости от содержания в составах глинистого компонента, полученную массу гомогенизировали (усредняли) в эксикаторе в течение суток. Из гомогенизированной керамической массы готовили кирпич-сырец (полуфабрикат), который высушивали в сушильном шкафу до влажности не более 5%.

Высушенный кирпич-сырец до влажности не более 5% обжигали при температуре 1050°С. В табл. 4 приведены физико-механические показатели кирпича.

Полученный керамический высокопрочный сейсмостойкий кирпич соответствовал марке 200, из которого, благодаря использованию обожженных солевых алюминиевых шлаков, возможно возводить несущие стены нижних этажей зданий повышенной этажности (15 этажей и более).

Выводы

1. Для производства высокопрочного сейсмостойкого керамического кирпича в качестве отощителя, взамен дегидратированной глины, предлагается использовать обожженный солевой алюминиевый шлак.

2. На основе межсланцевой глины и обожженного солевого алюминиевого шлака получен высокопрочный сейсмостойкий керамический кирпич без применения природного традиционного сырья.

3. Полученный керамический высокопрочный сейсмостойкий кирпич соответствовал марке 200, из которого, бла-

годаря использованию обожженных солевых алюминиевых шлаков, возможно возводить несущие стены нижних этажей зданий повышенной этажности (15 этажей и более).

Использование отходов производства – межсланцевой глины и обожженного солевого алюминиевого шлака в производстве кирпича позволит:

а) заменить дефицитные традиционные природные обожженные глинистые материалы на отходы производства;

б) значительно обогатить керамическую массу оксидом алюминия;

в) повысить практически все физико-механические показатели керамического кирпича;

г) утилизировать промышленные отходы, что способствует охране окружающей среды;

д) расширить сырьевую базу для производства керамических материалов.

Литература

1. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С., Денисов Д.Ю. Керамические строительные материалы. Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2010. 364 с.
2. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Химическая технология керамического кирпича с использованием техногенного сырья. Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2007. 432 с.
3. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Технология стеновых материалов и изделий. Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2005. 194 с.
4. Патент №2394790 Российская Федерация. RU. МПК C04B 33/138. Способ получения

- кислотоупорных плиток. / Абдрахимов В.З. – Оpubl. 20.07.2010. Бюл. 20.
5. Абдрахимов В.З. Применение алюмосодержащих отходов в производстве керамических материалов различного назначения // Новые огнеупоры. 2013. №1. С. 13-23.
6. Денисов Д.Ю., Абдрахимов В.З. Экологические и практические аспекты получения керамического кирпича на основе полиминеральной легкоплавкой глины и обожженных алюминиевых солевых шлаков // Экология и промышленность России. 2012. №9 (сентябрь). С. 9-11.
7. Абдрахимов В.З. Экологические и практические аспекты использования солевых алюминиевых шлаков в производстве керамических кислотоупоров // Новые огнеупоры. – 2010. №3. С. 44-48.
8. Литвинова Т.И., Пирожкова В.П., Петров А.К. Петрография неметаллических вклю-

- чений М.: Изд-во «Металлургия». 1972. 183 с.
9. Абдрахимов В.З. Исследование теплообменных процессов при обжиге керамических материалов на основе межсланцевой глины и нефтяного шлама // Бурение и нефть. 2019. №3. С. 52-53.
10. Кайрабаев А.К., Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Исследование методом ЯГР-спектроскопии оксидов железа, фазового состава и структуры пористости керамического кирпича на основе межсланцевой глины и шлака от сжигания бурого угля // Стекло и керамика. 2019. №2. С. 15-22.
11. Абдрахимов В.З. Повышение экологической безопасности за счет использования межсланцевой глины и электросталеплавильного шлака в производстве керамического кирпича // Энергосбережение и водоподготовка. 2018. №6. С. 47-51.

References

1. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S., Denisov D.Yu. Keramicheskie stroitel'nye materialy. Samara: Samarskij gosudarstvennyj arkhitekturno-stroitel'nyj universitet. 2010. 364 p. (In Russian).
2. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Khimicheskaya tekhnologiya keramicheskogo kirpicha s ispol'zovaniem tekhnogennogo syr'ya. Samara: Samarskij gosudarstvennyj arkhitekturno-stroitel'nyj universitet. 2007. 432 p. (In Russian).
3. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Tekhnologiya stenovykh materialov i izdelij. Samara: Samarskij gosudarstvennyj arkhitekturno-stroitel'nyj universitet. 2005. 194 p. (In Russian).
4. Patent №2394790 Rossijskaya Federatsiya. RU. MPK S04V 33/138. Sposob polucheniya kislotoupornykh plitok. / Abdrakhimov V.Z. – Opubl. 20.07.2010. Byul. 20. (In Russian).
5. Abdrakhimov V.Z. Primenenie alyumosoder-

- zhashhikh otkhodov v proizvodstve keramicheskikh materialov razlichnogo naznacheniya. Novye огнеупоры [New refractories]. 2013, no. 1, pp. 13-23. (In Russian).
6. Denisov D.Yu., Abdrakhimov V.Z. Ekhologicheskie i prakticheskie aspekty polucheniya keramicheskogo kirpicha na osnove polimineral'noj legkoplavkoj gliny i obozhzhennykh alyuminievyykh solevyykh shlakov. Ekhologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and industry of Russia]. 2012, no. 9 (sentyabr'), pp. 9-11. (In Russian).
7. Abdrakhimov V.Z. Ekhologicheskie i prakticheskie aspekty ispol'zovaniya solevyykh alyuminievyykh shlakov v proizvodstve keramicheskikh kislotouporov. Novye огнеупоры [New refractories]. 2010, no. 3, pp. 44-48. (In Russian).
8. Litvinova T.I., Pirozhkova V.P., Petrov A.K. Petrografiya nemetallicheskih vklyuchenij M.: Izd-vo «Metallurgiya». 1972. 183 p. (In Russian).
9. Abdrakhimov V.Z. Issledovanie teplomassobmennykh protsessov pri obzhige keramicheskikh materialov na osnove mezhslantsevoj gliny i neftyanogo shlama. Burenie i nef't [Drilling and oil]. 2019, no. 3, pp. 52-53. (In Russian).
10. Kajrakbaev A.K., Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Issledovanie metodom YAGR-spektroskopii oksidov zheleza, fazovogo sostava i struktury poristosti keramicheskogo kirpicha na osnove mezhslantsevoj gliny i shlaka ot szhiganiya burogo uglya. Steklo i keramika [Glass and ceramics]. 2019, no. 2, pp. 15-22. (In Russian).
11. Abdrakhimov V.Z. Povyshenie ekhologicheskoy bezopasnosti za schet ispol'zovaniya mezhslantsevoj gliny i ehlektrostaleplavil'nogo shlaka v proizvodstve keramicheskogo kirpicha. Ehnergoberezhenie i vodopodgotovka. [Energy Saving and Water Treatment]. 2018, no. 6, pp. 47-51. (In Russian).

Для цитирования: Абдрахимов В.З. Использование обожженного солевого алюминиевого шлака для получения высокопрочного сейсмостойкого кирпича // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 5. С. 45-50.

For citation: Abdrakhimov V.Z. The Use of Annealed Aluminum Salt Slag to Obtain a High Strength Antiseismic Brick. Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 5, pp. 45-50. (In Russian).



Лобанов А.Н.

Аспирант кафедры «Механика и прочность материалов и конструкций» специальность «Строительная механика», Инженер-технолог 2 кат. ПТО ГУП «Петербургский метрополитен»

ФГБОУ ВО Петербургский государственный университет путей сообщения им. Александра I, Санкт-Петербург, Российская Федерация

УДК 624.042.7

Варианты исполнения приводов в устройстве сейсмоплатформ

Аннотация: Для реализации возвратно-поступательного, импульсного или иного перемещения в современных сейсмоплатформах широкое применение получили различные типы линейных приводов.

На данный момент актуальной задачей является создание сейсмоплатформы, позволяющей воспроизводить сейсмические нагрузки в широком диапазоне частот колебаний от 0.2 до 100 Гц, что позволяет моделировать все опасные частоты реальных воздействий.

Недостатком современных сейсмоплатформ является ограниченный диапазон частот колебаний ввиду сложности осуществления приводов, обеспечивающих одновременное создание длиннопериодных и высокочастотных колебаний, характерных для реальных акселерограмм.

Правильный выбор привода, для реализации возвратно-поступательного движения является актуальной задачей при проектировании и реализации сейсмоплатформы, как с технической, так и с экономической стороны.

Приведен сравнительный анализ линейных приводов. Рассмотрены гидравлические, пневматические, электромеханические

системы линейного перемещения, а так же линейные электрические машины как отдельный класс электрических машин.

Рассмотрены особенности реализации линейных приводов при проектировании современных сейсмоплатформ, на примере сейсмоплатформы, защищенной патентом [7]. Для реализации метода разделения воздействий, при моделировании сейсмических колебаний, авторами предлагается конструкция двухуровневой сейсмоплатформы. При использовании данного подхода импульс скорости передается через верхний привод. Нижний привод будет обеспечивать высокочастотные колебания.

Для обеспечения широкого диапазона колебаний одним из вариантов системы линейных приводов для реализации заданных воздействий является комбинация гидравлического высокочастотного привода и привода на основе ЛЭМД для реализации низкочастотных колебаний либо остаточных смещений. Применение данной комбинации приводов позволит сократить материальные издержки при реализации такой системы на полностью гидравлическом приводе, не потеряв при этом в точности проводимых испытаний.

Ключевые слова: сейсмическое воздействие, привод, сейсмоплатформа, ЛЭД.

Lobanov A.N., Postgraduate of the Department «Mechanics and strength of materials and structures», Emperor Alexander I Saint Petersburg state university of railway engineering, Engineer-technologist 2 cat. In sue «Saint Petersburg metro», Saint Petersburg, Russian Federation

Options of Execution of Drives in the Device of Seismo Platform

Abstract: To provide reciprocating motion or other type of movement in modern seismic platforms, various types of linear actuators are widely used.

At the moment, an urgent task is to create a seismic platform that allows you to reproduce seismic loads in a wide range of vibration frequencies from 0.2 to 100 Hz, which allows you to simulate all the dangerous frequencies of real impacts.

The disadvantage of modern seismic platforms is a limited range of oscillation frequencies due to the complexity of drives, which are to provide long-period and high-frequency oscillations typical of real accelerograms. The correct choice of a drive for implementing reciprocating motion is an important task in designing and manufacturing seismic platforms, both from technical and economic parts of view. These questions are considered in the paper.

The comparative analysis of linear drives is given. Hydraulic, pneumatic,

Electromechanical systems of linear displacement, as well as linear electric machines as a separate class of electric machines are considered. The peculiarities of realization of the linear actuators in the design of modern seismic platforms, for example seismic platforms protected by the patent [7]. To implement the method of separation of impacts in modeling seismic vibrations, the authors propose a two-level seismic platform design. Using this approach, the velocity pulse is transmitted through the upper drive, The lower drive will provide high-frequency oscillations.

To ensure a wide range of oscillation one of the variants of a system of linear actuators to implement the specified effects is a combination of high frequency hydraulic actuator and linear electric machines for the implementation of low-frequency vibrations or residual offsets. The use of this combination of drives will reduce material costs when implementing such a system on a fully hydraulic drive, without losing the accuracy of the tests.

Keywords: seismic impact, drive, seismic platform, linear electric motor.

Введение

Для реализации возвратно-поступательного движения в современной промышленности наряду с пневматическими, гидравлическими и электрическими машинами широко применяются электрические импульсные системы с возвратно-поступательной траекторией движения исполнительного узла.

На данный момент актуальной задачей является создание сейсмоплатформы, позволяющей воспроизводить сейсмические нагрузки в широком диапазоне частот колебаний от 0.2 до 100 Гц, что позволяет моделировать все опасные частоты реальных воздействий.

Решение данной задачи напрямую зависит от реализации приводов в данной платформе.

Сравнительный анализ линейных приводов

В настоящее время большое распространение в виброимпульсных системах получили пневматические, гидравлические, электромеханические приводы и их гибриды.

На сегодняшний день пневматические приводы широко используются во многих отраслях промышленности при автоматическом управлении производственными процессами непрерывного действия, а также при автоматизации повторяющихся цикловых процессов.

Системы пневматических приводов преобразуют энергию сжатого воздуха внутри цилиндра в линейное перемещение штока или исполнительного устройства (пневмоцилиндры). Усилие, развиваемое пневматическим приводом, пропорционально давлению сжатого воздуха, а скорость движения выходного звена двигателя определяется расходом воздуха. [1,6]

Основные достоинства пневмопривода: простота конструкции, пожаробезопасность и высокая надежность. Недостатки – низкая производительность, повышенный шум при работе, быстрый износ и сложность обеспечения надежности уплотнений, что резко снижает ресурс пневмодвигателей, что ведет к конструктивному усложнению.

Развиваемое пневмоприводом усилие зависит от создаваемого давления в рабочем объеме, поэтому для реализации больших усилий пневмопривод должен иметь большие габариты. Машины при этом становятся громоздкими и неудобными в эксплуатации, что неприемлемо, особенно при работе в стесненных условиях.

Гидроцилиндр (рис.1) является объемным гидродвигателем, в котором ведомое звено (шток, плунжер, вал) совершает ограниченное возвратно-поступательное движение. Для выполнения задач, описанных в [7] рассматриваются силовые гидроцилиндры. Силовой гидроцилиндр – это объемный гидродвигатель, в котором ведомое звено совершает прямолинейное (возвратно-поступательное) движение относительно корпуса гидроцилиндра [2,3].

Основными особенностями гидропривода являются: создание больших усилий при небольшом размере устройства, плавное изменение скорости перемещения в широком диапазоне регулировок, плавность хода, простота автоматизации, бесшумность работы. Однако гидропривод сложен по конструкции, дорог в изготовлении и эксплуатации. К недостаткам гидропривода относятся прекращение действия и падение давления в системе при нарушении герметичности, снижение КПД при пониженных температурах.



Рисунок 1 — Схема гидроцилиндра с односторонним штоком

Figure 1 — Diagram of a single-stem hydraulic cylinder

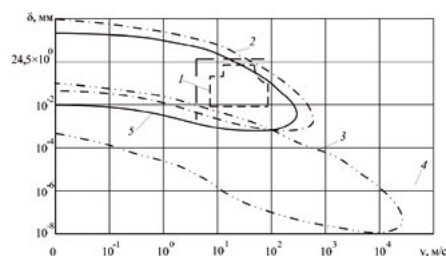


Рисунок 2 — Амплитудно-частотные характеристики приводов 1 – электромеханического, 2 – гидронасосного, 3 – гидрообъемного, 4 – электродинамического и индукционно-динамического, 5 – электромагнитного

Figure 2 — The amplitude-frequency characteristics of the drives 1 – electromechanical, 2 – hydraulic pump, 3 – hydrostatic, 4 – electrodynamic and induction-dynamic, 5 – electromagnetic

Таблица 1 — Предельные показатели линейных приводов различных типов

Table 1 — Limit values of linear actuators of various types

Тип привода	Частота ходов, Гц	Рабочий ход, мм	Тяговое усилие, кг	КПД, %	Удельная сила тяги, н/кг
Электромеханический	300	70	4500	65	200
Пневматический	200	≥300	3000	11	650
Гидравлический	800	≥500	130000	85	10000
Электромагнитный	600	2000	15000	80	3000
Электродинамический	15000	300	45000	20	20
Индукционный	200	неогранич.	7150	80	8
Индукционно-динамический	60	50	153000	50	4000
Магнитоэлектрический	15000	30	102	60	1
Магнитострикционный	30000	4	61225	62	50
Электрострикционный	15000	10	10	85	500

турах из-за увеличения вязкости рабочей жидкости. Насосный гидропривод требует больших расходов жидкости, в отличие от объемного, что обусловлено высоким темпом работы оборудования. Гидравлический привод также пожароопасен из-за применения минеральных масел.

На сегодняшний момент во многих отраслях промышленности широкое распространение получил электромеханический привод, включающий в себя электрический двигатель вращательного движения и механическую передачу, которая преобразует вращательное движение электродвигателя в возвратно-поступательное движение рабочего органа.

Из-за наличия в механических передачах люфтов, трения, и упругих деформаций, данные приводы не удовлетворяют критериям надежности и точности оборудования (рис.2). Поэтому в последнее время всё шире используется другой способ получения линейного перемещения, который опирается на непосредственное преобразование электрической энергии в возвратно-поступательное движение с помощью линейных электрических двигателей (ЛЭД), представляющих собой самостоятельный класс электрических машин [4].

На основании вышеизложенного, можно уверенно утверждать, что среди рассмотренных приводов наиболее

эффективным является гидравлический привод с удельной силой тяги $F = 10 \text{ кН/кг}$.

Однако данный показатель не учитывает совокупность технического оснащения, необходимого для осуществления заданного технологического процесса с применением рассматриваемого типа привода. Поэтому данный показатель следует использовать лишь для сравнения приводов, составляющих единый класс машин с одним и тем же количеством ступеней энергопреобразования [5].

Для примера рассмотрим два наиболее эффективных типа приводов: гидравлический и электромагнитный (ЛЭМД). Главным достоинством гидроцилиндра, по сравнению с ЛЭМД, является его более высокий КПД (рис. 3).

Преобразование энергии в системе, содержащей гидроцилиндр, происходит в соответствии с рис.4.

При этом общий КПД системы с гидроцилиндром будет

$$\eta_0^\Gamma = \eta_{ЭД} \cdot \eta_{РД} \cdot \eta_{ГД} \cdot \eta_{ТР} \cdot \eta_{Г}, \quad (1)$$

где $\eta_{ЭД}$ – КПД электродвигателя (для двигателей переменного тока $\eta_{ЭД} 0,93$ [2]); $\eta_{РД}$ – КПД редуктора (для двухступенчатого редуктора $\eta_{РД} 0,94$); $\eta_{ГД}$ – КПД гидронасоса (используемые плунжерные гидронасосы с $\eta_{ГД} 0,76$ [3]); $\eta_{ТР}$ – КПД трубопровода, $\eta_{ТР} 0,85$ [4]; $\eta_{Г}$ – КПД гидроцилиндра двойного действия, $\eta_{Г} 0,85$. Подставляя значения перечисленных величин в (1), получаем:

$$\eta_0 = 0,93 \cdot 0,94 \cdot 0,76 \cdot 0,85 \cdot 0,85 = 0,48 \quad (2)$$

Таким образом, при достаточно высоком КПД самого гидроцилиндра общий КПД системы, его содержащей, получается равным $\eta \approx 0,48$ из-за многократного преобразования энергии из одного вида в другой.

В соответствии со схемой, представленной на рисунке 3(б), происходит преобразование энергии в системе, содержащей ЛЭМД. Общий КПД такой системы эм η_0 будет:

$$\eta_0^{ЭМ} = \eta_{СДУ} \cdot \eta_{ЭМ} \quad (3)$$

где $\eta_{СДУ}$ – КПД устройства питания и управления мотом, для применяемых тиристорных преобразователей

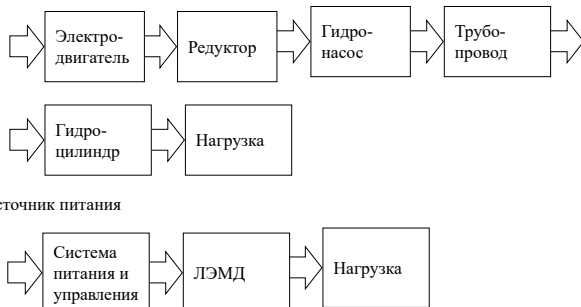


Рисунок 3 — Схема энергопреобразования в системе: а – с гидроцилиндром; б – с ЛЭМД

Figure 3 — Scheme of energy conversion in the system: а – with a hydraulic cylinder; б - with LEMD

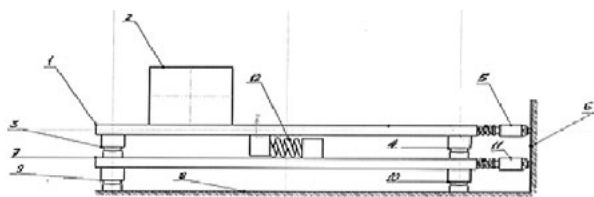


Рисунок 4 — Схема сейсмоплатформы

Figure 4 — Seismic platform diagram

$\eta_{сду} = 0,98$; $\eta_{эм} = 0,8$ – КПД ЛЭМД. Подставляя значения перечисленных величин в (3), получаем

$$0,98 \cdot 0,8 = 0,784 \quad (4)$$

При меньшем по сравнению с гидроцилиндром собственном КПД линейного электромагнитного двигателя $\eta_{эм}$, общий КПД системы, содержащей ЛЭМД, намного выше КПД системы с гидроприводом, поскольку в ней преобразование энергии происходит непосредственно из электрической в механическую.

Особенности применения систем линейных приводов для решения задач моделирования

Для упрощения проекта сейсмоплатформы авторы предложили использовать двойной привод. Один привод обеспечивает высокую частоту колебаний платформы, а другой – низкую частоту.

Вариант сейсмоплатформы, защищенный патентом [7], представлен на рис.5. Для реализации метода разделения воздействий, при моделировании сейсмических колебаний, авторами предлагается конструкция двухуровневой сейсмоплатформы. При использовании данного подхода импульс скорости передается через верхний привод, который можно связать с эпицентральной расстоянием, глубиной очага и магнитудой. Нижний привод будет обеспечивать высокочастотные колебания.

Предложенная сейсмоплатформа состоит из следующих элементов:

- 1) Плита для размещения испытуемого элемента сооружения или здания.
- 2) Опоры, через которые основная плита опирается на прокладную дополнительную плиту, а прокладная плита, в свою очередь, опирается на фундамент.
- 3) Система приводов для передачи импульса скорости и остаточного смещения.
- 4) Упругий элемент для связи между платформами.

Для обеспечения широкого диапазона колебаний одним из вариантов системы линейных приводов для реализации заданных воздействий является комбинация гидравлического высокочастотного привода для плиты 7 и привода на основе ЛЭМД для реализации низкочастотных колебаний либо остаточных смещений плиты 1. Применение данной комбинации приводов позволит сократить материальные издержки при реализации такой системы на полностью гидравлическом приводе, не потеряв при этом в точности проводимых испытаний.

Заключение

В данной статье кратко рассмотрены варианты виброимпульсных систем возвратно-поступательного движения получивших широкое распространение в технике. Проведен анализ технических характеристик и выбраны варианты систем возвратно-поступательного движения, которые возможно использовать при реализации системы приводов для воспроизведения высокочастотных и низкочастотных колебаний в проектируемой сейсмоплатформе [7]. Предлагаемая платформа позволяет реализовать широкий диапазон частот колебаний при достаточно простой конструкции, что позволит снизить затраты на строительные-монтажные работы и работы по обслуживанию данной установки.

Литература

1. Вольдек А.И. Электрические машины. М.: Энергия, 1974. 839 с.
2. Подъемно-транспортное оборудование. Каталог-справочник. Редукторы двухступенчатые. М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1965. 356 с.
3. Чугаев Р.Р. Гидравлика. Л.: Энергия. 1982. 256 с.
4. Мошкин В.И., Нейман В.Ю., Угаров Г.Г. Им-

- пульсные линейные электрические двигатели. Монография. Курган. 2010. 220 с.
5. Марутов В.А., Павловский С.А. Гидроцилиндры конструкции и расчет. М.: Машиностроение. 1966. 172 с.
 6. Зайцев Н.А., Неклюдов А.Н., Морозов Ю.В. Пневматические приводы. Методические указания к лабораторным работам. М., 2009. 44 с.

7. Пат.№ 2681253 Российская Федерация, СПК7 G01M 7/025 (2018/08), G01M 7/027 (2018/08). Сейсмоплатформа / Шульман С.А., Уздин А.М., Нестерова О.П., Лобанов А.Н.; заявитель и патентообладатель ООО «СК Стройкомплекс-5». – № 2018114578; заявл. 19.04.18; опубл. 05.03.18, Бюл. № 7.

References

1. Vol'dek A.I. Elektricheskie mashiny. Moscow: Energiya, 1974. 839 s. [In Russian].
2. Pod'emno-transportnoe oborudovanie. Katalog-spravochnik. Reduktory dvukhstupenchatye. Moscow: NIINFORMTYAZHMASH, 1965. 356 s. [In Russian].
3. Chugaev R.R. Gidravlika. Saint-Petersburg: Ener-

- giya. 1982. 256 s. [In Russian].
4. Moshkin V.I., Neiman V.Yu., Ugarov G.G. Impul'snye lineinye elektricheskie dvigateli. Monografiya. Kurgan. 2010. 220 s. [In Russian].
 5. Marutov V.A., Pavlovskii S.A. Gidrotsilindry konstruktssii i raschet. Moscow. Mashinostroenie. 1966. 172 s. [In Russian].
 6. Zaitsev N.A., Neklyudov A.N., Morozov Yu.V. Pnev-

- maticheskie privody. Metodicheskie ukazaniya k laboratornym rabotam. Moscow. 2009. 44 s. [In Russian].
7. Pat.№ 2681253 Rossiiskaya Federatsiya, SPK7 G01M 7/025 (2018/08), G01M 7/027 (2018/08). Seismoplatforma / Shul'man S.A., Uzdin A.M., Nesterova O.P., Lobanov A.N.; zayavitel' i patentoobladatel' OOO «SK Stroikompleks-5». – № 2018114578; zayavl. 19.04.18; opubl. 05.03.18, Byul. № 7. [In Russian].

Для цитирования: Лобанов А.Н. Варианты исполнения приводов в устройстве сейсмоплатформ // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 5. С. 51-54.

For citation: Lobanov A.N. Options of Execution of Drives in the Device of Seismo Platform. Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 5, pp. 51-54. (In Russian).



Минасян А.А.
инженер

Пятикрестовский К.П.
доктор технических наук

ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва, Российская Федерация

УДК 624.072.225

Расчет поврежденных железобетонных плит перекрытий с учетом коррозии бетона и арматуры

Аннотация: Излагается диаграммный метод расчета железобетонных плит перекрытий. Рассматриваемые плиты перекрытия подвергались интенсивному воздействию неблагоприятных климатических условий в г. Москве, вследствие чего получили различные повреждения. Несущая способность данных плит изменялась в зависимости от вида, степени и участка повреждения плиты. Выполнены испытания бетона

поврежденных участков конструкций, а также коррозионно-поврежденных арматурных стержней. Получены диаграммы деформирования бетона неповрежденных и поврежденных участков и диаграммы растяжения поврежденных арматурных стержней. На основании экспериментальных диаграмм деформирования бетона и арматуры разработан метод аналитического определения несущей способности плит.

Ключевые слова: коррозионное повреждение, железобетонные плиты, несущая способность, коррозия арматуры.

Minasyan A.A., engineer, TSNIISK named after V.A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

Piatikrestovskii K.P., Doctor of Technical Sciences, TSNIISK named after V.A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

Calculation of Damaged Reinforced Concrete Plates of Covering Taking into Account the Corrosion of Concrete and Fittings

Abstract: The article presents a diagram method of calculation of reinforced concrete slabs. The considered floor slabs were subjected to intensive influence of climatic conditions of Moscow, as a result of which they received different schemes of damage. The bearing capacity of these plates varied depending on the scheme (section) of the plate damage. At the same time, concrete tests of dam-aged

sections of structures, as well as corrosion-damaged reinforcing bars were performed. The diagrams of concrete deformation of undamaged and damaged areas and the diagrams of stretching of damaged reinforcing bars are obtained. On the basis of experimental diagrams of concrete and rebar deformation, a method of analytical determination of the bearing capacity of the plates was developed.

Keywords: diagram method corrosion damage, reinforced concrete slabs, bearing capacity.

Расчет несущей способности коррозионно-поврежденных железобетонных плит включает в себя определение изгибающих моментов в нормальных сечениях и поперечных сил в наклонных сечениях. Зависимость «напряжение-деформация» принимается в соответствии с диаграммами деформирования, которые получены путем выполнения серии испытаний бетона и арматуры конструкций [1-5].

Использование диаграммного метода расчета плит по разным схемам повреждений обеспечивает высокую точность при определении несущей способности конструкции.

При выполнении расчета принимаются следующие предпосылки:

- зависимость между напряжениями и деформациями определяется по диаграммам, полученным при испытании материалов бетона и арматуры;
- принимается гипотеза плоских сечений;
- при достижении предельных значений деформации растянутого бетона образуются трещины;
- после образования трещин между блоками напряженно-деформированное состояние принимается по их усредненному значению.

Ниже рассматриваются частичное повреждение бетона в сжатой и растянутой зонах, выключение их из расчетного

сечения работы плит, а также уменьшение площади арматуры в связи с коррозией.

Коррозия бетона плит и снижение прочностных и деформационных характеристик рассматривались в работах [4-7].

Коррозия арматуры. Анализ многочисленных натуральных наблюдений за состоянием конструкции плит показывает, что с течением времени коррозия затухает. При периодическом увлажнении арматуры в трещинах с шириной раскрытия $0,1 \div 0,4$ мм, она сначала корродирует интенсивно, а затем процесс коррозии затухает.

На рисунке 1 представлены фотоиллюстрации постепенного развития коррозии арматуры и разрушение защитного слоя.

При ширине раскрытия $0,4-0,8$ мм и периодическом увлажнении в атмосферных условиях (примерно 50 циклов в год) коррозия арматуры перестает развиваться через 5-6 лет.

При наблюдении за состоянием арматурных стержней плит выявлено, что глубина коррозии с течением времени t может быть представлена степенной функцией следующего вида [12]:

$$\delta = c_3 t^m, \quad (1)$$



Рисунок 1 — Процесс развития коррозии арматуры и разрушение бетона
Figure 1 — Process of reinforcement corrosion development and concrete destruction



Рисунок 2 — Измерение остаточного диаметра рабочей арматуры железобетонной плиты
Figure 2 — Measurement of residual diameter of reinforced concrete slab working reinforcement

где δ – глубина коррозионного повреждения арматуры, мм; c_3 – показатель скорости коррозии арматуры, мм/год^m; m – показатель степени функции, $m < 1$.

Величины c_3 и m определяются на основании экспериментальных данных наблюдений в зависимости от времени. Для описания кинетики коррозии, установлена степенная функция (1), которая отражает свойства физических процессов и механизма коррозии арматуры в трещинах плит в атмосферных условиях без консервации конструкций.

Остаточная площадь коррозионно-поврежденной арматуры определяется по следующей формуле:

$$A_s(t) = A_s(0) - \Delta A_s(t), \quad (2)$$

где $A_s(0)$ – начальная площадь арматуры; $\Delta A_s(t)$ – площадь коррозии, которая определяется по формуле:

$$\Delta A_s(t) = f(\delta_s), \quad (3)$$

где $f(\delta_s)$ – площадь коррозии, зависящая от схемы коррозий.

На рисунке 3 представлены основные схемы коррозии арматуры. На рисунках 4-6 приведены зависимости глубины коррозии $\delta(t)$ за определенный период времени от ширины раскрытия трещины, а схемы повреждений приведены в [5].

Площадь сечения определяется по геометрической схеме коррозии. Глубина коррозии арматурных стержней получена при наблюдении в натуральных условиях. При этом учитывается режим агрессивного воздействия окружающей среды, раскрытия трещин, диаметр арматуры и др. При других условиях коррозионные повреждения могут быть определены введением поправочных коэффициентов к исходным базовым кривым. Отклонения от условий, при которых были измерены коррозионные повреждения, могут быть учтены введением соответствующих коэффициентов к исходной кривой кинетики коррозии, которую назовем базовой.

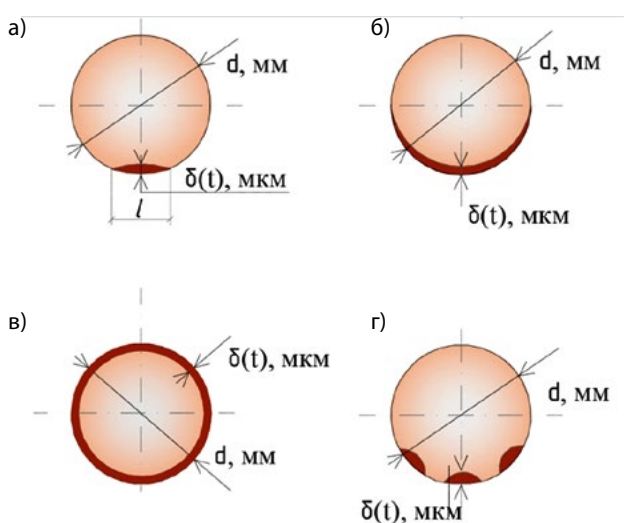


Рисунок 3 — Схемы коррозионного повреждения арматуры: а) сегментообразная; б) серповидная; в) равномерно по периметру; г) язвенная.

Figure 3 — Diagrams of corrosion damage to the valve: a) segmental; b) crescent; v) evenly around the perimeter; g) ulcerative

В общем случае глубина коррозии арматурного стержня определяется по следующей формуле:

$$\delta_s(t) = k_n \cdot k_d \cdot k_a \cdot \delta_1(t), \quad (4)$$

где k_n, k_d, k_a – коэффициенты, учитывающие влияние, соответственно: числа циклов замораживания-оттаивания, диаметра арматуры, ширины раскрытия трещины, глубину коррозии арматуры; $\delta_1(t)$ – базовая кривая относительной потери площади арматуры вследствие коррозии [5; 12].

$$k_n = \left(\frac{n}{n_1}\right)^{m_1}, \quad (5)$$

где n_1 – число циклов замораживания-оттаивания, соответствующих режиму $\delta_1(t)$.

Коэффициент k_d , учитывающий влияние диаметра арматуры на относительное уменьшение ее площади вследствие коррозии, обратно пропорционально диаметру арматуры рассматриваемой конструкции, для которой выполняется расчет коррозионных повреждений:

$$k_d = \frac{d_1}{d}, \quad (6)$$

где d_1 – диаметр арматуры с кинетикой коррозионных повреждений, соответствующих режиму $\delta_1(t)$; d – диаметр арматуры рассматриваемой плиты.

k_a – коэффициент, зависящий от ширины раскрытия трещин, которые увеличивают интенсивность коррозии арматуры, получен на основании наблюдений и анализа экспериментальных исследований:

$$k_a = t^{m_1 \lg \frac{a_T}{a_1}}, \quad (7)$$

где a_T – ширина раскрытия трещин в плите; a_1 – ширина раскрытия трещин с кинетикой коррозии, соответствующей режиму $\delta_1(t)$.

С учетом полученных коэффициентов, уравнение кинетики коррозии арматуры для режимов, отличных от базовых, принимает следующий вид:

$$\delta_s(t) = \left(\frac{n}{n_1}\right)^{m_1} \cdot \frac{d_1}{d} \cdot t^{m_1 \lg \frac{a_T}{a_1}} \cdot \delta_1(t) \quad (8)$$

По (8) определяется кинетика коррозии арматуры плит.

График развития глубины коррозии арматурных стержней, поврежденных участков конструкций, в зависимости от ширины раскрытия трещин путем наблюдения за состоянием плит 2-й схемы повреждений представлен на рисунке 4, для 3-й и 4-й схем повреждения – на рисунках 5 и 6. Наблюдения проводились в климатических условиях г. Москвы.

Площадь сегментообразной коррозии:

$$S_{\text{сегм}}(t) = \frac{d^2}{4} \arcsin \left(\frac{l}{d}\right) - \frac{l \left(\frac{d}{2} - \delta(t)\right)}{2}.$$

Площадь серповидной коррозии:

$$S_{\text{серп}}(t) = \frac{\pi \delta(t)}{4} \cdot (d - \delta(t))$$

Площадь арматуры для других видов коррозионных повреждений определяется натурным измерением.

Несущая способность коррозионно-поврежденных плит.

В общем случае расчет несущей способности плиты с n-участками повреждений имеет следующий вид:

$$M_{cor} = k_{b1} \int_{A_{b1}} \sigma_{b1} y_{b1} dA_{b1} + k_{bi} \int_{A_{bi}} \sigma_{bi} y_{bi} dA_{bi} + \dots + k_{bn} \int_{A_{bn}} \sigma_{bn} y_{bn} dA_{bn} \quad (9)$$

$$+ k_{s1} \int_{A_{s1}} \sigma'_{s1} y_{s1} dA'_{s1} + k_{si} \int_{A_{si}} \sigma'_{si} y_{si} dA'_{si} + \dots + k_{sn} \int_{A_{sn}} \sigma'_{sn} y_{sn} dA'_{sn}$$

$$k_{b1} = \frac{l_1}{l}; \quad k_{bi} = \frac{l_i}{l}; \quad k_{bn} = \frac{l_n}{l}; \quad (10)$$

$$k_{s1} = \frac{l_1}{l}; \quad k_{si} = \frac{l_i}{l}; \quad k_{sn} = \frac{l_n}{l},$$

где M_{cor} – несущая способность коррозионно-поврежденной плиты; l_i – длина i-го поврежденного участка; l – длина конструкций; k_{bi} – относительная длина i-ого поврежденного участка плиты; k_{si} – относительная длина i-ого поврежденного участка арматуры; $\sigma_{bir} y_{bir} dA_{bi}$ – напряжение бетона площади dA_{bi} на расстоянии y_{bi} от наиболее растянутого волокна бетона; $\sigma'_{sir} y_{sir} dA_{si}$ – напряжение i-ой арматуры, элементарной площади сечения dA_{si} и расстояния dA_{si} от центра тяжести сечения. Буквенные обозначения со штрихом относятся к аналогичным параметрам конструкций в сжатой зоне.

Расчет по высоте сечения приводится по отдельным полоскам малой толщины с выделением бетонных и арматурных полос.

При расчете используется секущий модуль деформирования и вводится коэффициент ν , который в стадии трещинообразования определяется по [1,2].

Трещинообразование в зоне растяжения на участке сечения происходит, если $\epsilon_{bti} \geq \epsilon_{btcr}$, $\sigma_{bti} \geq \sigma_{btcr}$, где ϵ_{bti} – максимальная растягивающая деформация i-го элемента; ϵ_{btcr} – предельная растягивающая деформация бетона i-го участка; σ_{bti} – максимальное растягивающее напряжения i-го элемента; σ_{btcr} – предельное растягивающее напряжения i-го участка;

Если максимальная величина напряжения наиболее сжатого волокна превышает абсолютное предельное значение $\sigma_{bi} > \sigma_{bi,max}$ то происходит исчерпание прочности сжатого i-го участка бетона.

В соответствии с упрощенным способом А.А. Гвоздева треугольная эпюра заменяется прямоугольной эпюрой бетона. Н.И. Карпенко (2012 г.) показал преимущество прямоугольной эпюры деформации бетона для практических расчетов. При применении прямоугольной эпюры положение центра тяжести треугольной и прямоугольной эпюры не меняется. При такой замене плечо равнодействующего усилия составляет 1/2, а при прямоугольной – 4/9. В зоне

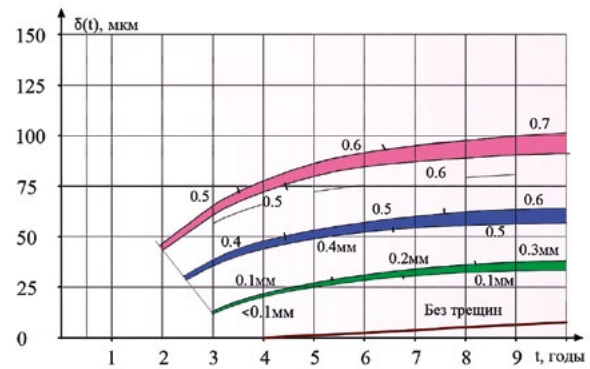


Рисунок 4 — Глубина коррозионного повреждения рабочей арматуры по 2-й схеме повреждения плит в зависимости от ширины раскрытия трещин

Figure 4 — Depth of corrosion damage to the working valves on the 2nd the scheme of damage of plates depending on width of disclosure of cracks

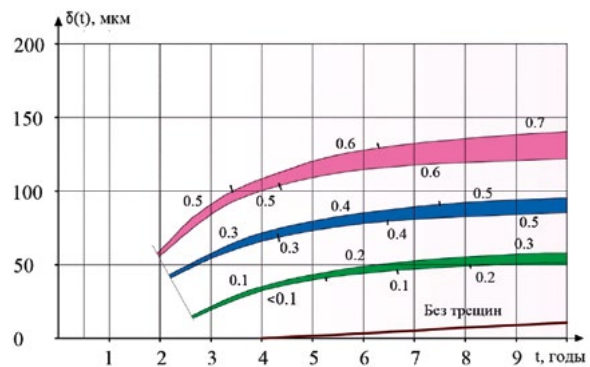


Рисунок 5 — Глубина коррозионного повреждения рабочей арматуры по 3-й схеме повреждения плит в зависимости от ширины раскрытия трещин

Figure 5 — Depth of corrosion damage to the working valves on the 3rd the scheme of damage of plates depending on width of disclosure of cracks

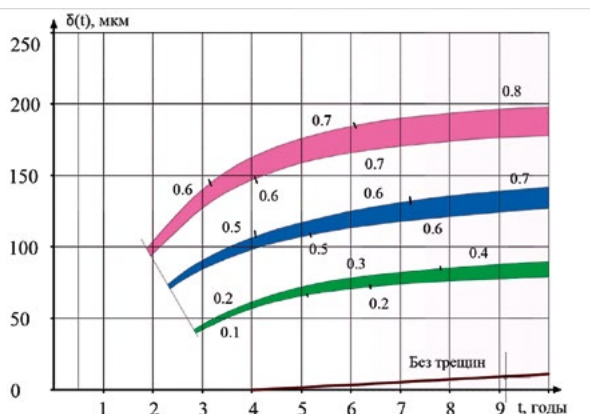
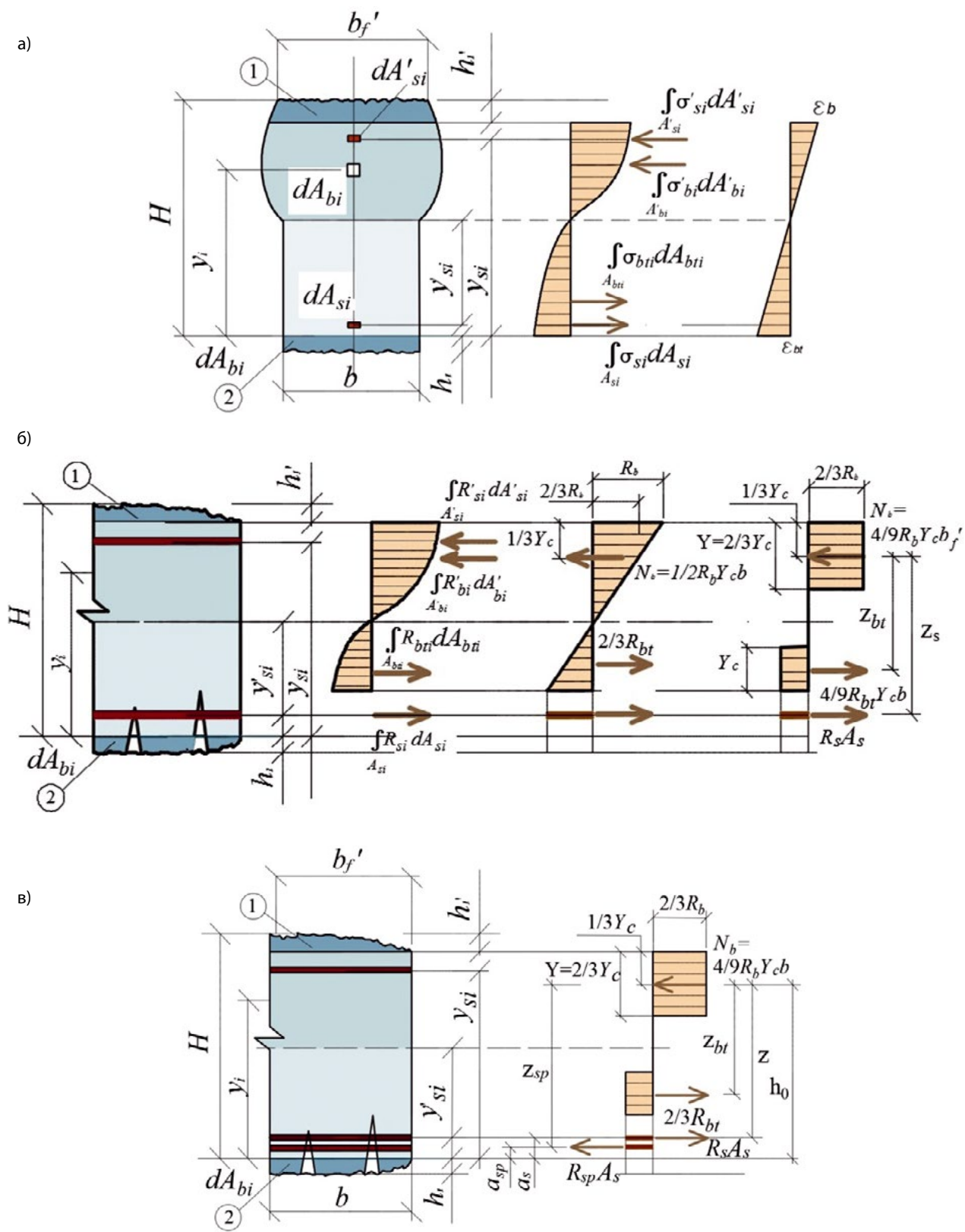


Рисунок 6 — Глубина коррозионного повреждения рабочей арматуры по 4-й схеме повреждения плит в зависимости от ширины раскрытия трещин

Figure 6 — Depth of corrosion damage to the working valves on the 4th the scheme of damage of plates depending on width of disclosure of cracks



Разрушенный слой: 1 – сжатого бетона; 2 – растянутого бетона
 Destroyed layer: 1 – compressed concrete; 2 – stretched concrete

Рисунок 7 — Расчетная схема сечения:

- а) общий случай изгиба конструкций;
- б) расчетная схема с учетом трещинообразования,
- в) расчетная схема с ненапрягаемой и напрягаемой арматурой

Figure 7 — Design diagram of the cross section: a) the General case of bending structures; b) the design scheme taking into account cracking, v) design scheme with non-stressed and tensioned valves

образования новых трещин прямоугольная эпюра имеет преимущество для упрощения расчетов.

Приведенная площадь бетона определяется:

$$A_b = (\xi + \varphi_f) b h_0,$$

где ξ – относительная высота сжатой зоны; φ_f – коэффициент влияния сжатой арматуры, которое определяется по [9].

Исследования и расчет железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах, рассмотрены в работах [10-12].

В предварительно напряженных элементах, к трещиностойкости которых предъявляют требования 2-й и 3-й категорий, допускают образование начальных трещин в сжатой зоне (растянутой от действия усилия предварительного обжатия). Поэтому целесообразно в таких элементах напрягаемую арматуру A'_{sp} не устанавливать, если она существенно снижает их несущую способность [13,14]. Для уменьшения величины раскрытия начальных трещин в сжатой зоне таких конструкций целесообразнее устанавливать по расчету ненапрягаемую арматуру A'_s .

Для сечения с двойной ненапрягаемой арматурой (см. рис. 7а, б) несущая способность по сжатой зоне определяется по следующей формуле:

$$M_{cor} = \gamma_{RCЖ} R_b A_{bc} z_b + R_{sc} A'_s z; \quad (11)$$

или

$$M_{cor} = \gamma_{RCЖ} R_b A_{bc} z_b + R_{sc} A'_s (h_0 - a'), \quad (12)$$

где $\gamma_{RCЖ} = (1 - k_1 \cdot \alpha_{RCЖ} \cdot \omega_{CK})$ определяется по [5].

Расчет с учетом растянутого бетона при ненапрягаемой и напрягаемой арматуре (см. рис. 7в) производится по следующей формуле:

$$M_{cor} = \gamma_{Rp} R_{bt} A_{bt} z_{bt} + R_s A_s (h_0 - a_s) + \sigma_s A_{sp} (h_0 - a_{sp}), \quad (13)$$

где $\gamma_{Rp} = (1 - k_1 \cdot \alpha_{Rp} \cdot \omega_p)$ определяется по [5]; a_s и a_{sp} – защитный слой соответственно ненапрягаемой и напрягаемой арматуры.

До образования трещин учитываются все сечения. После образования трещин арматура разделяется на ар-

матуру части без трещин и арматуру с пересекающимися трещинами. В связи с тем, что сжатая зона конструкций изменяет высоту, то область бетона с трещинами и без трещин рассчитывается по деформациям элемента. На участке сечения с трещинами для определения секущего модуля деформации вводится коэффициент В.И. Мурашева [8], который для плит определяется по [6].

Несущая способность коррозионно-поврежденных плит, имеющих полку в сжатой зоне (тавровое и двутавровое сечения), при $\xi \leq \xi_R$, определяется в зависимости от положения границы сжатой зоны.

Расчет несущей способности выполнен с учетом соотношения между значением относительной высоты сжатой зоны бетона и значением граничной относительной высоты сжатой зоны ξ_0 , при котором предельное состояние элемента наступает одновременно с достижением в растянутой арматуре напряжения, равного расчетному сопротивлению R_s .

Относительная высота сжатой зоны $\xi = \frac{x_R}{h_0}$ определяется из соответствующих условий равновесия.

Значение граничной относительной высоты сжатой зоны ξ_R определяется по формуле:

$$\xi_R = \frac{x_R}{h_0} = \frac{0,8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b2}}} \quad (14)$$

где $\varepsilon_{s,el}$ – относительная деформация растянутой арматуры при напряжениях, равных R_s ,

$$\varepsilon_{s,el} = \frac{R_s}{E_s}. \quad (15)$$

В формуле (14) относительная деформация сжатого бетона ε_{b2} при напряжениях, равных σ_b , определяется по результатам экспериментальных исследований.

Определение несущей способности коррозионно-поврежденных плит.

а) Если граница проходит в полке:

$$M_{cor} = (1 - k_1 \cdot \alpha_{RCЖ} \cdot \omega_{CK}) R_b \cdot b'_f \cdot x \cdot (h_0 - 0,5x) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'), \quad (16)$$

где A'_s – остаточная площадь сжатой арматуры.

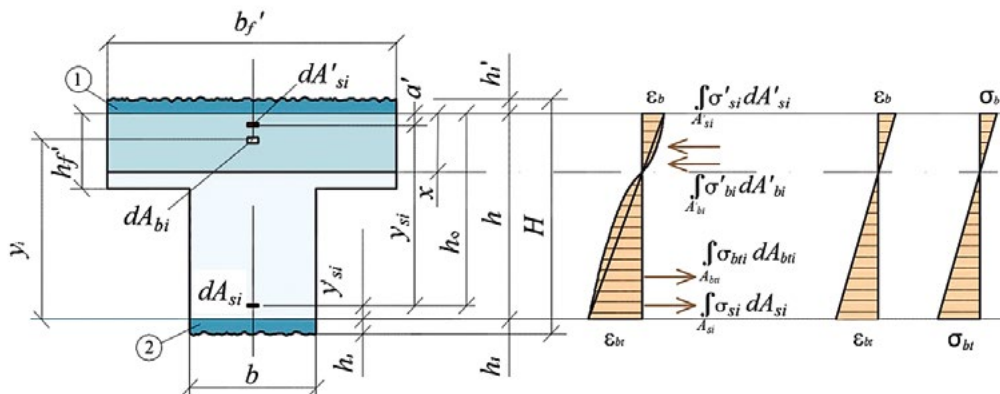
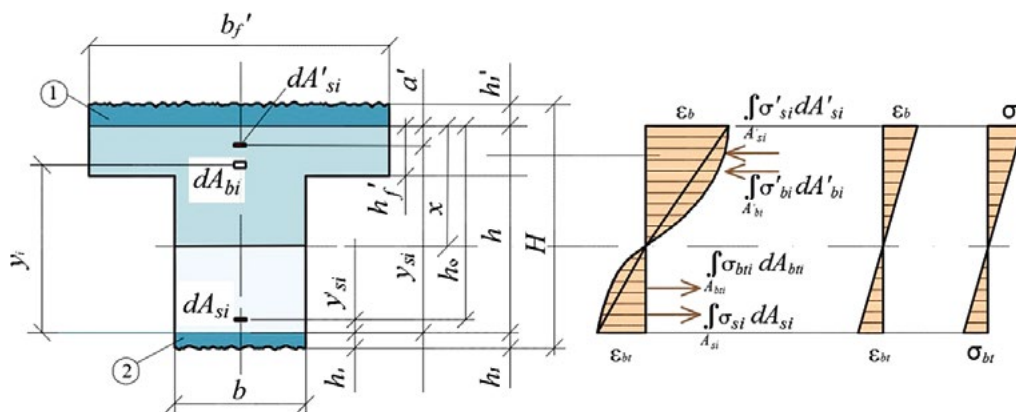


Рисунок 8 — Расчетная схема сечения. h_1 и h_1' – соответственно высота поврежденного бетона в растянутой и сжатой зонах
Figure 8 — Design diagram of the cross section. h_1 and h_1' , respectively height of damaged concrete in stretched and compressed zones



Разрушенный слой: 1 – сжатого бетона; 2 – растянутого бетона
 Destroyed layer: 1 – compressed concrete; 2 – stretched concrete

Рисунок 9 — Расчетная схема сечения (граница проходит в полке)
Figure 9 — the Design scheme of the section (the border passes in the shelf)

Таблица 1 — Результаты расчета

Table 1 — Calculation results

№	Параметры	Значение	Единица измерения
1. Ширина плиты по низу	b_f	176,0	см
2. Приведенная высота пустот	$h = \frac{r}{2} \sqrt{12}$	13,77	см
3. Суммарная площадь пустот	$A_{пуст} = \pi \cdot n \cdot r^2$	1390,0	см ²
4. Приведенная ширина всех пустот	$b_{пуст} = \frac{A_{пуст}}{h}$	101,0	см
5. Толщина верхней и нижней полок	$h'_f = h_f = \frac{H}{2} - \frac{h}{2}$	3,12	см
6. Плечо внутренних сил растянутой арматуры	$h_0 = H - \frac{d}{2} - a$	17,3	см
7. Ширина зоны растяжения	$b = b'_f - b_{пуст}$	16,59	см
8. Относительная высота сжатой зоны	$\alpha_M = \frac{M}{R_b \gamma_b b'_f h_0^2}$	0,299	-
9. Относительная высота сжатой зоны	$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,299}$	0,23	-
10. Высота сжатой зоны	$x = \xi \cdot h_0$	3,98	см
11. Относительная деформация растянутой арматуры	$\varepsilon_{s,el} = \frac{R_s + 400 \text{ (МПа)} - \sigma_{sp}}{E_c}$	0,0026	-
12. Предельная относительная деформация сжатого бетона	ε_{b2}	0,0040	-
13. Граничные значения относительной высоты сжатой зоны	$\xi_R = \frac{0,8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b2}}}$	0,45	-
Нейтральная ось проходит в ребре			
14. Несущая способность базовой плиты	M_{cor}	136,20	кНм
15. Поперечная сила	Q_{cor}	80,0	кН

Таблица 2 — Результаты натурных испытаний и теоретических расчетов

Table 2 — Results of field tests and theoretical calculations

№	Схема повреждения	Натурные испытания плит		Теоретические значения		Относительные значения		
		Прогиб f_{exp} , мм	Несущая способность M_{exp} , кН м	Прогиб f_{cor} , мм	Несущая способность M_{cor} , кН м	$k_f = \frac{f_{cor}}{f_{exp}}$	$k_M = \frac{M_{cor}}{M_{exp}}$	
1.	Базовая	38,2	137,4	37,9	136,20	0,99	0,99	
2.	2-я	а	33,5	123,5	34,2	122,10	1,02	0,98
3.		б	34,5	124,6	34,1	127,35	0,99	1,02
4.		в	32,5	113,5	33,9	115,15	1,04	1,01
5.		г	35,9	126,5	35,8	125,50	0,99	0,99
6.	3-я	а	34,8	115,0	34,1	115,50	0,98	1,0
7.		б	33,0	120,0	33,9	115,15	1,02	0,96
8.		в	29,7	97,5	29,2	101,5	0,98	1,04
9.		г	31,0	108,0	29,4	112,80	0,95	1,04
10.	4-я	а	29,0	105,0	32,6	110,05	1,12	1,05
11.		б	27,5	94,0	26,2	98,9	0,95	1,05
12.		в	26,5	90,0	24,9	96,14	0,94	1,07
13.		г	24,0	86,0	22,7	94,15	0,94	1,09

Поперечная сила, воспринимаемая наклонным сечением, определяется по формуле:

$$Q_{cor} = (1 - k_{CK} \cdot \alpha_{RCK} \cdot \omega_{CK}) R_b \cdot b'_f \cdot x + R_{sc} \cdot A'_s, \quad (17)$$

где Q_{cor} – поперечная сила.

б) Если граница проходит в ребре:

$$M_{cor} = (1 - k_1 \cdot \alpha_{RCK} \cdot \omega_{CK}) \cdot R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5x) + (1 - k_1 \cdot \alpha_{RCK} \cdot \omega_{CK}) \cdot R_b \cdot (b'_f - b) \cdot h'_f \cdot (h_0 - 0,5 \cdot h'_f) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'). \quad (18)$$

При этом высоту сжатой зоны x бетона определяют следующим образом:

$$x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s - (1 - k_1 \cdot \alpha_{RCK} \cdot \omega_{CK}) R_b (b'_f - b) \cdot h'_f}{(1 - k_1 \cdot \alpha_{RCK} \cdot \omega_{CK}) R_b \cdot b} \quad (19)$$

Поперечная сила, воспринимаемая наклонным сечением, определяется по формуле:

$$Q_{cor} = (1 - k_1 \cdot \alpha_{RCK} \cdot \omega_{CK}) \cdot R_b \cdot b \cdot x + (1 - k_1 \cdot \alpha_{RCK} \cdot \omega_{CK}) \cdot R_b \cdot (b'_f - b) \cdot h'_f + R_{sc} \cdot A'_s, \quad (20)$$

где Q_{cor} – поперечная сила.

Сравнение результатов ранее выполненных натурных испытаний [5] и теоретических расчетов плит приведены в таблице 2.

Выводы

Проведенные расчеты показывают, что несущая способность базовой плиты соответственно при натурных испытаниях и теоретическом расчете составляет 137,40 кНм и 136,20 кНм. При 10-летнем воздействии климатических условий средние значения моментов коррозионно-поврежденных плит по расчетам 2-й, 3-й и 4-й схем повреждений плит составляют, соответственно, 0,90; 0,81 и 0,73 относительно базовой плиты.

Несущая способность плит изменяется в зонах образования и раскрытия трещин следующим образом:

- при увеличении расстояния между трещинами, несущая способность повышается, а прогибы и деформации конструкций уменьшаются;
- при уменьшении расстояния между трещинами, а также с образованием и раскрытием «магистральной» трещины, несущая способность снижается, а прогибы и деформации конструкций увеличиваются.

На основании экспериментальных диаграмм деформирования бетона и арматуры [4] выполнен расчет с учетом коррозии арматуры и повреждения бетона, что дает возможность оценить несущую способность плит перекрытий.

Литература

1. Карпенко Н.И., Мухамедиев Т.А., Сапожников М.А. К построению методики расчета стержневых элементов на основе диаграмм деформирования материалов // В сборнике НИИЖБ «Совершенствование методов расчета статически неопределимых железобетонных конструкций». М., 1987. С. 5-23.
2. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радаikin О.В. К определению деформаций изгибаемых железобетонных элементов с использованием диаграмм деформирования бетона и арматуры // Строительство и реконструкция. Госуниверситет УНПК. Орел. 2012. №2. С. 11-18.
3. Карпенко С.Н. Методы деформирования железобетона в приращениях и методы расчета конструкций. Автореф. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. М., 2010. 48 с.
4. Минасян А.А., Пятикрестовский К.П. Диаграммы деформирования бетона и арматуры коррозионно-поврежденных железобетонных плит перекрытия //

- Строительная механика и расчет сооружений. 2019. №5. С. 7-13.
5. Минасян А.А. Несущая способность коррозионно-поврежденных железобетонных плит перекрытия по результатам натурных испытаний // Строительная механика и расчет сооружений. 2018. №6. С. 19-25.
6. Минасян А.А. Коэффициенты неравномерности деформации арматуры и бетона коррозионно-поврежденных железобетонных плит покрытия в стадии трещинообразования // Строительная механика и расчет сооружений. 2019. №3. С. 18-22.
7. Пономарев О.И., А.А. Минасян. Учет повреждений железобетонных конструкций реконструируемых зданий // Вестник, ч.1. Москва, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. 2010. С. 106-113.
8. Мурашев В.И. Трещиностойчивость, жесткость и прочность железобетона. М.: Машстройиздат, 1950. 268 с.
9. СП 63.13330.2012. Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. Ос-

новные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.

10. Вербецкий Г.П., Шаповалов В.Я., Сарамидзе О.А. Расчет допускаемой ширины раскрытия трещин в конструкциях, эксплуатируемых в агрессивных средах // Бетон и железобетон. 1990. №3. С. 15-17.
11. Алексеев С.Н., Модры С., Шисль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. Совм. изд. СССР-ЧССР-ФРГ. М.: Стройиздат, 1990. 320 с.
12. Шавыкин М. В. Прогнозирование трещиностойкости изгибаемых элементов с учетом случайных факторов. М.: МИИТ, 2003. 72 с.
13. Бондаренко В.М. Феноменология кинетики повреждения бетона железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивной среде // Бетон и железобетон. 2008. №2. С. 25-28.
14. Бондаренко В.М., Прохоров В.Н. К вопросу об оценке силового сопротивления железобетона повреждению коррозионными воздействиями // Изв. вузов. Строительство. 1998. №3. С. 30-41.

References

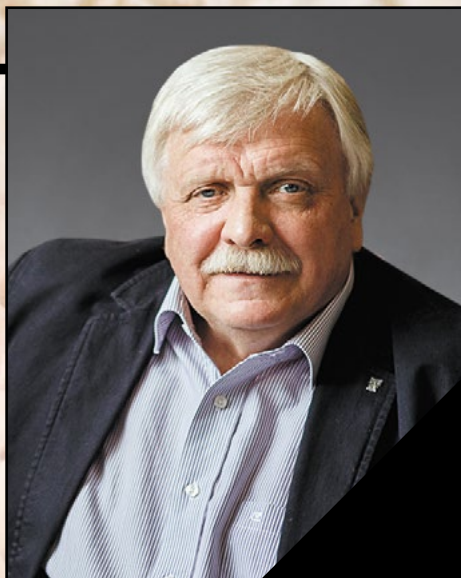
1. Karpenko N.I., Mukhamediyev T.A., Sapozhnikov M.A. K postroyeniyu metodiki rascheta stержnevyykh elementov na osnove diagramm deformirovaniya materialov // V sbornike NIIZHB «Sovershenstvovaniye metodov rascheta staticheski neopredelimykh zhelezobetonnykh konstruksiy». M., 1987. P. 5-23. (In Russian).
2. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radaykin O.V. K opredeleniyu deformatsiy izgibayemykh zhelezobetonnykh elementov s ispol'zovaniyem diagramm deformirovaniya betona i armatury. Stroitel'stvo i rekonstruksiya. Gosuniversitet UNPK. Orel. 2012, no 2, pp. 11-18. (In Russian).
3. Karpenko S.N. Metody deformirovaniya zhelezobetona v prirashcheniyakh i metody rascheta konstruksiy. Avtoref. na soisk. uch. step.dokt. tekhn. nauk. M., 2010. 48 p. (In Russian).
4. Minasyan A.A., Pyatikrestovskiy K.P. Diagrammy deformirovaniya betona i armatury korrozionno-povrezhdennykh zhelezobetonnykh plit perekrytiya. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2019, no.2, pp. 7-13. (In Russian).

5. Minasyan A.A. Nesushchaya sposobnost' korrozionno-povrezhdennykh zhelezobetonnykh plit perekrytiya po rezul'tatam naturnykh ispytaniy. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2018, no.6, pp. 19-25. (In Russian).
6. Minasyan A.A. Koeffitsiyenty neravnomernosti deformatsii armatury i betona korrozionno-povrezhdennykh zhelezobetonnykh plit pokrytiya v stadii treshchinoobrazovaniya. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2019, no. 3, pp. 18-22. (In Russian).
7. Ponomarev O.I., Minasyan A.A. Uchet povrezhdeniy zhelezobetonnykh konstruksiy rekonstruiruyemykh zdaniy. Vestnik, ch.1. Moskva, TSNIISK im. V.A. Kucherenko. 2010, pp. 106-113. (In Russian).
8. Murashev V.I. Treshchinoustoychivost', zhestkost' i prochnost' zhelezobetona. M.: Mashstroyizdat, 1950. 268 p. (In Russian).
9. SP 63.13330.2012. Svod pravil. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii. Osnovnyye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 52-01-2003. (In Russian).

10. Verbetskiy G. P., Shapovalov V. Ya., Saramidze O. A. Raschet dopuskayemoy shiriny raskrytiya treshchin v konstruksiyakh, ekspluatiruyemykh v agressivnykh sredakh. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 1990, no.3, pp. 15-17. (In Russian).
11. Alekseyev S. N., Modry S., Shisl' P. Dolgovechnost' zhelezobetona v agressivnykh sredakh. Sovm. izd. SSSR-CHSSR-FRG. M.: Stroyizdat, 1990, 320 p. (In Russian).
12. Shavykin M. V. Prognozirovaniye treshchinostoykosti izgibayemykh elementov s uchedom sluchaynykh faktorov. M.: MIIT, 2003, 72 p. (In Russian).
13. Bondarenko V.M. Fenomenologiya kinetiki povrezhdeniya betona zhelezobetonnykh konstruksiy, ekspluatiruyemykh v agressivnoy srede. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 2008, no. 2, pp. 25-28. (In Russian).
14. Bondarenko V.M., V.N. Prokhorov. K voprosu ob otsenke silovogo soprotivleniya zhelezobetona povrezhdeniyu korrozionnymi vozdeystviyami. Izv. vuzov. Stroitel'stvo. 1998, no.3, pp. 30-41. (In Russian).

Для цитирования: Минасян А.А., Пятикрестовский К.П. Расчет поврежденных железобетонных плит перекрытий с учетом коррозии бетона и арматуры // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 5. С. 55-63.

For citation: Minasyan A.A., Piatikrestovskii K.P. Calculation of Damaged Reinforced Concrete Plates of Covering Taking into Account the Corrosion of Concrete and Fittings. Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 5, pp. 55-63. (In Russian).



УШЕЛ ИЗ ЖИЗНИ АЛЕКСАНДР ВИКТОРОВИЧ КУЗЬМИН – ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

26 сентября 2019 года на 69 году жизни скончался выдающийся Человек – советский и российский архитектор, президент Российской академии архитектуры и строительных наук, генеральный директор АО «НИЦ «Строительство», главный архитектор города Москвы (1996–2012), действительный член Российской академии художеств, профессор и академик Международной академии архитектуры, Народный архитектор Российской Федерации, заслуженный архитектор России, Почётный строитель России и Москвы – Александр Викторович Кузьмин.

Александр Викторович Кузьмин родился в Москве, в Сокольниках в семье военного моряка 12 июля 1951 года. С детства любил рисовать, окончил художественную школу, а в девятом классе узнал о существовании Московского архитектурного института (МАРХИ) и стал посещать подготовительные курсы. Позже Кузьмин неоднократно называл себя «случайным архитектором». В 1974 году окончил МАРХИ.

Его жизненный путь был ярким и полным великих дел. Руководитель, автор и соавтор более 60 крупных градостроительных проектов и научных трудов, в числе которых «Основные направления градостроительного развития Москвы и Московской области на период до 2010 года»; «Проект Генерального плана развития г. Москвы на период до 2020 года»; «Предложения по развитию и реорганизации производственных зон г. Москвы»; «Основные направления сохранения и развития территорий природного комплекса г. Москвы»; проекты строительства МКАД, третьего и четвертого транспортных колец Москвы; «Проект реконструкции Московской окружной железной дороги под пассажирское движение» и другие. Более 30 реализованных архитектурных проектов, в том числе «Реставрация Старого Гостиного двора», «Восстановление Манежа»; проекта планировки «Природно-исторический парк «Царицыно»; «Концепция развития территории Ходынского поля»; проектов Ледового дворца в Крылатском и Детской Олимпийской деревни, проекта строительства комплекса административных зданий «Москва-СИТИ»; проектов пешеходных мостов через Москву-реку; проектов памятников Воинам внутренних войск, к 200-летию МВД, Воинам антигитлеровской коалиции, Шарлю де Голлю, Алишеру Навои, Низами, Сергею Королёву и многих других комплексных градостроительных, архитектурно-планировочных работ, проектов объемного строительства и реконструкции, объектов монументально-декоративного искусства.

Утрата тяжелая, безвременная и невозможная. Соболезнуем семье, родным и близким.

<http://www.cstroy.ru/news/15853/>

Сведения об авторах

Абакаров Абакар Джансулаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Архитектура» ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет». Махачкала, Российская Федерация

Абрахимов Владимир Закирович, доктор технических наук, профессор. Самарский государственный экономический университет. Самара, Российская Федерация e-mail: 3375892@mail.ru

Бах Александр Александрович, Алтае-Саянский филиал Федерального Исследовательского Центра «Единая Геофизическая служба» РАН, старший научный сотрудник. Новосибирск, Российская Федерация e-mail: abakh61@mail.ru

Зайнулабидова Ханзада Рауповна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет». Махачкала, Российская Федерация

Еманов Александр Федорович, доктор технических наук, Алтае-Саянский филиал Федерального Исследовательского Центра «Единая Геофизическая служба» РАН, директор. Новосибирск, Российская Федерация e-mail: emanov@gs.nsc.ru

Лобанов Андрей Николаевич, ФГБОУ ВО Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. Кафедра «Механика и прочность материалов и конструкций», специальность «Строительная механика», аспирант. Санкт-Петербург, Российская Федерация e-mail: spaceman_andrey@mail.ru

Минасян Арман Арамаисович, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», инженер. Москва, Российская Федерация e-mail: 1747210@mail.ru

Прокопович Сергей Владимирович, ФГБОУ ВО Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. Кафедра «Механика и прочность материалов и конструкций», инженер. Санкт-Петербург, Российская Федерация e-mail: spr94@outlook.com

Пятикрестовский Константин Пантелеевич, доктор технических наук, АО «НИЦ «Строительство». Москва, Российская Федерация e-mail: 1747210@mail.ru

Смирнова Любовь Николаевна, кандидат технических наук, Ученый секретарь АО «НИЦ «Строительство». Москва, Российская Федерация e-mail: lyubovsmirnova80@gmail.com

Сорокина Галина Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Механика и прочность материалов и конструкций» ФГБОУ ВО Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. Санкт-Петербург, Российская Федерация e-mail: oofy@yandex.ru

Тяпин Александр Георгиевич, доктор технических наук, профессор, главный специалист БКР-2 АО «Атомэнергопроект». Москва, Российская Федерация e-mail: atyapin@bvcp.ru

Харланова Светлана Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика и информатика» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет». Волгоград, Российская Федерация e-mail: svetlh@mail.ru

Харланов Владимир Леонтьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика и информатика» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет». Волгоград, Российская Федерация e-mail: harlanovvl@yandex.ru

Уздин Александр Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Механика и прочность материалов и конструкций» ФГБОУ ВО Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. Санкт-Петербург, Российская Федерация e-mail: uzdin@mail.ru

Information about Authors

Abakarov Abakar D., Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Architecture, FGBOU Dagestan State Technical University. Makhachkala, Russian Federation

Abdrakhimov Vladimir Z., Doctor of Technical Sciences, Professor. Samara State University of Economics. Samara, Russian Federation e-mail: 3375892@mail.ru

Bakh Alexander A., Altay-Sayan Branch of Federal Research Center "United Geophysical Survey RAS", Senior Engineer. Novosibirsk, Russian Federation e-mail: abakh61@mail.ru

Zaynulabidova Hanzada R., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dagestan State Technical University. Makhachkala, Russian Federation

Emanov Alexander F., Doctor of Technical Sciences, Branch Director, Altay-Sayan Branch of Federal Research Center "United Geophysical Survey RAS". Novosibirsk, Russian Federation e-mail: emanov@gs.nsc.ru

Lobanov Andrei N., Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Postgraduate of the Department «Mechanics and Strength of Materials and Structures». Saint-Petersburg, Russian Federation e-mail: spaceman_andrey@mail.ru

Minasyan Arman A., TSNIISK named after V.A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, Engineer. Moscow, Russian Federation e-mail: 1747210@mail.ru

Prokopovich Sergei V., Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, department «Mechanics and Strength of Materials and Structures», Engineer. Saint-Petersburg, Russian Federation e-mail: spr94@outlook.com

Piatikrestovskii Konstantin P., Doctor of Technical Sciences, JSC Research Center of Construction. Moscow, Russian Federation e-mail: 1747210@mail.ru

Smirnova Lyubov' N., Candidate of Technical Sciences, JSC Research Center of Construction. Moscow, Scientific Secretary. Russian Federation e-mail: lyubovsmirnova80@gmail.com

Sorokina Galina V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department «Mechanics and Strength of Materials and Structures», Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. Saint-Petersburg, Russian Federation e-mail: oofy@yandex.ru

Tyapin Alexander G., Doctor of Technical Science, Professor, Main Specialist BKR-2 JSC «Atomenergoprojekt». Moscow, Russian Federation e-mail: atyapin@bvcp.ru

Kharlanova Svetlana V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics and Informatics, Volgograd State Technical University. Volgograd, Russian Federation e-mail: svetlh@mail.ru

Kharlanov Vladimir L., doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Building Constructions, Bases and Reliability of Structures», of the «Volgograd State Technical University». Volgograd, Russian Federation e-mail: harlanovvl@yandex.ru

Uzdin Alexander M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Department «Mechanics and Strength of Materials and Structures», Emperor Alexander I Saint-Petersburg State Transport University. Saint-Petersburg, Russian Federation e-mail: uzdin@mail.ru



17WCEE 17th WORLD CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING

With Bosai / Disaster Management Expo in Sendai

September 13-18, 2020 at Sendai International Center, Sendai, Japan

Theme: Toward Resilient Society

The conference will cover a wide variety of subjects on earthquake engineering including the following topics:

- ▶ Sendai Framework for Disaster Risk Reduction
- ▶ Post Disaster Recovery and Reconstruction
- ▶ Safety of infrastructures
- ▶ Disaster Mitigation through Trans-disciplinary and International Cooperation
- ▶ Nuclear Power Plants and Their Safety against Earthquakes and Tsunamis
- ▶ New Directions of Earthquake Engineering Technology through Huge-scale Numerical Simulations
- ▶ Effects of Long-lasting and Long-period Ground Motions on Structural Performance
- ▶ Smart Cities and Urban Disaster Mitigation

Important Dates

Call for Abstract :	April 11, 2019
Exhibition Apply Start :	June 3, 2019
Sponsorship Apply Start :	June 3, 2019
Registration Open :	August 1, 2019
Abstract Deadline :	August 30, 2019
Abstract Acceptance Notification :	October 30, 2019
Full Paper Deadline :	January 31, 2020
Exhibition / Sponsorship Apply Deadline :	March 31, 2020

Tel: +81 3-3508-1202, Fax: +81 3-3508-0820

E-mail: 17wcee@convention.co.jp

WWW.17WCEE.JP